

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la Obtención del Título de Ingeniero Electrónico

***ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS SERVICIOS ADICIONALES
DE LA TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION SOBRE
SISTEMAS MÓVILES DE CUARTA GENERACIÓN***

AUTORES:

JUAN PAÚL INGA ORTEGA
ANDRÉS LEONARDO ORTEGA O.

DIRECTOR:

ING. JUAN PABLO BERMEO

CUENCA – ECUADOR

2010

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores Juan Paúl Inga Ortega y Andrés Leonardo Ortega Ortega.

Cuenca, Junio 18 del 2010

(f) _____

(f) _____

Msc. Ing. Juan Pablo Bermeo

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos del informe de la monografía, realizada por los Srs. Juan Paúl Inga Ortega y Andrés Leonardo Ortega Ortega.

Por cumplir los requisitos autorizo su presentación.

Cuenca, Junio 18 del 2010

Msc. Ing. Juan Pablo Bermeo

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a mi Dios por permitirme llegar a culminar esta monografía y mis estudios superiores. A mi Querida Madre por siempre estar a mi lado y apoyarme incondicionalmente, junto con mi Ñaña Dora y al incansable Ñaño Tebo que siempre me ha estado motivando para tener gran perseverancia y no darme nunca por vencido. Finalmente a todos aquellos que en cada momento nos han estado apoyando de una u otra manera. Al Msc Ing. Juan Pablo Bermeo que como director, con ahínco ha sabido guiarnos en el desarrollo de este tema.

Juan Paúl Inga Ortega

Agradezco principalmente a Dios porque sin ÉL yo no estaría aquí para darle gracias de lo que ha hecho en mi vida; agradecer a mi MADRE que ha dado todo por mi y que en los momentos más difíciles cuando todo estaba perdido, siempre estuvo ahí para levantarme, y hoy ser lo que soy gracias a su amor. Mis agradecimientos sinceros son también para nuestro Director de Tesis por ayudarnos con mucha paciencia para la culminación de este proyecto.

Andrés Leonardo Ortega Ortega

DEDICATORIAS:

Esto va para Mi Amada Madre y a Mi Ñaña Dora por su amor, a Mi Hermano Esteban por los empujones para siempre mejorar, a Mi Cuñadita por también preocuparse y sobre todo para mi sobrinito el gordo Juan Esteban para que vea en este trabajo el reflejo que el amor de Dios ha tenido en nuestra familia.

Juan Paúl Inga Ortega

Esto lo dedico a mi Padre que en donde quiera que esté, de seguro estará orgulloso de mí, a mi Madre que es la luz de mi vida, a la Mami Sara por ser mi segunda Madre y que gracias a esa rectitud que nos inculcó somos lo que somos, como olvidar a mi primo Esteban, que no solo por ser el propulsor de este proyecto, sino por ser el ejemplo más grande que tengo en mi vida, ojalá algún día sea como Tú, gracias por enseñarme a ser feliz con lo que tengo, entendí que no es lo material, son todos ustedes, mi familia, los AMO; y a ti Juano, por todos estos 23 años de soportarme siempre, que hemos estado en todas, eres mi HERMANO.

Andrés Leonardo Ortega Ortega

ÍNDICE

CONTENIDOS:	PÁG.
ÍNDICE.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: SISTEMAS DE MODULACIÓN EN TELEFONÍA MÓVIL	3
1.1 Sistemas de Telefonía Móvil.....	3
1.1.1 La historia de los celulares.....	3
1.2 La Visión de 4G.....	8
1.3 Especificaciones técnicas de LTE.....	9
1.3.1 Tecnologías que utiliza la 4G.....	11
1.3.2 Elementos funcionales de una red 4G.....	12
1.3.3 MIMO y OFDM Generalidades.....	14
1.3.3.1 Características Principales.....	15
1.4 Modulaciones para la última generación.....	17
1.4.1 Tecnologías de radio.....	17
1.4.2 Downlink, Esquema de Transmisión.....	20
1.4.3 Múltiples tecnologías de acceso en Downlink para OFDM y OFDMA.....	23
1.4.4 Uplink, Esquema de Transmisión.....	26
1.4.5. Múltiples Tecnologías de acceso en uplink SC-FDMA.....	29
1.4.5.1 Comparaciones entre OFDMA y SC-FDMA.....	29



1.4.5.2 Generación de la señal SC-FDMA.....	31
1.4.6 Estructura Tx & Rx de SC-FDMA.....	34
1.4.7 Solución con Múltiples Antenas.....	34
1.5 Servicios Adicionales de LTE.....	36
1.5.1Evolución de los servicios de telefonía móvil.....	36
 CAPÍTULO 2: SISTEMA LONG TERM EVOLUTION.....	 40
2.1 Especificaciones Técnicas de los Sistemas Móviles de 4ta Generación.....	40
2.1.1 Arquitectura.....	40
2.2 Aspectos de la Interface aérea de radio.....	44
2.2.1 Modo de acceso a radio.....	44
2.2.2 Transmisión en un ancho de banda.....	45
2.2.3 Ambientes de uso de radio.....	46
2.2.3.1 Ambientes Outdoor (Áreas urbanas y suburbanas).....	47
2.2.3.2 Ambientes Indoor (Casas, oficinas, centros Comerciales subterráneos).....	48
2.2.3.3 Ambientes de celdas en movimiento (Trenes, buses, etc.)	48
2.2.3.4 Ambientes de comunicaciones Ad Hoc.....	49
2.3 Rangos de Frecuencia para la Utilización de LTE.....	50
2.3.1 Requerimientos de Espectro.....	50
2.3.2 Bandas de Frecuencia.....	50
2.3.3 Mejoramiento de la eficiencia espectral.....	52
2.3.4 Análisis Espectral.....	53
2.3.4.1 El Dividendo Digital: una oportunidad histórica para desarrollar la Banda Ancha.....	54
2.3.4.2 ¿Cómo serán las diferentes coberturas de banda ancha con y sin el Dividendo Digital? Ejemplo: Alemania.....	55
2.3.5. WIMAX vs LTE.....	56
2.4 Velocidades por alcanzar.....	60
2.4.1 Requerimientos de desempeño LTE.....	64
 CAPÍTULO 3: PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE LTE.....	 66
3.1 Características y Configuraciones del Sistema LTE.....	66



3.1.1 Análisis General de las Técnicas de Antenas Múltiples (MIMO)...	66
3.1.1.1 Multiplexación Espacial.....	70
3.1.1.2 Codificación de Diversidad.....	71
3.1.2 Tipos de Sistemas MIMO.....	71
3.1.3 Esquemas de Múltiples Antenas en LTE para Descarga.....	73
3.1.4 Esquemas de Múltiples Antenas en LTE para Subida.....	74
3.2 Protocolos de Comunicación para la Tecnología LTE.....	75
3.2.1 Protocolo de arquitectura LTE.....	76
3.2.2 Pruebas de Protocolo.....	80
3.2.3 Interoperabilidad.....	81
3.3 Interfaz de Radio de LTE.....	82
3.3.1 Capa Física.....	82
3.3.1.1 Canales Físicos y Modulación (TS36.211).....	83
3.3.1.2 Estructura de Trama.....	84
3.3.1.3 Recursos físicos y mapeo para la descarga de Información	86
3.3.1.4 Recursos físicos y mapeo para la subida de Información...	88
3.3.2 Capa 2 (MAC, RLC y PDCP)	90
3.3.2.1 Canales Lógicos Downlink.....	91
3.3.2.2 Canales Lógicos de Control para Downlink.....	92
3.3.2.3 Canales Lógicos de Tráfico para Downlink.....	92
3.3.2.4 Canales de Transporte para Downlink.....	93
3.3.2.5 Canales de Uplink.....	94
3.3.3 RLC (Control de Radio Enlace).....	95
3.4 Eficiencia del Espectro Radio Eléctrico.....	95
3.4.1 Potencialidad del espectro LTE.....	95
3.4.2 Servicios inalámbricos avanzados (AWS).....	93
3.4.3 700 MHz.....	96
3.4.4 Reforma de los 900 MHz en GSM.....	98
3.4.5 Extensión de la banda IMT.....	99
3.4.6 Otras bandas candidatas.....	101
3.4.7 Requerimientos del Espectro Futuro.....	102
CAPÍTULO 4: OPERATIVIDAD DEL SISTEMA LTE.....	104
4.1 Tendencias Actuales con Respecto a LTE.....	104



4.1.1 Perspectiva de la industria y Tendencias.....	108
4.1.2 Retos Para la Migración Hacia LTE.....	108
4.2 Recomendaciones Para la Migración hacia LTE.....	109
4.2.1 Estrategia de Operador – Solo Datos.....	110
4.2.2 Estrategia de Operador – Voz sobre 2G-3G y datos sobre LTE....	111
4.2.3 Estrategia de Operador – Voz y datos sobre LTE.....	111
4.2.3.1 VoLGA.....	111
4.2.3.2 CS-Fallback.....	112
4.2.4 IMS para Voz sobre LTE.....	112
4.2.4.1 Handover SRVCC para la continuidad de Sesión.....	113
4.2.4.2 Servicios de voz, transparencia, paridad.....	113
4.2.5 Migración de CDMA a LTE.....	116
4.2.6 Tarifa plana de LTE para obtener ventajas competitivas.....	117
4.2.7 Consideraciones Generales para el Espectro.....	117
4.2.8 Compartimiento de Antenas y Reuso de Equipos.....	118
4.3 Estrategias de Actualización.....	119
4.3.1 Más sobre la Planificación para la introducción de LTE.....	120
4.4 Servicios adicionales Ofertados en LTE.....	121
4.4.1 Beneficios.....	122
4.4.1.1 En la Convergencia de las Redes Celulares Móviles y Redes.....	122
4.4.1.2 En la Convergencia de las Redes Celulares Móviles y Broadcasting.....	122
4.4.2 Convergencia de beneficios.....	122
4.4.3 Desafíos de una Tecnología Reconfigurable.....	123
4.4.3.1 Beneficios de una Tecnología Reconfigurable.....	123
4.4.4 Aplicaciones.....	125
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....	127
5.1 Visión Técnica.....	127
5.2 Balance en la Industria de Telefonía Móvil.....	129
5.2.1 Radiografía del Sector en Cifras.....	131
5.2.1.1 Abonados Según el Tipo de Tecnología que se usa en Ecuador (2001-Febrero2010).....	131



5.2.1.2 Abonados por Concesionario por Tecnología en Ecuador (2001 - Junio 2010).....	133
5.2.1.3 Planes y Prepago.....	134
5.2.1.4 Principales desafíos de la Industria.....	134
5.3 Visión de la tecnología de un Operador Global (Telefónica).....	135
5.4 Situación del mercado actual.....	137
5.4.1 GSM/EDGE (2.5G).....	137
5.4.2 WCDMA/HSPA (3G).....	138
5.4.3 LTE (4G) – Pronósticos de clientes e ingresos.....	139
5.4.3.1 Opinión de la Industria.....	140
5.4.3.2 Estrategia de despliegue.....	140
5.5 Análisis Económico en base a encuestas para conocer el nivel de aceptación De LTE.....	141
5.5.1 Datos Generales.....	141
5.5.1.1 Niveles de Instrucción.....	142
5.5.1.2 Género.....	142
5.5.1.3 Grupo de edades Encuestadas.....	143
5.5.1.4 Estado civil de los encuestados.....	143
5.5.1.5 Servicios Considerados Como Importantes Para un Móvil de 4G.....	144
5.5.1.6 Rango de Valores del Equipo del Usuario.....	145
5.5.1.7 Disposición de Usuarios Para Adquirir un Equipo de Cuarta Generación.....	145
5.5.1.8 Preferencia de Planes para la Adquisición de un Móvil de 4G.....	146
5.5.1.9 Nivel de ingresos Promedio Mensual.....	148
5.5.2 Datos con Respecto a Operadoras de Telefonía Móvil (TM).....	149
5.5.2.1 Operadora de la mayoría de los contactos de los Encuestados.....	149
5.5.2.2 Preferencias de las operadoras en los usuarios.....	150
5.5.3 Combinación de Datos.....	151
5.5.3.1 Grupos de edades por género.....	151
5.5.3.2 Estado Civil Por Género.....	152
5.5.3.3 Operadoras de Acuerdo al Género.....	152



5.5.3.4 Operadora Preferida por el Grupo de Edades.....	153
5.5.3.5 Operadora Preferida por el Nivel de Instrucción.....	153
5.5.3.6 Servicios Adicionales Ofertados por LTE Según las Edades.....	154
5.5.3.7 Servicios Adicionales Ofertados por LTE Según el Nivel de Ingresos.....	156
5.5.3.8 Precios de Equipos actuales de Usuarios Según el Nivel de Ingresos.....	157
5.5.3.9 Disponibilidad para Adquirir Equipos LTE Según el Nivel de Ingresos.....	160
5.5.3.10 Tipo de Plan a Escoger Según el Nivel de Ingresos.....	161
5.6 Cálculo de Ingresos Estimados.....	161
5.6.1 Estimación de Ingresos Movistar.....	163
5.6.2 Estimación de Ingresos Porta.....	165
5.6.3 Estimación de Ingresos Alegro.....	166
5.7 ¿Puede LTE Generar Ganancias?.....	167
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	171
BIBLIOGRAFÍA.....	178
ANEXOS.....	181



INTRODUCCIÓN

La importancia de generar nuevos avances tecnológicos por tratar de mejorar los servicios ofertados a los clientes que en la actualidad son mucho más exigentes, permiten crear nuevos estándares que superan con grandes ventajas como lo pretende implantar Long Term Evolution que logrará ser elevado a 4G (Cuarta Generación), el acceso ilimitado a la información sin importar el tamaño del archivo o lograr satisfacer la necesidad de los consumidores del cine como disfrutar de un video de alta definición o el empleo WiMax se vislumbra que serán lo actores principales de la cuarta generación de tecnología para los móviles celulares.

La tecnología 4G se soporta en el estándar 3GPP (tercera generación) que basa su sistema en IP, es decir es un sistema de sistemas y una red de redes y superándose posteriormente en la convergencia entre redes de cable o redes wireless, ordenadores, dispositivos eléctricos-electrónicos, TIC entre otras para proveer de velocidades de acceso entre 100Mbps en movimiento y 1Gbps en reposo, pero lo más importante es que mantenga la calidad del servicio (QoS) de punto a punto (end-to-end), con una alta seguridad con la finalidad de masificar el número de servicios adicionales en cualquier lugar apostando a tener el menor coste posible.

El avance de las operadoras en las dos últimas décadas advierte con facilidad una búsqueda incansable de participar en el mercado por brindar nuevos servicios a los actualmente ofertados, dando una visión mucho más atractiva que las tradicionales operadoras como las que pertenecen al estado y manifestar la posibilidad de comunicarse desde donde el cliente lo decida.



El objetivo principal de LTE es la de mejorar las actuales redes móviles basadas en UMTS. Por lo tanto, mientras que a estas últimas se las conoce como 3G, **LTE se ha bautizado ya como la 4G de la redes móviles.** Entre los objetivos de la LTE pueden citarse una mejora de la eficiencia del espectro, costes de despliegue muy reducidos, mejora en los servicios y una mejor integración con los estándares abiertos.

Sin embargo, LTE va mucho más allá al ofrecer una verdadera banda ancha móvil en cualquier lugar que permitirían a los operadores, por ejemplo, ofrecer vídeo en alta definición o juegos online a través de una red móvil, acceso ilimitado a la información sin importar el tamaño y con la posibilidad de disfrutar de vídeo en alta definición son algunas de las ventajas de LTE

Algunos datos sobre LTE destacan que es **seis veces más rápida que HSDPA** (High Speed Download Packet Access – 3GPP), **ocho veces más veloz que HSUPA** (High Speed Uplink Packet Access) y que los terminales móviles que se están fabricando bajo esta tecnología serían capaces de descargarse una película de 700MB en 90 segundos; frente a las 34,7 horas que podría descargar en GPRS o 20 minutos en redes HSPA Fase II. Su latencia no superará los 100ms y su valor agregado está en que utilizaría las redes GSM actuales es decir su costo de implementación para las operadoras será mucho menor.

La empresa Telefónica que espera usar LTE 4G tendrá velocidades de descarga que superen los 140Mbps, pero en estudios realizados han alcanzado velocidades de hasta 326Mbps en descarga y 86Mbps en subida.

Las proyecciones entregadas por las investigaciones realizadas por ABI Research advierten que en el año 2013 LTE tendrá 32 millones de terminales en uso, suponiendo los principios de penetración desde el 2010, dando como resultado en 3 años un índice de crecimiento alentador para todas las inversiones generadas por las operadoras. En asincronía con las redes están la falta de equipos móviles para la utilización de dicha tecnología lo que podría retrasar la experimentación del sistema e inicialmente solo se podrá utilizar en ordenadores portátiles de última generación o con un módem especial.

CAPITULO I

SISTEMAS DE MODULACIÓN EN TELEFONÍA MÓVIL

1.1 Sistemas de telefonía móvil.

1.1.1 La historia de los celulares

- 1G

La red de NMT empezó en 1981 de septiembre en Arabia Saudita, consistió en 20 células, operando a 450MHz. En Europa NMT empezó operando en 1982 en Suecia, Noruega, Dinamarca y Finlandia. El primer sistema celular multi-nacional (NMT450) contuvo 600 células y también ofreció roaming.

Después, nueve diferentes e incompatibles sistemas celulares se desarrollaron en Europa: Total Acces Communication Systems (TACS) en Gran Bretaña en 1985, C-Netz en Alemania, Radiocom 2000 en Francia, Radio Teléfono móvil Integrado (RTMI) en Italia, etc. Todos los sistemas trabajaron bien pero entre ellos trabajar con roaming no era posible.

El primer sistema celular se comercializó en Estados Unidos - (AMPS) Advanced Mobile Phone Service empezó operando en 1983 en Chicago. AMPS fue comprado y se aplicó en Corea del Sur en 1984.



NMT es considerado oficialmente como la primera generación de comunicaciones móviles (1G). Era un sistema analógico que perfiló algunas leyes básicas de la telefonía móvil celular:

- Estructura celular de sistema (re uso de frecuencia);
- Movilidad total de usuarios y roaming entre diferentes Sistemas de NMT;
- Conexión continua a pesar de los cambios de canales de comunicación y ambiente

Esta tecnología utilizaba transferencia analógica y solamente se podía transmitir voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja (baja velocidad y capacidad), la transferencia era imprecisa y la seguridad muy escasa; además los precios de los teléfonos móviles eran muy altos y sus servicios se limitaban exclusivamente para los profesionales.

- **2G**

La incompatibilidad entre los diferentes sistemas celulares, forzó en Europa una planificación de un nuevo sistema uniforme. En 1982 la investigación de 26 compañías europeas, trajo como resultado la primera red GSM (Sistema Global para las Comunicaciones móviles).

El nuevo sistema celular completamente digital operó en una nueva banda (900 MHz) y sin el problema anterior de la compatibilidad. Las redes GSM empezaron a comercializarse en Europa en 1991.

En EE.UU. en 1989, la Asociación Industrial de Telecomunicaciones (TIA) desarrolló normas para el nuevo sistema digital provisional estándar-54 llamado (IS-54) o digital-AMPS (D-AMPS) con compatibilidad con sistemas analógicos AMPS. La red celular norteamericana adoptó el nuevo estándar digital en 1990.

En 1993 el primer sistema de banda-estrecha (CDMA) llamado IS-95, se estandarizó como una alternativa al estándar digital en EE.UU.



GSM es considerado como el representativo de la 2G de las comunicaciones móviles. Debido a los bajos costos de equipamiento móvil y servicios, 2G empezó una revolución en las comunicaciones móviles. Su crecimiento exponencial de subscriptores se extendió alrededor del mundo en un par de años. Algunas características principales de los sistemas de 2G son:

- Tecnología digital que habilitó encriptación de datos debido al procesamiento de la señal;
- Se construyó La tarjeta SIM para el equipo móvil que habilitó su movilidad;
- SMS (Short Message Service);
- Datos o tráfico del no-voz;
- Eficiente Sistema roaming por Europa entera.

En 1995 el primer sistema comercializado CDMA/IS-95 empezó en Hong Kong, seguido en América por IS-95 en 1996. En esta generación ya se podía transferir datos además de voz y ya existió el roaming global; además el peso y tamaño de los móviles disminuyeron notablemente.

- **2.5G**

La siguiente generación fue la 2.5G. Esta generación fue una mejora a la 2G y se preveía lo que podía contener la 3G, como la conmutación de datos en paquetes. El GPRS (General Packet Radio Service) fue desarrollado como estándar. Después se introdujo el EDGE (Enhanced Data Rates aplicado a GSM Evolution). También se desarrollo otro tipo de tecnología como CDMA 2000 1x.

- **3G**

Para la generación 3G se crearon 3 tipos de tecnologías; la UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) usando CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) de banda ancha, este sistema proporciona la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad, es decir, de hasta 2Mbps. La otra tecnología fue la CDMA 2000 1xEV-DV, que ofrece servicios totales de voz y datos y es compatible con CDMA y CDMA 2000 1x y su transferencia fue de hasta



3.1Mbps. La tercera tecnología para esta generación fue desarrollada en China, el TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA).

Esta generación de telefonía móvil aportará una serie de servicios adicionales gracias a su mayor ancho de banda, como correos móviles multimedia, videotelefonía móvil, y una consolidación del concepto de oficina virtual.

- **4G o “Beyond 3G”**

Esta generación aún no es considerada como 4G por parte de IEEE, es por eso que también se le conoce como “Beyond 3G” (Más allá de 3G).

Esta generación tiene aproximadamente un año y medio que fue presentada en Japón por parte de la compañía NTT DoCoMo, que es la empresa de telefonía celular más grande de Japón y ha estado presente desde las primeras generaciones. Cuando esta compañía japonesa realizó sus pruebas sobre 4G, logró realizar una transferencia a 100 Mbps, es decir 100 veces más rápido de lo que transfieren los celulares actuales.

Debido a que la 3G tiene relativamente poco tiempo en el mercado, es muy probable que no veamos la 4G hasta que haya sido costeable el dinero invertido en la 3G y 3.5G. Uno de los objetivos principales de esta tecnología es poder transmitir entre 20 Mbps y 1Gbps (1000 Mbps).

DoCoMo ha ido aumentando la velocidad de transmisión y todavía no ha construido una red 4G. Para los años comprendidos entre el 2008 al 2010, esta empresa japonesa puso en funcionamiento una nueva tecnología que se llama “Súper 3G”, la cual ofrecerá descargas de hasta 100 Mbps y transmisión de datos de hasta 50Mbps.

Una de las diferencias de la 3G a la 4G es por supuesto la velocidad de transmisión. En los celulares de tercera generación su transferencia era de entre 384 Kbps y 2 Mbps, en cambio para la cuarta generación, la transferencia mínima esperada es de 20 Mbps llegando inclusive a 1Gbps.

La implantación de la cuarta generación (4G), por su parte, tendrá lugar más allá de la próxima década. Su introducción será que los usuarios puedan disfrutar y sacar partido de unas aplicaciones multimedia todavía más ricas en prestaciones, gracias a su gran capacidad y ancho de banda. En la 4G es la tecnología de acceso inalámbrico mediante ondas de radio.

Lo que se espera a un futuro cercano es la 4G, la que tiene como objetivo mejorar la actual 3G y unificar los sistemas para que el cliente tenga un servicio estable en cualquier parte del mundo con el mismo terminal móvil. Además de aumentar considerablemente la velocidad, lo que permitirá una gama más amplia de servicios y facilidades.

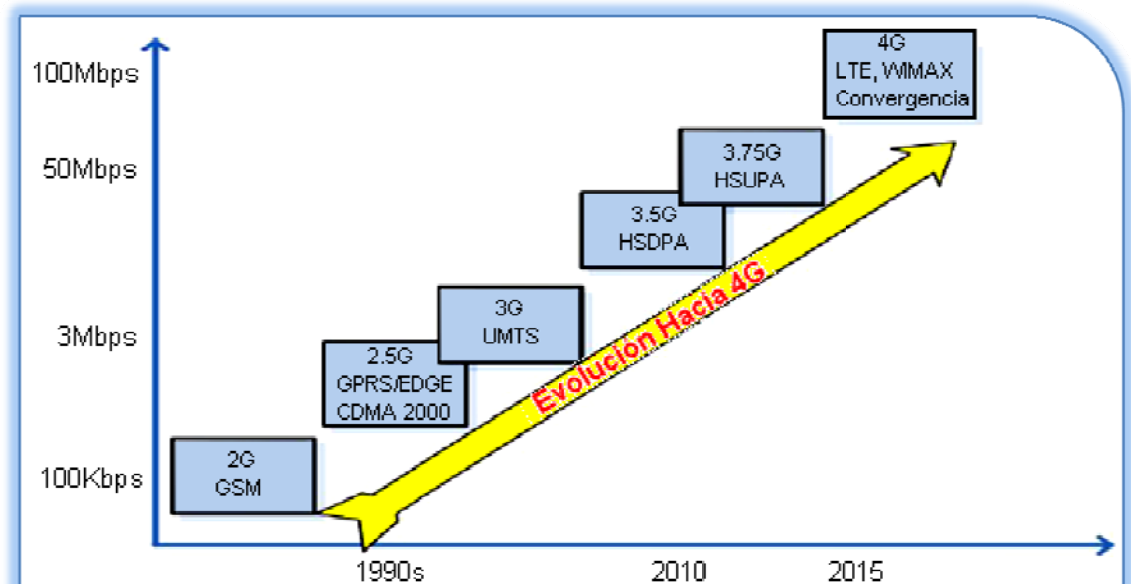


Figura 1: Evolución 4G

El 4G proporcionará un ambiente donde las conexiones podrán operar entre sí, para proporcionar la sensación de interacción en tiempo real con los distintos servicios multimedia como vídeo de alta calidad y videoconferencia. Otras tecnologías serán incluidas, como sistemas de colocación y la identificación globales de la radiofrecuencia, ampliarán las capacidades de las comunicaciones permitiendo alarmas automáticas y seguir en tiempo real de objetos y de la gente.

En la siguiente figura se muestra la evolución de las tecnologías que pretenden las operadoras móviles del Ecuador hacia LTE, poniendo como punto de partida en la red actual que nos encontramos, que este caso es GSM (2G).



Figura 2: Expectativas de migración de tecnologías móviles en Ecuador

En la Tabla 1 se presenta una reseña histórica de la tecnología de los teléfonos móviles, a lo largo de todas las generaciones.

TECNOLOGÍAS	1G	2G	2,5G	3G	4G
Año de Diseño	1970	1980	1985	1990	2000
Implementación	1984	1991	1999	2002	2011?
Servicios	Voz Analógica Datos síncronos a 9,6Kbps	Voz digital Mensajes cortos	Gran capacidad Datos paquetizados	Gran capacidad Ancho de banda a 2Mbps	Gran capacidad Orientado Completamente a IP Datos multimedia a ciento de Mbps
Estándares	AMPS, TACS NMT, etc.	TDMA, CDMA GSM, PDC	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA CDMA2000	Un solo estándar
Ancho de Banda	19Kbps	14,4Kbps	384Kbps	2Mbps	200Mbps
Multiplexación	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA?
Núcleo de Red	PSTN	PSTN	PSTN red paquetizada	red paquetizada	INTERNET

Tabla 1: Reseña histórica de las tecnologías de telefonía móvil

1.2 La Visión de 4G

La cuarta generación o 4G se presenta como la nueva generación de comunicación inalámbrica (Wireless), y que es pensada para complementar y reemplazar el sistema de 3G, en un período de 5 a 10 años, con un gran volumen de información accediendo en cualquier momento y cualquier lugar, recibiendo datos, fotos, videos y así sucesivamente.

La infraestructura futura para 4G consistiría en un juego de varias redes usando IP, como un protocolo común para que los usuarios posean el control de aplicación y entorno. De acuerdo con las tendencias de la comunicación móvil, 4G

tendría un mayor ancho de banda, una alta tasa de datos y un periodo de transición entre celdas más suave y rápido. “La clave de 4G es la integración de sus capacidades con las de todas las tecnologías móviles a través de tecnologías avanzadas”.

La conexión con las aplicaciones de red, pueden ser transferidas en varias formas y con eficacia, tomando en cuenta que los sistemas de 4G podrían inter operar con sistemas de 2G y 3G, así como sistemas de radiodifusión digital. En conclusión los sistemas 4G serían sistemas de internet inalámbrico totalmente basados en IP.

La figura 3 muestra los elementos importantes de la Visión de 4G y la conectividad para las redes.



Figura 3: Elementos importantes de la Visión de 4G

1.3 Especificaciones técnicas de LTE

El reto para la siguiente generación de redes inalámbricas es dotar de un gran ancho de banda para navegación en los móviles a un costo y servicio mucho mejor que las actuales tecnologías DSL, manteniendo la movilidad, servicio de control y maximizando la capacidad de la red sin limitaciones de los recursos espectrales.

Las especificaciones y requerimientos técnicos incluyen:



- Baja latencia y alto throughput.
- Eficiencia en la operación con accesos instantáneos a los recursos de la red.
- Soporte para aplicaciones en tiempo real y en no tiempo real.
- Flexibilidad del espectro asignado.
- Re-uso de celdas existentes.
- Alta eficiencia del espectro para datos unicast, multicast y broadcast.

Throughput: Cantidad de datos o volumen de información que son transmitidos hacia o desde algún punto de la red. Particularmente significativo en almacenamiento de información y sistemas de recuperación de información, en los cuales el rendimiento es medido en unidades como accesos por hora.

En adición a los requerimientos, 3GPP Long Term Evolution (LTE) define requerimientos de servicio que cumplan con los siguientes objetivos¹:

- **Incremento espectral de la eficiencia y la capacidad** – Se espera que LTE entregue de tres a cinco veces más la capacidad que la red 3G más avanzada actualmente.
- **Bajo costo por bit** – El incremento de la eficiencia espectral combinado con todos los beneficios de operaciones de una red IP, reduciría el costo por bit comparado a las soluciones de 3G.
- **Calidad de experiencia (QoE)** – Uno de los beneficios de LTE/SAE es la reducción en el tiempo de latencia que reforzará aplicaciones como la VoIP. El tiempo de latencia que se espera alcanzar es 20ms (comparado con 120ms para una red típica de 3G).
- **Velocidad** – Pico instantáneo de descarga de 100Mbit/s con un ancho de banda de 20MHz. Pico instantáneo de subida de 50Mbit/s con un ancho de banda de 20MHz.

¹ Evolución de la Banda Ancha Móvil, Juan Jesús Barbadillo Martínez



- **Rango de celda** – 5 km es el tamaño óptimo, 30km con desempeño razonable y hasta 100 km con desempeño aceptable.
- **Capacidad de celda** – Hasta 200 usuarios activos por celda (5MHz)
- **Movilidad** – Optimizada para baja movilidad (0-15km/h) pero soporta altas velocidades
- **Latencia** – Plano de usuario < 5ms. Plano de control < 50 ms
- **Ancho de banda escalable** – de 20MHz, 15MHz, 10MHz, 5MHz y <5MHz
- **Co-existencia con estándares legados** – (Los usuarios pueden transparentemente iniciar una llamada o transferir datos en una área usando LTE, y, cuando no hay cobertura, continuar la operación sin ninguna acción de su parte usando GSM/GPRS o WCDMA-basado en UMTS)

1.3.1 Tecnologías que utiliza la 4G

Esta generación utiliza el protocolo TCP/IP el cual es el mismo protocolo de Internet, pero para esta generación se estará utilizando el Protocolo de Internet versión 6 IPv6. Se espera que este protocolo actúe como elemento concentrador de las diferentes tecnologías radio, debido a que las mejoras de IPv6 en comparación con el protocolo que aún se sigue utilizando (IPv4) son notables, entre ellas la movilidad, direccionamiento y la seguridad. Debido a esto, la IETF (Internet Engineering Task Force) ha empezado a definir el Protocolo Mobile IP.

Uno de los problemas que se encuentra para esta generación es que con este protocolo aún no saben cómo añadir el paging ya que este protocolo no lo proporciona. El paging es cuando un nodo móvil informa su posición a la red.

Para evitar este problema, se tiene un proyecto, que se llama Geopaging, el cual es un protocolo multicast diseñado para realizar un transporte de los mensajes de paging sobre una red celular basada en IPv6. A este proyecto se le conoce como Mcast.



Otra característica esencial que presentará esta tecnología es que con el protocolo TCP/IP no le va a interesar con que radiofrecuencia hace el enlace físico, es decir, en Estados Unidos lo realizará por medio de WiMax (OFDM - Modulación por División Ortogonal de Frecuencia -) en Japón lo hará por medio de VSF-Spread OFDM y en Europa se espera el Flash-OFDM.

Con esta tecnología, se espera que las llamadas telefónicas no tengan costo alguno y la renta de los celulares sea como actualmente se ha estado haciendo con Internet, es decir con una renta mensual dependiendo del ancho de banda que se desee.

NTT DoCoMo, la empresa japonesa, comenta en su página Web que se están desarrollando un nuevo concepto que eliminará la necesidad de estaciones base permitiendo la conexión directa entre los terminales. Incluso están investigando las redes móviles versátiles en las cuales las estaciones base tendrán la capacidad de instalarse automáticamente dentro de los equipos móviles, creando una red que tenga realmente la capacidad de pensar por sí misma.

1.3.2 Elementos funcionales de una red 4G

En un escenario 4G aparecen diferentes tecnologías de acceso, las cuales serán complementarias de manera que todas puedan coexistir y, en función de sus necesidades, el cliente podrá optar por alguna de ellas, entre las cuales están: UMTS, CDMA 2000, IEEE 802.11, 802.16 y Ethernet entre otras.

Los elementos más representativos de esta red son la calidad de servicio (QoS), Autentificación autorización y contabilidad (AAAC) y la movilidad.

- QoS: La tecnología IP tal como se concibió originalmente, no ofrece ningún tipo de garantías de Calidad de Servicio. Sin embargo, existen servicios, entre ellos el telefónico, con rigurosos requisitos de retardo y variación del retardo (jitter), lo que hace necesario añadir funcionalidad a IP para que las redes basadas en este protocolo sean capaces de encargarse de la gestión de calidad de servicio, un QoS Broker, que es el corazón del sistema de prestación de



calidad de servicio en el entorno, la función que cumple es que toma las decisiones relativas al control de admisión y realiza las funciones de configuración de los dispositivos de la red (como Routers de acceso y los AAAC).

- AAAC: Las nuevas redes deberán contar con un sistema de autenticación y autorización para ofrecer formas seguras de identificación y acceso de usuarios. En este sentido el sistema AAA está encargado de comprobar identidad de los usuarios, de controlar los servicios que se usan y llevar la contabilidad para su facturación. Estos sistemas utilizan las redes IP para transportar la información de señalización necesaria.
- Movilidad: Las redes de 4G deberán soportar mecanismos eficientes que permitan la movilidad de usuarios que, utilizando el mismo o distinto Terminal, se conecten a la red mediante distintas redes de acceso (WCDMA, WLAN, Ethernet, etc.) operadas por distintas entidades. Esto requiere mecanismos que soporten traspasos (handovers) entre subredes bajo igual o distinta tecnología (traspaso horizontal y vertical) de forma eficiente, teniendo como elemento común el transporte IP. La base del soporte de movilidad en redes IP (v6) es el protocolo Mobile IP (v6).

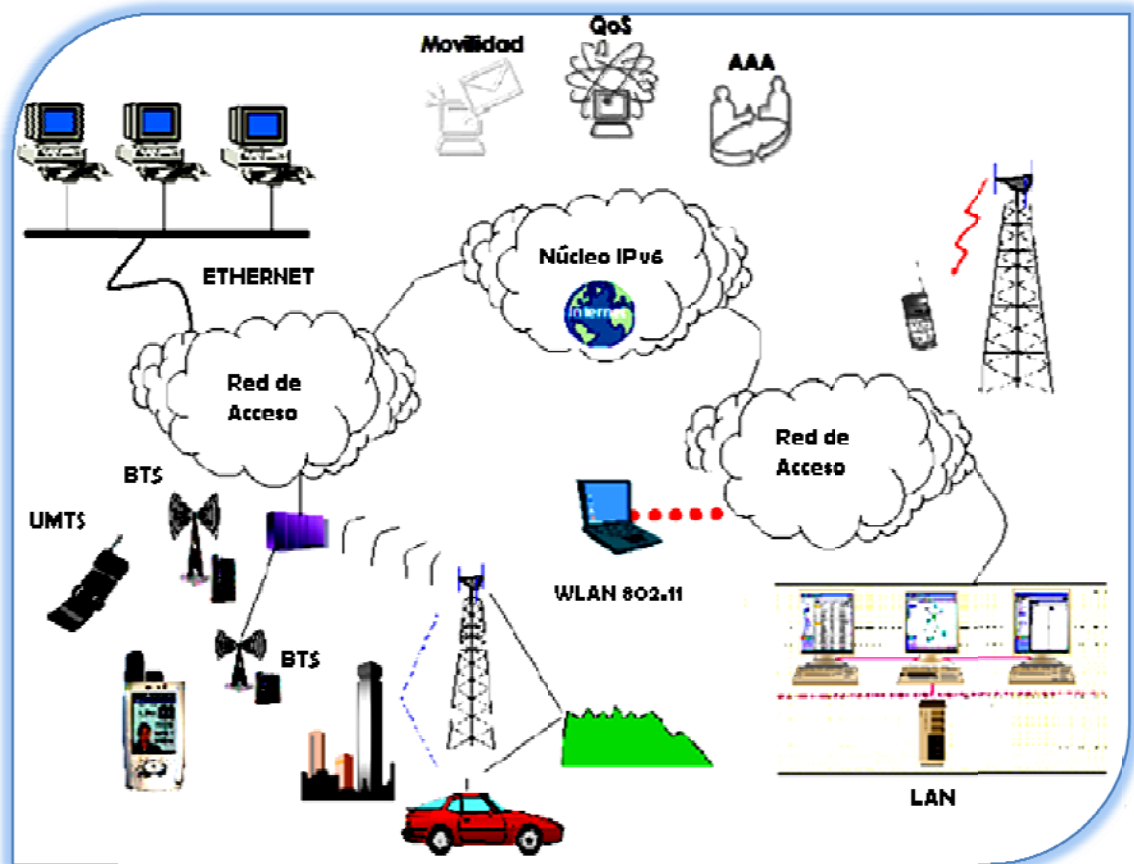


Figura 4: Elementos funcionales de una red 4G

El terminal móvil no puede recibir paquetes IP mientras el proceso de handover haya terminado. Este tiempo es llamado latencia de handover, y este tiene una gran influencia sobre el flujo de aplicaciones multimedia en tiempo real.

IPv6 en móviles se ha propuesto reducir el tiempo de latencia handover y el número de paquetes perdidos.

1.3.3 MIMO y OFDM Generalidades

Es una tecnología que transmite múltiples señales simultáneamente sobre un solo medio de transmisión, como un cable o el aire. Cada señal viaja con su propio y único rango de frecuencia (portadora), el cual es modulado por los datos (sean de texto, voz, vídeo, etc.).



- **(OFDM) Orthogonal Frequency Division Multi plexing** - distribuye el dato sobre un largo número de portadores que son espaciados en precisas frecuencias. Este espaciado provee la “ortogonalidad” en esta técnica prevé al demodulador de ver frecuencias que no son las suyas. Es intrínsecamente capaz de manejar las modulaciones de radio frecuencia más común, sin la necesidad de técnicas complejas de ecualización y fácil escalabilidad a diferentes requerimientos de ancho de banda.
- **(MIMO) Multiple Input/Multiple Output** – (múltiples entradas y múltiples salidas) es una técnica que emplea múltiples antenas tanto para la recepción como para la transmisión

El uso combinado de OFDM y MIMO mejora la eficiencia del espectro y la capacidad de las redes inalámbricas, maximizando el uso del valioso y limitado espectro de frecuencias controlado por entes reguladores.

1.3.3.1 Características Principales

OFDM es ya una tecnología de acceso externo actualmente desplegada en un sin número de aplicaciones inalámbricas y alámbricas. Estas aplicaciones incluyen broadcast (Digital Audio Broadcast or DAB y Digital Video Broadcast DVB), WLAN (IEEE 802.11a y IEEE 802.11g), WiMax (IEEE 802.16) y aplicaciones alámbricas como Asynchronous Digital Subscriber Loop (ADSL/ADSL2+). OFDM es aceptado como la base para la interfaz de aire.

La tecnología MIMO-OFDM ha sido desarrollada por Iospan Gíreles, que usa múltiples antenas para transmitir y recibir las señales de radio. MIMO-OFDM permitirá proveer servicios de acceso inalámbrico de banda-ancha que tienen funcionalidad sin línea de vista.

Especialmente MIMO-OFDM aprovecha las ventajas de las propiedades de entorno multicamino o multitrayecto usando antenas de estación base que no tienen línea de vista de acuerdo a Iospan.



En este entorno, las señales de radio rebotan en los edificios, árboles y otros objetos en el viaje entre las dos antenas. Este efecto rebote produce múltiples ecos o imágenes de la señal. Como resultado la señal original y cada eco llegan a la antena receptora con una pequeña diferencia de tiempo causando los ecos, degradando la calidad de señal. El sistema MIMO usa múltiples antenas para simultáneamente transmitir datos, en pequeños pedazos hacia el receptor, el cual puede procesar el flujo de datos y poderlos reconstruir. Este proceso llamado multiplexación espacial, proporcionalmente incrementa la velocidad de transmisión por un factor igual al número de antenas de transmisión.

MIMO despliega antenas de múltiple transmisión y recepción para reforzar la interfaz de aire.

El proceso MIMO también explota la multiplexación espacial, siguiendo diferentes datos para ser transmitidos simultáneamente desde diferentes antenas transmisoras para incrementar la tasa de datos del usuario final y la capacidad del celular.

Las antenas múltiples hacen que el rendimiento del servicio aumente en las llamadas en un móvil de 4G.

La tecnología de las múltiples antenas brinda una alta capacidad para servicios de internet y multimedia. Este diseño es motivado por la demanda creciente de banda ancha para el acceso inalámbrico a Internet.

La banda de frecuencia de las tarjetas para estos sistemas es de 2 a 5GHz debido a las favorables características de propagación y bajo costo de equipos para radio frecuencia. El canal de broadband es típicamente un canal que no funciona con línea de vista directa e incluye colapsos en la selección de tiempo y de frecuencia. Las múltiples antenas en el receptor y en el transmisor proporcionan gran diversidad y un colapso del ambiente.

Empleando múltiples antenas, son creados múltiples canales espaciales, y esto hace que sea improbable que todos los canales colapsaran simultáneamente.

OFDM es escogido para una solución “Single carrier” (portadora simple) para bajar la complejidad de ecualizadores para altos retardos del canal ensanchado o alta tasa de datos. Una señal de broadband es eliminada bajo el ingreso de múltiples portadoras (tonos).

Para mantener ortogonalidad entre los tonos, es adicionado un prefijo cíclico que tiene una longitud mayor al retardo del espectro ensanchado.

OFDM puede ser implementado usando la FFT para el transmisor y receptor. En el receptor, la FFT reduce la respuesta del canal en una constante multiplicativa en una base tono por tono. Con MIMO la respuesta al canal se convierte en matriz y cada tono puede ser ecualizado independientemente, y con esto la complejidad de la ecualización de space-time (espacio de tiempo) es evitado

1.4 Modulaciones para la última generación

1.4.1 Tecnologías de radio

En el presente las tecnologías HSPA, son basadas en mejoras a las tecnologías de radio UMTS, con lo cual se obtienen mayor velocidad tanto para bajar como para subir información. Las tecnologías que predominen el mercado en un plazo superior a 5 años, son las basadas en OFDM y MIMO, dejando ya para aplicaciones muy particulares el WCDMA y las TDMA

La característica de LTE sería su interfaz radioeléctrica basada en OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - Acceso Multiple por División de Frecuencias Ortogonales) para el enlace descendente (DL) y SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) para el enlace ascendente (UL). La modulación que brinda el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO – Múltiple Input; Múltiple Output) tengan una facilidad de implementación favoreciendo según el medio, y así lograr cuadruplicar la eficacia de transmisión de datos.

Su velocidad es muy alta debido a que su tasa de transferencia de datos presenta picos de 100Mbps en el enlace de bajada y 50Mbps en el enlace de subida. Por cada 5MHz por célula se pueden tener por lo menos 200 usuarios activos. El espectro se puede aprovechar de mejor manera usando espacios tan pequeños como 1.5MHz o tan largo 20MHz.

MIMO es una técnica que emplea múltiples antenas de transmisión y recepción para mejorar la interfaz aire. Utiliza codificación espacio-tiempo que mejora la diversidad en recepción. MIMO puede combinarse con la técnica beamforming², para mejorar el número de usuarios que cada antena puede dar servicio. Esta técnica cambia haces de señal según la posición exacta del usuario, la combinación puede llegar a ofrecer hasta 7 veces más capacidad que un sistema convencional.

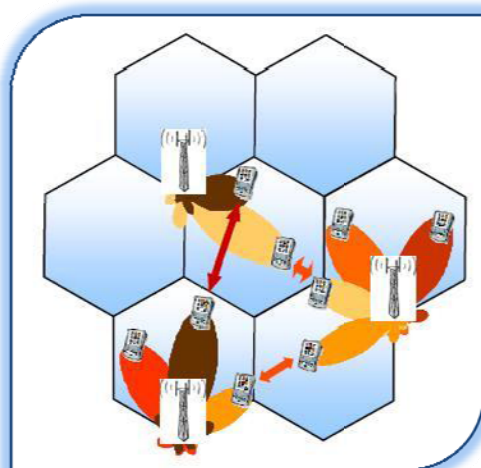


Figura 5: Sistema beamforming en una celda

La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a los desvanecimientos selectivos en frecuencia y frente a las interferencias de RF.

²Es la propiedad que tienen los sistemas de antenas adaptativos de poder dirigir el lóbulo principal a una dirección en particular (centrar la potencia de transmisión en un objetivo), lo cual durante la transmisión, la señal puede ser dirigida a la dirección requerida del receptor, así como una antena direccional



Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes (fading) que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia. Los beneficios de OFDM son una eficiencia espectral alta, resistencia a interferencias de RF, y baja distorsión de multitrayecto o multicamino. Esto es útil porque en un escenario broadcasting terrestre hay canales multicamino (la señal transmitida llega al receptor de varios caminos y de diferentes distancias).

Si se compara a las técnicas de banda ancha como CDMA, OFDM genera una alta tasa de transmisión al dividir el flujo de datos en muchos canales paralelos o subportadoras que se transmiten en igual número de portadoras de banda angosta y con tiempos de símbolo (uno o varios bits) mayores al caso de usar banda ancha donde para lograr la misma tasa de transmisión los tiempos de símbolo son más cortos.

En OFDM las subportadoras usadas para transmitir son escogidas de modo que sean ortogonales entre sí (desfase de 90° entre señales de la misma frecuencia); esto produce la ventaja de evitar el uso de bandas de guardas y así un eficiente uso del espectro; y al realizar la modulación, se puede realizar por una simple Transformada Inversa de Fourier Discreta (IDFT) el cual puede ser implementado muy eficientemente mediante una I Fast Fourier Transform (IFFT) en concordancia con el receptor solo se necesita una FFT para invertir esta operación, de acuerdo a la Transformada de Fourier la forma del pulso rectangular guiará a los espectros de las subportadoras del tipo $\sin(x)/x$. El hecho de trabajar en tiempo discreto mediante la IDFT, es debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas.

Las diferentes subportadoras no están separadas en frecuencia, se superponen. Usando IFFT para la modulación, implícitamente se escoge las portadoras en tal manera que la frecuencia en la que se evalúa es la señal recibida, las demás son consideradas como cero. En orden para preservar esta ortogonalidad lo siguiente debe ser verdadero:



- El receptor y el transmisor deben estar perfectamente sincronizados. Esto significa que ambos deben asumir exactamente la misma frecuencia y la misma escala de tiempo para la transmisión.
- Los componentes análogos, parte del transmisor y receptor deben ser de muy alta calidad.
- Canales multitrayecto con niveles de potencia marginal.

1.4.2 Downlink, Esquema de Transmisión

Para el enlace de bajada se utilizará el Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA).

OFDM se basa en la técnica de multiplexación por frecuencia, en donde las frecuencias y modulaciones en cada canal son ortogonales entre sí, de manera que se minimiza la interferencia. Esta técnica constituye una tecnología de acceso desplegada en gran variedad de aplicaciones inalámbricas y fijas como: la difusión de Video (DVB), WiMax y ADSL.

Otra característica común que se está utilizando y que provee como imprescindible para 4G son la modulación y codificación adaptativa AMC, el planificador rápido Fast Sheduling y el HARQ que es un mecanismo de retransmisión de mensajes en caso de error, que en estos momentos son utilizados por las tecnologías HSPA, WiMax móvil y EVDO con el fin de obtener el mejor rendimiento en la red.

Para el enlace de bajada en OFDMA, este permite que se tenga receptores sencillos en las terminales en caso de un ancho de banda grande, selección de frecuencia en el enlace, la modulación y codificación adaptiva hasta 64-SAM.

El enlace de bajada (Downlink), tiene una estructura de frecuencias basada en un número largo de sub portadoras individuales con un espacio de 15KHz. Esta frecuencia permite facilidades para implementar un modo dual entre terminales UTRA/E-UTRA.

La habilidad de alcanzar alta tasa de bits depende del corto retardo en el sistema y de la duración de la sub-trama. Consecuentemente la duración de la sub-trama en LTE es de 0,5 ms, minimizando así la latencia en la interfaz de radio.

Para manejar los diferentes retardos del espectro ensanchado y los tamaños de las celdas con el encabezado de OFDM, el enlace de bajada presenta un esquema de transmisión que se denomina prefijo cíclico; el cual asume dos valores diferentes.

- El espacio entre señal portadora será de $\Delta f = 15\text{KHz}$
o
- El prefijo cíclico extendido necesitará para el broadcast/multicast un:
o

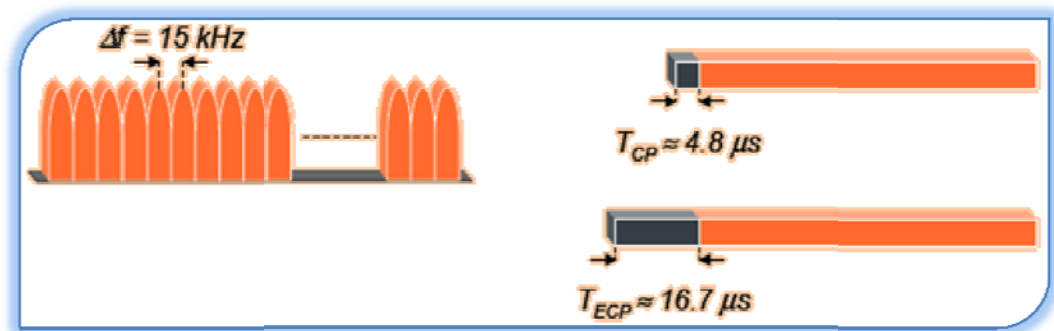


Figura 6: Downlink con prefijo cíclico

En el prefijo cíclico de 4,8us se mejora el retardo del espectro ensanchado para más escenarios Unicast; con el prefijo cíclico más largo de 16.7us, las celdas crecen considerablemente llegando hasta los 120Km de radio, pudiendo así de esta manera, manejar la dispersión de tiempo. En este caso la longitud es mayor para reducir el número de símbolos OFDM en una sub-trama.

OFDM es conveniente para servicios de Broadcast. Para soportar dichos servicios, la misma información es transmitida desde varias estaciones base (sincronizadas) hasta el terminal. El total de señales que recibe el terminal desde las estaciones base, aparecerán como propagación multitrayecto y así implícitamente será aprovechado por el receptor OFDM. El prefijo cíclico largo combina señales Broadcast de un número grande de estaciones bases distantes.



El esquema de transmisión para el enlace de bajada se muestra a continuación en la figura 6 y presenta las siguientes características:

El espaciamiento del subcarrier en OFDM el downlink es 15 kilociclos y hay un máximo de 2048 subcarriers disponibles. Los dispositivos móviles deben ser capaces de recibir los 2048 subcarriers pero con la ayuda de la estación base que transmite solamente 72 subcarriers. La transmisión se divide a tiempo en ranuras de tiempo de la duración 0.5 ms y sub tramas de duración 1.0 ms. Un marco de radio es de 10 ms largo.

Los formatos apoyados de la modulación en los canales de los datos del downlink son QPSK, 16QAM y 64QAM.

Para la operación MIMO, se hace una distinción entre un usuario MIMO, y multi usuarios MIMO para realzar el rendimiento de procesamiento de datos de los usuarios y de la celda.

- Enlace de bajada fijado
 - o Canales no dedicados

- Canal-dependiente fijado en el dominio de tiempo y frecuencia
 - o Tiempo Mínimo x Recurso de Frecuencia para adaptar el enlace
 - o MIMO, 3 dimensiones (Tiempo x Frecuencia x Stream)

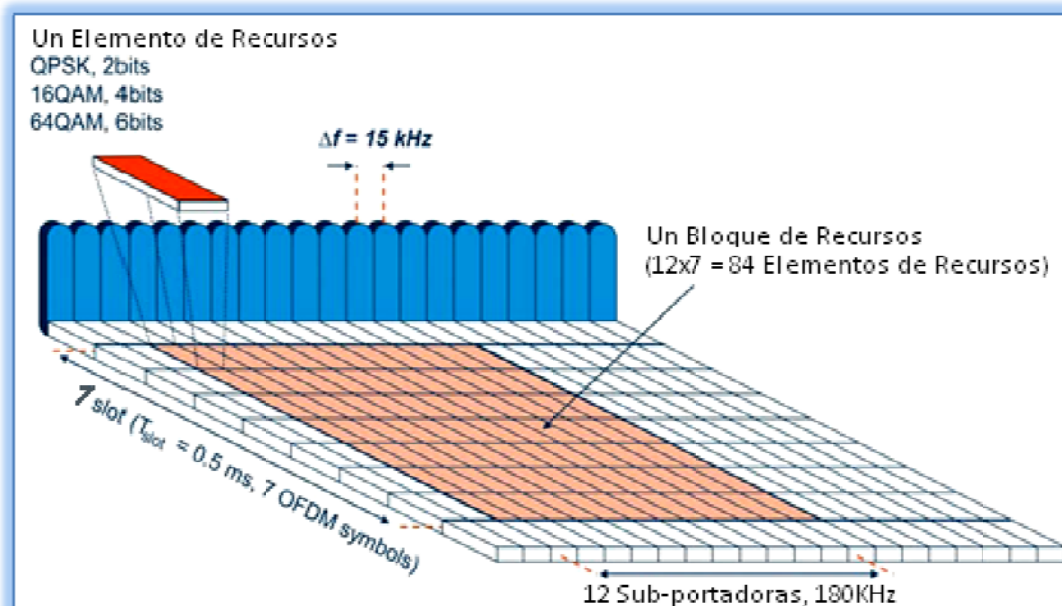


Figura 7: Esquema de transmisión para el enlace de bajada

1.4.3 Múltiples Tecnologías de acceso en downlink para OFDM y OFDMA

OFDMA es una variante de OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal), un esquema de modulación de multi-portador digital se usa en los sistemas inalámbricos pero relativamente es nuevo para los celulares. Se transmite una alta tasa de flujo de datos con una sola portadora.

OFDM hace uso de un número largo de sub portadoras espaciadas ortogonalmente y que son transmitidas en paralelo. Cada sub portadora es modulada mediante un esquema de modulación convencional (como QPSK, 16QAM o 64QAM). La combinación de centenares o miles de sub portadoras habilitan una tasa de datos similar a un esquema de modulación convencional single carrier en el mismo ancho de banda.

El diagrama de la Figura 8 ilustra la llave del futuro de una señal OFDM en el dominio del tiempo y frecuencia los tonos adyacentes múltiples o sub portadoras son modulados independientemente cada uno con los datos. Entonces en el dominio del tiempo, los intervalos son insertados entre cada símbolo para prevenir la interferencia inter simbólica en el receptor que es causada por la demora multi-camino en el canal de radio.

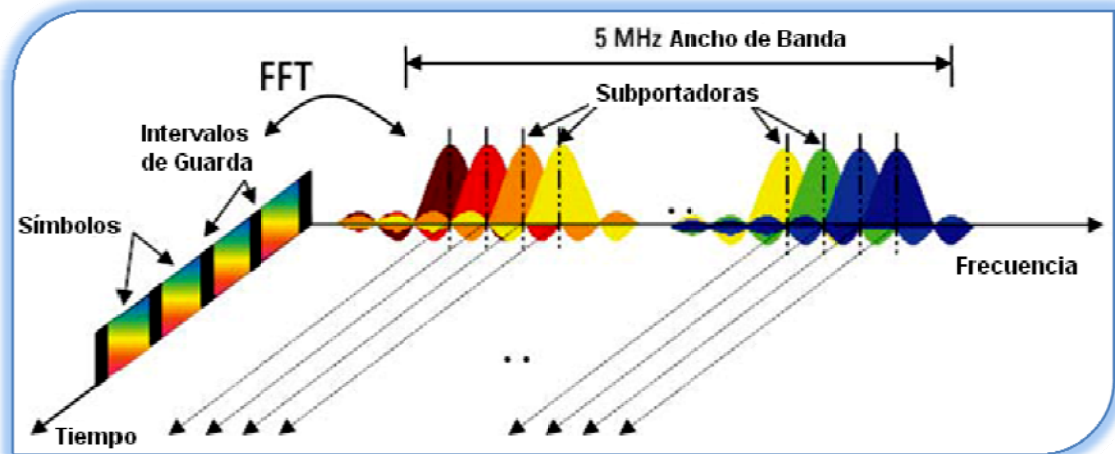


Figura 8: Señal OFDM representada en el dominio del tiempo y de frecuencia.

Aunque OFDM se ha usado durante muchos años en los sistemas de comunicación su uso en los dispositivos móviles es reciente. El Instituto de estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI) primero miró a OFDM para GSM en el año 1980, sin embargo, el proceso requerido para realizar muchas operaciones de FFT al corazón de OFDM demandaba demasiado tiempo y dinero para una aplicación móvil. En 1998, 3GPP consideró seriamente a OFDM para UMTS pero de nuevo escogió una tecnología alternativa basada en el acceso múltiple por división de código (CDMA).

Hoy en día el proceso digital de señales ha sido enormemente reducido y OFDM es ahora considerado un método comercialmente viable de transmisión inalámbrica para celulares.

Cuando se compara la tecnología CDMA en que UMTS se basa, OFDM se distingue por las siguientes ventajas:

- OFDM puede ser fácilmente escalable a canales anchos que son más resistentes a fallas.
- La ecualización del canal OFDM es mucho más simple para implementar un ecualizador CDMA, cuando la señal OFDM se representa en el dominio de la frecuencia en lugar que en el dominio del tiempo.



- OFDM puede ser completamente resistente a la demora multi-trayecto. Esto es posible ya que los símbolos largos usados para OFDM pueden ser separados por un intervalo conocido como el prefijo cíclico (CP). El prefijo cíclico es una copia del final del símbolo insertado al principio. Probando la señal recibida en el momento óptimo, el receptor puede quitar la interferencia en el dominio del tiempo entre los símbolos adyacentes causados por el retardo multi-trayecto en el canal de radio.
- OFDM satisface bien a MIMO. La representación en el dominio de la frecuencia de la señal permite al pre-codificar igualar la señal a la frecuencia.

Sin embargo OFDM tiene algunas desventajas. Las sub portadoras se espacian en OFDM haciendo sensible a errores de frecuencia y ruido en la fase. Por la misma razón OFDM es sensible al efecto Doppler, causando así interferencias entre las sub portadoras.

Con esto se sabe que operar con OFDM será más dificultoso que con CDMA en el borde de las celdas. CDMA usa códigos scrambling para brindar protección de la interferencia intercelular al borde de las celdas, considerando que OFDM no tiene tal característica. Por consiguiente, de alguna manera se planea la frecuencia a los bordes de la celda

La Figura 9 da un ejemplo de cómo se puede lograr esto. El color amarillo representa los canales totales de banda ancha y los otros colores muestran un plan para el re-uso de frecuencias para evitar la interferencia intercelular a los bordes de la celda.

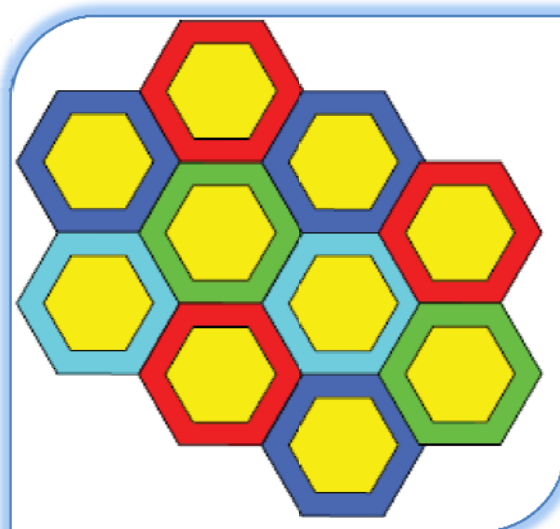


Figura 9: Ejemplo de planeación de frecuencia para evitar la interferencia intercelular en los bordes de la celda.

El esquema OFDM se utiliza en comunicaciones de banda ancha tanto inalámbrica como cableada. La ventaja principal frente a los esquemas que utilizan una única portadora es su habilidad para funcionar correctamente en canales de comunicación que presentan condiciones difíciles, tales como la atenuación de las frecuencias altas en cables de cobre de gran longitud, o la interferencia de banda angosta y el desvanecimiento selectivo de la señal con la frecuencia, que se presentan en las comunicaciones inalámbricas.

OFDM puede considerarse como el uso simultáneo, o en paralelo, de numerosas portadoras moduladas cada una en banda angosta, en lugar de una sola portadora modulada en banda ancha. Cada subportadora es modulada con un esquema convencional, tal como QAM, a una tasa de símbolo muy baja. Esto facilita la eliminación de la interferencia intersímbolo.

1.4.4 Uplink, Esquema de Transmisión

Para el enlace de subida se utilizará Single Carrier FDMA con ancho de banda dinámico.

Un requerimiento para la transmisión en el enlace de subida (Uplink), es que la transmisión deberá permitir una máxima eficiencia al usuario final; para alcanzar esto, el (single carrier) acceso múltiple a la división e frecuencia (FDMA) con un ancho de banda dinámico es la mejor opción.

Para lograr la ortogonalidad intra-celda, la estación base (BS) asigna un único intervalo tiempo-frecuencia al terminal para la transmisión de datos del usuario; esto es hecho para cada intervalo de tiempo.

Los usuarios son separados primeramente por time-domain scheduling; sin embargo si el terminal tiene una potencia de transmisión limitada o pocos datos para transmitir, la planificación en el dominio de la frecuencia también es usada. En las siguientes figuras se indica TDMA y FDMA con sus principales características y limitaciones.

- Separación del tiempo-dominio
 - Dominio en el tiempo - scheduling, TDMA
- Problema: Ineficiente utilización del ancho de banda
 - La carga útil es limitada por lo que el ancho de banda no se utiliza en su totalidad.
 - Ancho de banda asignado a un usuario a la vez

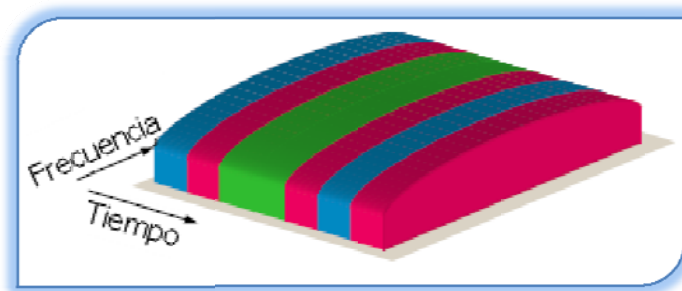


Figura 10: TDMA

- Soporte adicional para separación en el dominio de frecuencia
 - dominio de la frecuencia- scheduling, FDMA
 - Flexibilidad de Ancho de banda
 - El Ancho de banda puede ser compartido para varios usuarios

- o Se transmite en un ancho de banda variable

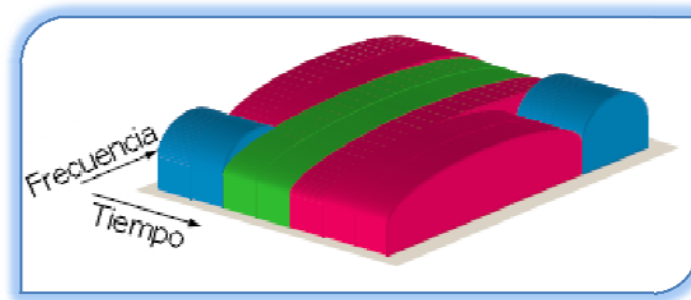


Figura 11: FDMA

- SC-FDMA estructura de sub trama (0.5ms)

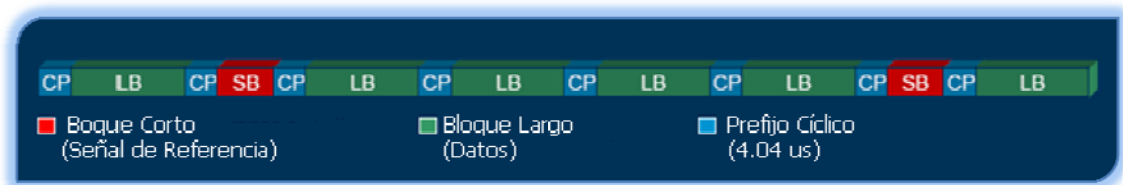


Figura 12: Trama SC-FDMA

Las aplicaciones actualmente propuestas del uplink es la multiplexación SC-FDMA, y modulación QPSK o 16QAM ó 64QAM. Cada dispositivo móvil tiene por lo menos un transmisor. Si se introduce el acceso múltiple de MIMO virtual/de la división espacial (SDMA) la tasa de datos en la dirección del uplink se puede aumentar dependiendo del número de antenas en la estación base.

- Generación en el dominio de frecuencia SC-FDMA
 - o Es posible la generación en el dominio del tiempo y de la frecuencia.
 - o Misma numeración como en el enlace de bajada.

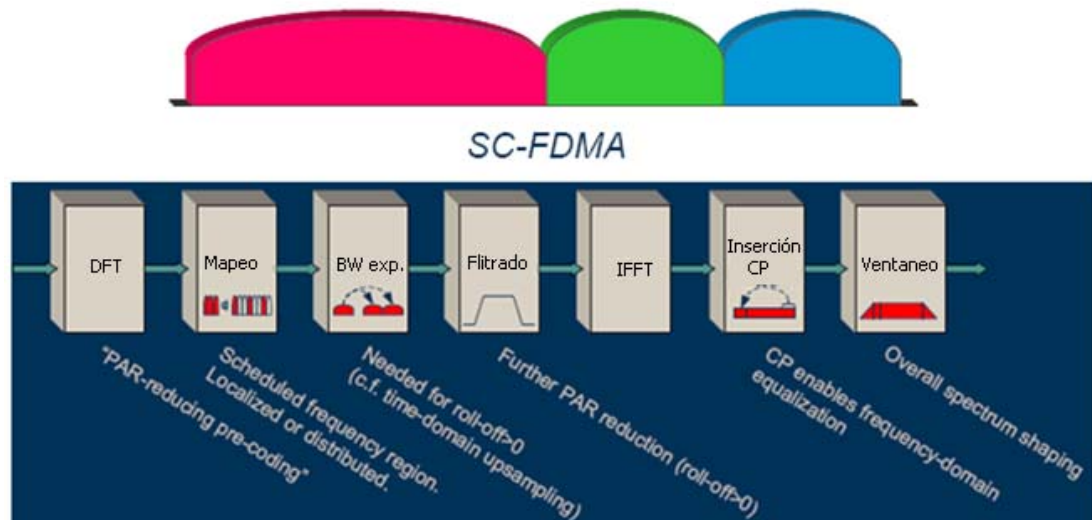


Figura 13: Diagrama en bloques de la modulación SC-FDMA

1.4.5. Múltiples Tecnologías de acceso en uplink SC-FDMA

SC-FDMA combina las técnicas de los sistemas de transmisión de single-carrier, como GSM y CDMA, con resistencia al multi-trayecto y una flexible asignación de frecuencia OFDMA.

Los símbolos de datos en el dominio del tiempo son convertidos al dominio de la frecuencia mediante la transformada discreta de Fourier (DFT), entonces en el dominio de la frecuencia son mapeados antes de convertirlos al dominio del tiempo la transformada de Fourier inversa (IFFT). Finalmente el prefijo cíclico es insertado. Porque SC-FDMA usa esta técnica, a veces se llama transformada de Fourier discreta ensanchada (DTF-SOFDM).

1.4.5.1 Comparaciones entre OFDMA y SC-FDMA

Una comparación gráfica de OFDMA y SC-FDMA se muestra en la Figura 14, muestra las diferencias entre estos dos esquemas de modulación:

Para entender este ejemplo con claridad se usa solo 4 sub portadoras (M) sobre dos períodos de símbolo con los datos de carga útil representados por la modulación QPSK. Como se describe anteriormente, las señales reales LTE son asignadas en unidades de 12 sub portadoras adyacentes.

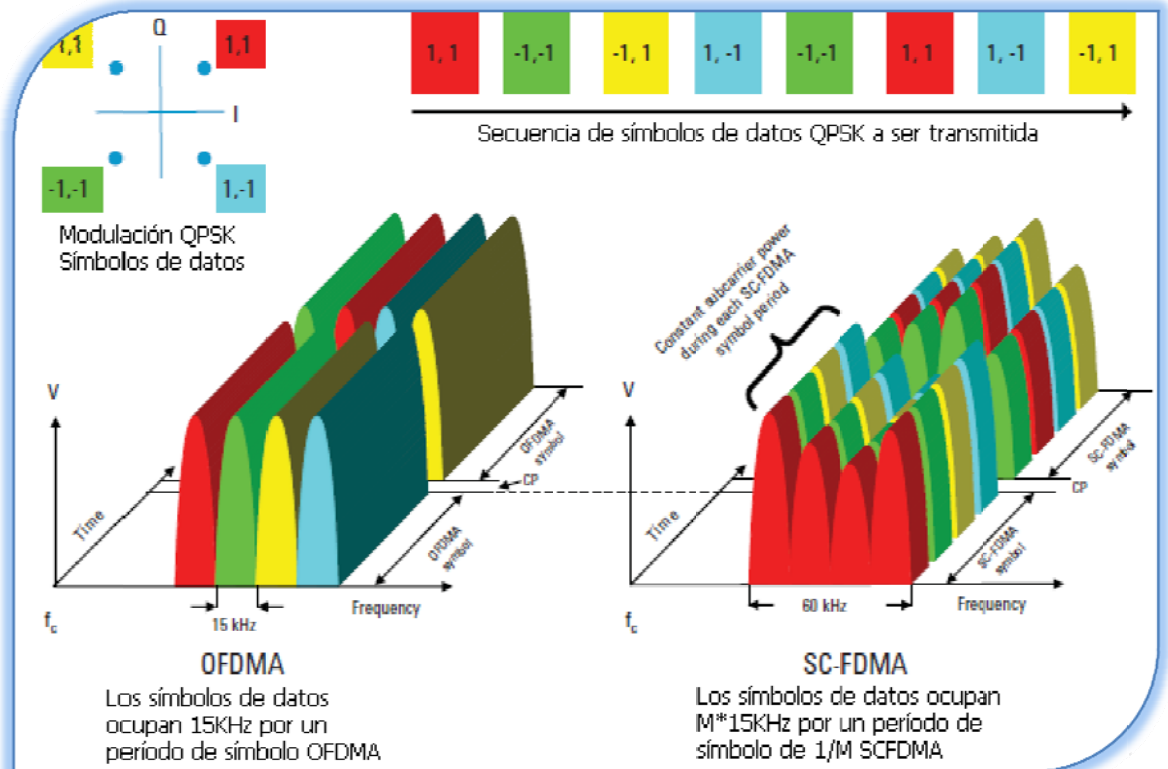


Figura 14: Comparación entre OFDMA y SC-FDMA transmitiendo una serie de símbolos de datos QPSK.

En el lado izquierdo de la figura 14, las M sub portadoras adyacentes de 15KHz (ya posicionadas en el lugar deseado en el canal de ancho de banda) son moduladas cada una por el período de símbolo OFDMA de 66.7 μ s por un símbolo de dato QPSK. En estas cuatro sub portadoras de ejemplo, cuatro símbolos son llevados en paralelo. Estos son los símbolos de datos QPSK en la que solo la fase de cada sub portadora es modulada y la potencia de cada sub portadora permanece constante entre símbolos.

Después de que un período de símbolo OFDMA ha pasado, el prefijo cíclico es insertado y los siguientes cuatro símbolos son transmitidos en paralelo.

Para una mejor claridad visual el prefijo cíclico se muestra como un hueco, sin embargo, este hueco en la realidad es llenado con una copia del extremo del siguiente símbolo, la potencia de transmisión es continua pero tiene una discontinuidad de la fase al límite del símbolo.

Para crear la señal transmitida, una transformada inversa de Fourier (IFFT) se realiza en cada sub portadora para crear M señales en el dominio del tiempo. Estos vectores se suman para crear al final una forma de onda en el dominio del tiempo que va a ser usada para la transmisión.

La generación de la señal SC-FDMA empieza con un proceso especial de pre-codificación, continuando de una manera similar a OFDMA. Sin embargo, antes de entrar en los detalles del proceso de generación es útil describir el resultado final como se muestra en el lado derecho de la Figura 14. La diferencia más obvia entre los dos esquemas es que OFDMA transmite los cuatro símbolos de datos QPSK en paralelo, uno por sub portadora; mientras que SC-FDMA transmite los cuatro símbolos de datos QPSK en series de cuatro veces, con cada símbolo de datos ocupa un ancho de banda de $M \times 15\text{KHz}$.

Visualizando la señal OFDMA, es claramente una multi-portadora con un símbolo de datos por sub portadora, pero la señal SC-FDMA parece ser más como un solo-portador. Note que las longitudes de los símbolos OFDMA y SC-FDMA son de $66.7 \mu\text{s}$ para respectivamente: sin embargo el símbolo SC-FDMA contiene M “sub símbolos” que representan los datos modulados, esto es la transmisión paralela de múltiples símbolos. Para transmitir M símbolos de datos en series a M veces, el SC-FDMA ocupa el mismo ancho de banda como múltiples portadoras OFDMA.

1.4.5.2 Generación de la señal SC-FDMA

Como se dijo, la generación de la señal SC-FDMA empieza con un proceso especial de pre-codificado. La Figura 15 muestra el primer paso, que será una forma de onda en el dominio del tiempo de los sub-símbolos de datos QPSK.

Usando el cuarto color del código de símbolo de datos QPSK de la Figura 14, el proceso crea un símbolo SC-FDMA en el dominio del tiempo trazando una trayectoria con el fin de mover de un símbolo de datos QPSK al próximo. Esto se hace en M veces la tasa de símbolo de SC-FDMA tal que un símbolo SC-FDMA contiene M símbolos de datos consecutivos QPSK.

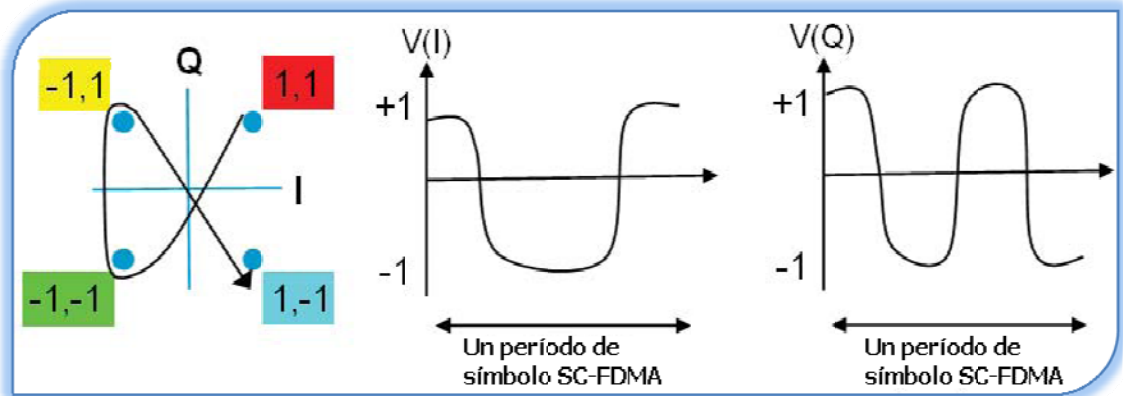


Figura 15: Creación de la forma de onda en el dominio del tiempo del un símbolo SC-FDMA.

Una representación IQ de un símbolo SC-FDMA, ha sido creada en el dominio del tiempo, el siguiente paso es representar el símbolo en el dominio de la frecuencia usando la transformada directa de Fourier (DFT). Esto se muestra en la Figura 16. Las muestras de frecuencia DFT son escogidas tal que la forma de onda en el dominio del tiempo de un símbolo SC-FDMA es representado totalmente por M DFT dirac espaciados 15KHZ entre sí, con cada dirac que representa una sub portadora en donde la amplitud y la fase se mantienen constante para 66.7 s.

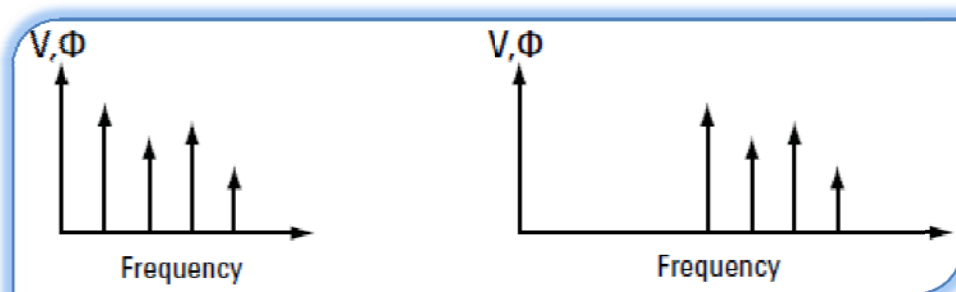


Figura 16: Representación de la DFT en un símbolo SC-FDMA.

Una correlación una a una siempre existe entre el número de símbolos de datos a ser transmitidos durante un período de símbolo SC-FDMA y el número de bins de la DFT creados. Cuando un número creciente de símbolos de datos se transmite durante un periodo SC-FDMA, la forma de onda en el dominio del tiempo cambia rápidamente, generando un ancho de banda superior y un requerimiento de más bins DFT para representar totalmente la señal en el dominio de la frecuencia. Note en la Figura 16 que no hay una gran relación directa entre la amplitud y fase de los bins DFT individuales y los símbolos de datos QPSK originales. Esto difiere del

ejemplo de OFDMA en que los símbolos de datos modulan directamente las subportadoras.

El siguiente paso del proceso de la generación de la señal es cambiar la banda base de la representación de la DFT en el dominio del tiempo de un símbolo SC-FDMA a un canal de ancho de banda. Porque la señal se representa ahora como una DFT, mientras la frecuencia a cambiar es un proceso simple logrando copiar las M bins en una DFT más grande de N bins. Este largo espacio iguala el tamaño del sistema del canal de ancho de banda, del cual hay seis por escoger en LTE, en el rango de 1.4 a 20MHz.

La señal puede ser posicionada en cualquier parte en el canal de ancho de banda, ejecutando así el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) esencial para compartir el enlace de subida entre múltiples usuarios.

Para completar la generación de señal SC-FDMA, el proceso sigue los mismos pasos en cuanto a OFDMA. Realizando una conversión IDFT de la señal de frecuencia al dominio del tiempo e insertando el prefijo cíclico (CP), proporciona la robustez fundamental de OFDMA contra el multi-trayecto. La relación entre SC-FDMA y OFDMA es ilustrada en la Figura 17.

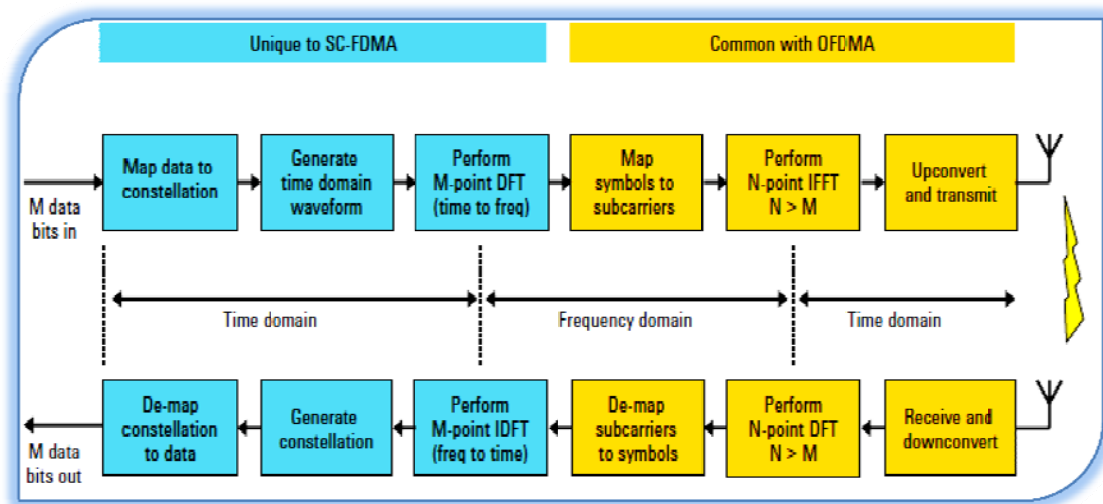


Figura 17: Modelo Simplificado de la generación y recepción de la señal SC-FDMA y OFDMA.

1.4.6 Estructura Tx & Rx de SC-FDMA

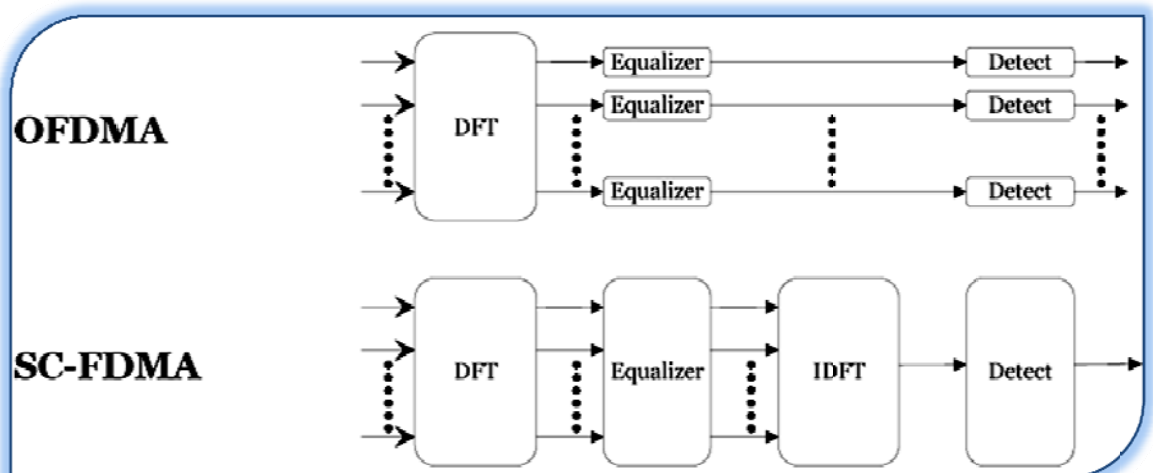
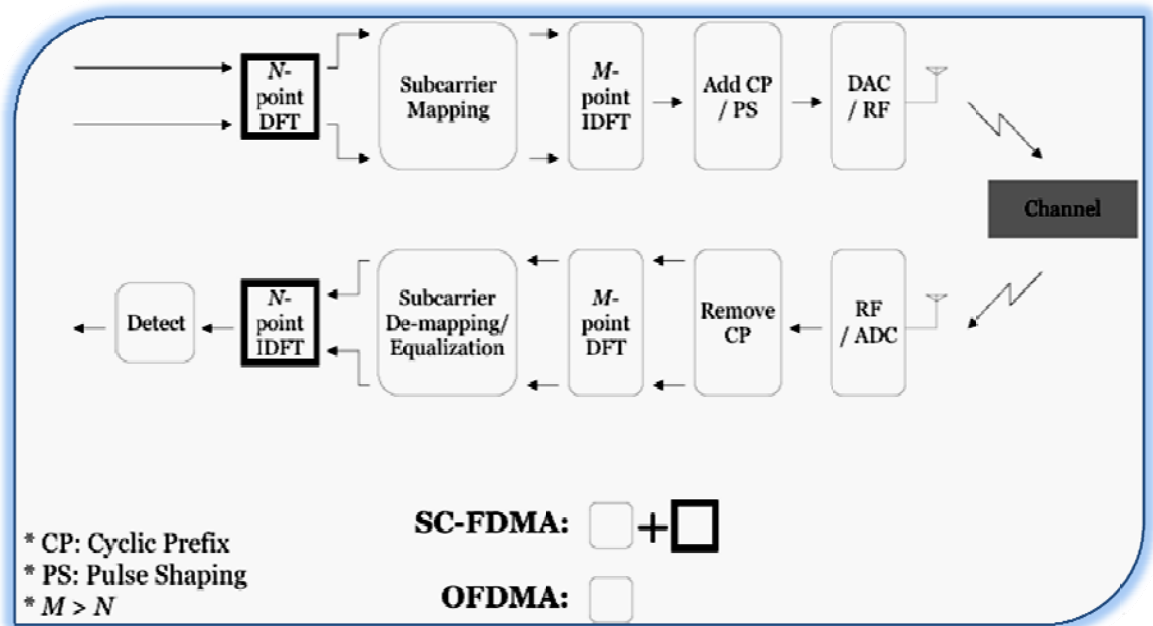


Figura 18: Estructura Tx – Rx de SC-FDMA

1.4.7. Solución con Múltiples Antenas

Las técnicas de la multi-antena avanzadas jugarán un papel muy importante en el cumplimiento de los requisitos de LTE, sobre el incremento de las tasas de datos y mejoramiento de la capacidad. Esto incluye soluciones como el uso de la técnica del beamforming y transmisión multi-capa, para potencializar un mejoramiento en el dominio espacial.



Incrementando las tasas de datos, se puede lograr transmitir múltiples streams o capas en paralelo a un mismo usuario. Esta transmisión multi-capas, es conocida como MIMO. El uso preferido por MIMO es en condiciones con favorable señal a ruido. La transmisión multi-capas puede ser aplicada tanto como para la transmisión del enlace de bajada (downlink) como para el enlace de subida (uplink).

El receptor tiene la posibilidad de separar los datos múltiples usando la propiedad del canal y conociendo el esquema de código. Para que los receptores resuelvan esta tarea es necesario regularizar el esquema de transmisión de multi-capas seleccionado para LTE.

Beamforming implica que las múltiples antenas son usadas para formar la transmisión o recepción BEAM, en este paso se incrementa la señal a ruido al receptor. Esta técnica puede ser usada para mejorar de una tasa de datos particular e incrementar la eficiencia espectral del sistema. El incremento de la señal a ruido no es solo debido a una ganancia más grande en la dirección del usuario deseado, sino a un mejor control de la distribución de interferencia espacial en la celda. Beamforming puede ser aplicado tanto en el enlace de bajada (downlink), como en el enlace de subida (uplink).

Es posible hacer beamforming transparente al terminal, que eliminaría la necesidad de regularizar una solución particular. En cambio, los algoritmos exactos pueden evolucionar con el tiempo y pueden entallar a necesidades particulares.

Alternativamente, uno podría incluir soporte explícito para una solución específica de beamforming, sobre todo si eso aumentarían la eficacia del sistema y habilitarían aplicaciones de de con una baja complejidad.

También es posible combinar transmisión de la multi-capas y beamforming. Un ejemplo de esto podría ser, transmitir dos flujos de datos con dos grupos de antenas, donde la técnica de beamforming es desarrollados en cada grupo.

Beamforming es entonces usado para incrementar la señal a ruido del receptor, y la transmisión de la multi-capa se aplica para convertir el incremento de la señal a ruido en una alta tasa de datos.



Figura 19: Sistema beamforming y sistema

1.5 Servicios Adicionales de LTE

1.5.1 Evolución de los servicios de telefonía móvil.

Para analizar los servicios actuales de telefonía móvil es necesario considerar los siguientes factores, latencia, velocidad de transmisión y capacidad. En la siguiente figura se puede apreciar los cambios en latencia de las tecnologías que evolucionan de GSM.

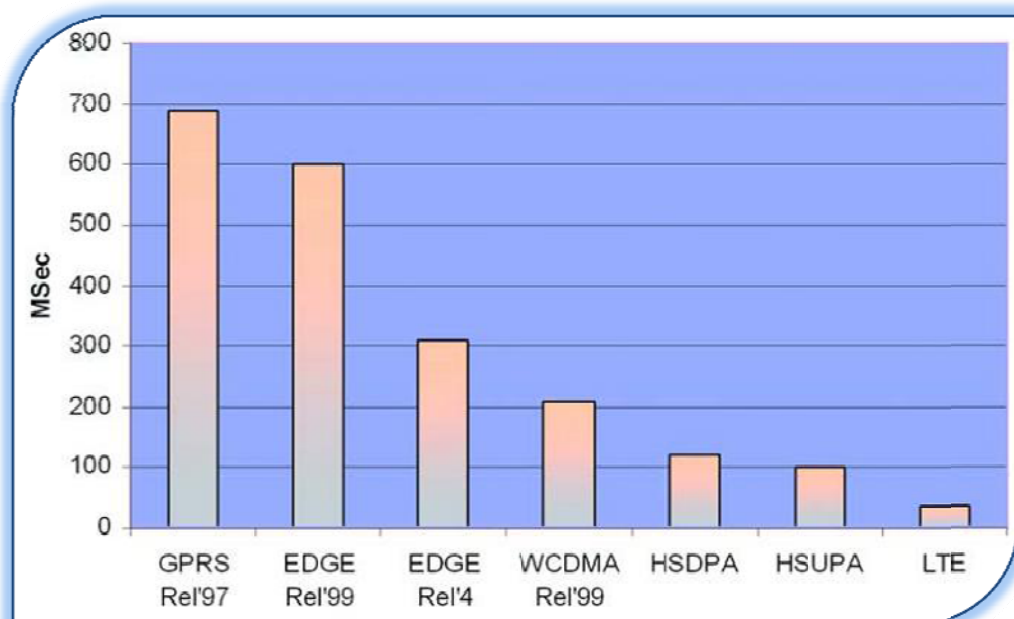


Figura 20: Latencia en la evolución de GSM

CAPITULO II

SISTEMA LONG TERM EVOLUTION

2.1 Especificaciones Técnicas de los Sistemas Móviles de 4ta Generación

2.1.1 Arquitectura

Las comunicaciones móviles de 4G están basadas en Open Wireless Architecture (OWA) para asegurar que el terminal pueda conectarse y acceder al sistema inalámbrico con transparencia y a gran velocidad automáticamente, cuando el usuario esté en la oficina, en el hogar, en el aeropuerto, o de compras siempre y cuando estén disponibles los accesos a la red inalámbrica (Wireless LAN, Broadband Wireless Access, Wireless Local Loop, Home RF, Wireless ATM, etc.).

Cuando los usuarios se mueven a otra zona (áreas remotas, playa, etc.), el mismo terminal puede automáticamente cambiarse a las redes móviles inalámbricas (GPRS, W-CDMA, cdma2000, TD-SCDMA, etc.). Esta convergencia de comunicaciones inalámbricas pueden proporcionar las siguientes ventajas:

- Gran incremento en la eficiencia del espectro.
- Asegurar principalmente una transferencia de datos más alta al terminal inalámbrico.
- Mejor compartimiento de los recursos de red y utilización del canal.

- Óptima administración en la calidad de servicios y aplicaciones multimedia.

La figura 19 muestra la evolución de las comunicaciones móviles a 4G basado en la plataforma OWA; en donde las redes 3G, redes inalámbricas de área local (WLAN), y otras tecnologías de acceso inalámbricas migrarían a la plataforma móvil 4G para entregar la mejor infraestructura de comunicaciones móviles con óptima eficiencia del espectro y administración del recurso.

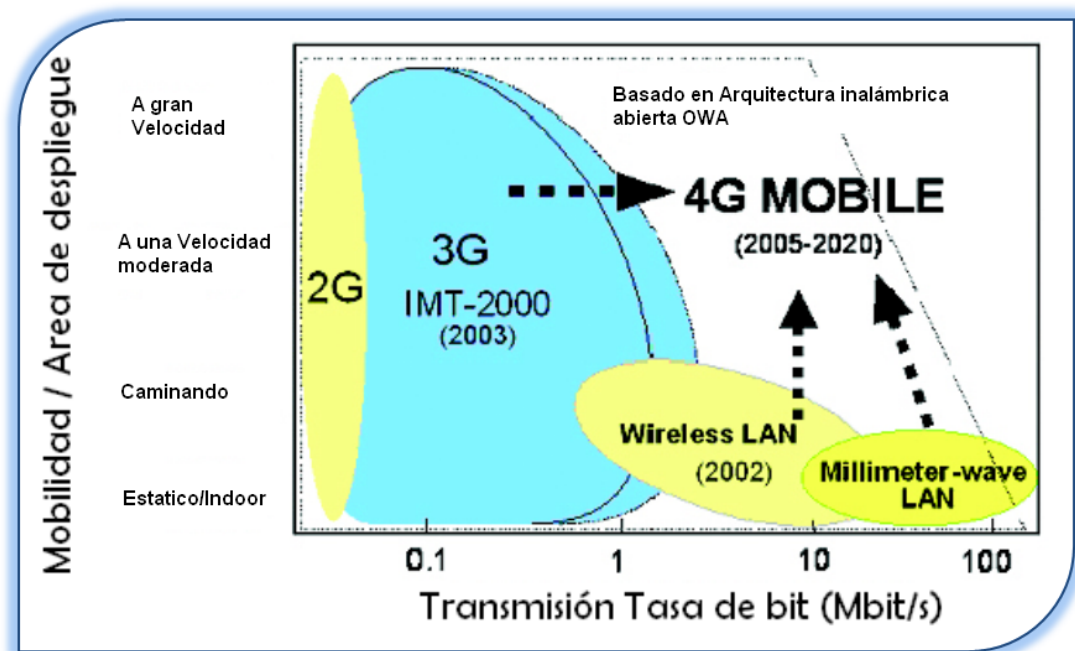


Figura 24: Evolución móvil inalámbrica a 4G basado en OWA

La arquitectura de una red de sistema LTE es conocida como Evolución de Arquitectura de Sistema SAE (System Architecture Evolution) la misma que es una evolución del núcleo de red GPRS con algunas diferencias:

- Arquitectura simplificada dirigida hacia una red todo IP.
- Optimiza la calidad de servicio de la red
- Un punto de anclaje común y un nodo de compuerta (GW) para todas las tecnologías de acceso
- Arquitectura de red simplificada
- Soporte para múltiples sistemas tales como GPRS y también sistemas distintos como WiMax.

- Movilidad entre diferentes redes de acceso de radio.
- Todos los servicios utilizan conmutación de paquetes.
- Menores latencias.
- Mayores velocidades
- Mejora el costo-eficiencia

El componente principal de una arquitectura SAE es el núcleo de paquetes envoltentes EPC (Evolved Packet Core) también conocida como el SAE Core o el núcleo del SAE. Además se tiene el Envolved Node B (BTS evolucionada) y las puertas de acceso o Access Gateway que actuará también como interfaz a internet, conectando directamente al Envolved Node B. La estaciones base son conectadas al núcleo de la red usando la interfaz S1. Esta arquitectura reduce el número de nodos envueltos en las conexiones.

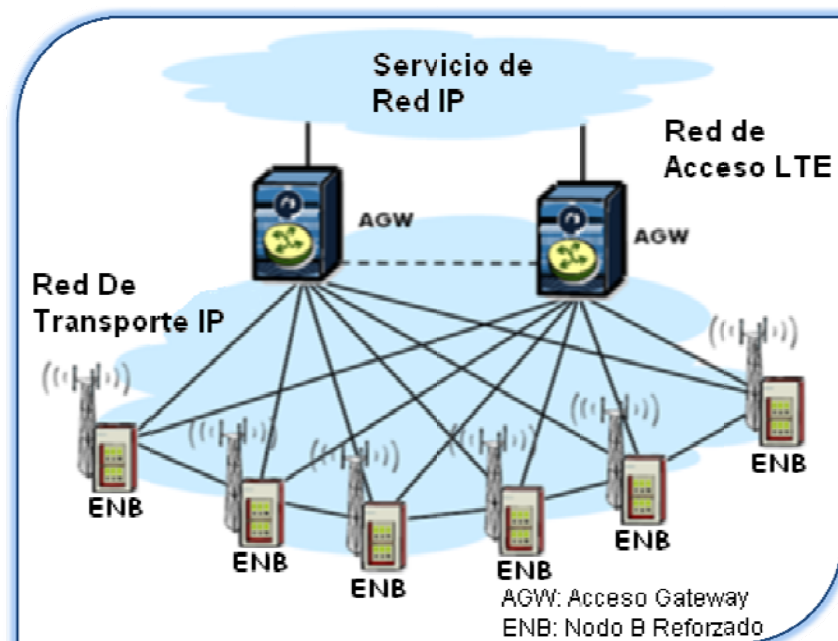


Figura 25: Arquitectura SAE

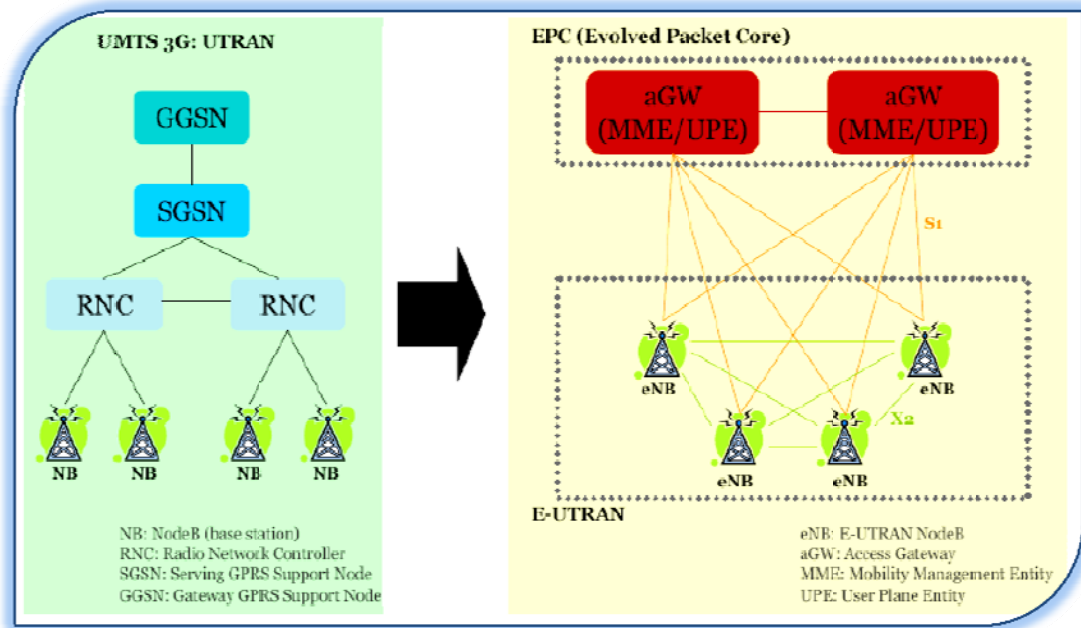


Figura 26: Arquitectura UMTS vs. eNB

Sistemas existentes como 3GPP (GSM y WCDMA/HSPA) y 3GPP2 (CDMA2000 1xRTT, EV-DO) son integrados al sistema evolucionado a través de interfaces regularizadas que proporcionan movilidad con LTE. Para los sistemas 3GPP significa una interface de la señalización entre la SGSN y el núcleo de la red, y para 3GPP2 una interface de la señalización entre CDMA RAN y el núcleo de la red. Cada integración soporta el simple y doble radio handover, permitiendo una flexible migración a LTE.

El control de señalización, por ejemplo para movilidad, es manejado por la entidad administradora de movilidad MME (Mobility Management Entity), separado desde el Gateway. Esto facilita optimizar el desarrollo de la red y habilitar la capacidad de escalamiento.

El Servidor Principal de Subscriptores HSS (Home Subscriber Server) conecta los paquetes al núcleo a través de una interfaz basada en diámetro, y no como el SS7 usado por las redes GSM y WCDMA. La señalización de la red es controlada y basada en la interfaz diámetro; esto significa que todas las interfaces en la arquitectura son interfaces IP.

Sistemas existentes como GSM y WCDMA/HSPA son integrados al sistema evolucionado a través de interfaces estandarizadas entre SGSN y el núcleo de la red.

Se espera que el esfuerzo por integrar el acceso CDMA lleve a la misma movilidad entre CDMA y LTE. Cada integración soportará radio handover permitiendo migración flexible de CDMA a LTE.

LTE–SAE ha adoptado un concepto de QoS basado en clases, esto proporciona una simple y solución efectiva a operadores para ofrecer diferenciación entre paquetes de servicios.

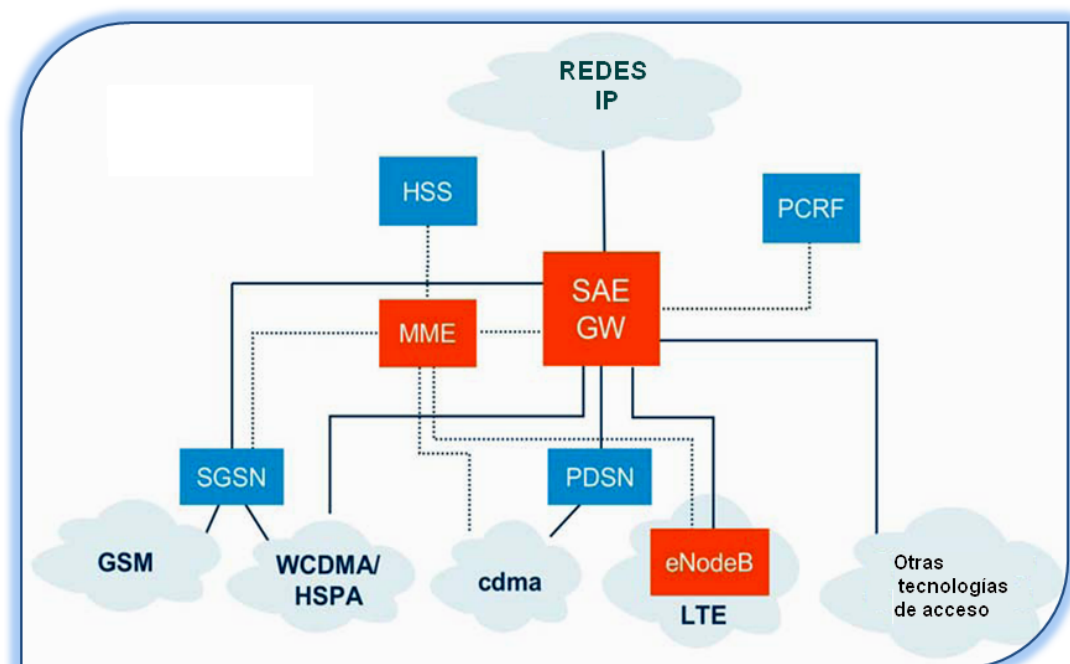


Figura 27: Arquitectura basada en IP

2.2 Aspectos de la Interface aérea de radio

2.2.1 Modo de acceso a radio

La interface de aire LTE soporta dos modos: FDD y TDD, cada cual tiene su propia estructura de trama. Adicional al modo de acceso podría definirse FDD half-duplex que permite compartir hardware entre el enlace de subida y bajada, pero estos nunca pueden usarse simultáneamente.



La interface de aire LTE soporta servicios de multimedia broadcast y multicast (MBMS), una tecnología nueva relativamente para broadcasting es TV digital usando conexiones punto-multipunto.

LTE especificará un servicio MBMS más evolucionado evolved MBMS (eMBMS) que operará sobre Multicast/Broadcast Single Frequency Network (MBSFN) usando una sincronización común de tiempo que puede ser transmitida desde múltiples celdas para una duración dada.

2.2.2 Transmisión en un ancho de banda

LTE debe apoyar el mercado inalámbrico internacional y respetar las regulaciones del espectro regionales y disponibilidad del espectro. Para este fin, las especificaciones incluyen canales de ancho de banda variables, es decir que se pueden seleccionar desde 1.4 a 20Mhz con espacio para una sub-portadora de 15KHz.

Si el nuevo eMBMS es usado, sería posible tener un espaciamiento entre sub-portadoras de 7.5Khz. El espaciamiento entre sub-portadoras es una constante sin tener en cuenta el canal de ancho de banda.

3GPP ha definido la interface aérea LTE para ser “el agnóstico del bandwidth,” que permite la interface aérea para adaptar a diferentes canales de ancho de banda con un impacto mínimo en el funcionamiento del sistema.

La cantidad más pequeña de recurso que puede asignarse en el uplink o el downlink se llama bloque del recurso (RB). El ancho de un RB es de 180Khz y un timeslot de 0.5ms.

Para el estándar LTE corresponde 12 sub-portadoras a un espaciamiento de 15Khz y para el eMBMS con la sub-portadora opcional de los 7.5Khz que espacian 24 sub-portadoras para 0.5 ms.



El máximo número de RBs soportado para cada transmisión con un ancho de banda se detalla en la siguiente tabla:

CONFIGURACION DEL ANCHO DE BANDA						
Ancho de Banda de Canal (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Transmisión nominal (RB)	6	15	25	50	75	100

Tabla 2: Configuración del ancho de banda

2.2.3 Ambientes de uso de radio

Cada escenario contenido en la figura 2 corresponde a uno de los 4 ambientes de radio:

- Ambiente Outdoor: Escenario 1
- Ambiente Indoor a gran y pequeña escala: Escenario 2 y 3
- Ambiente con un celular en movimiento: Escenario 4
- Ambiente de comunicaciones Ad Hoc: Escenario 5

Los requerimientos para cada uno de los 4 ambientes de radio, son descritos a continuación:

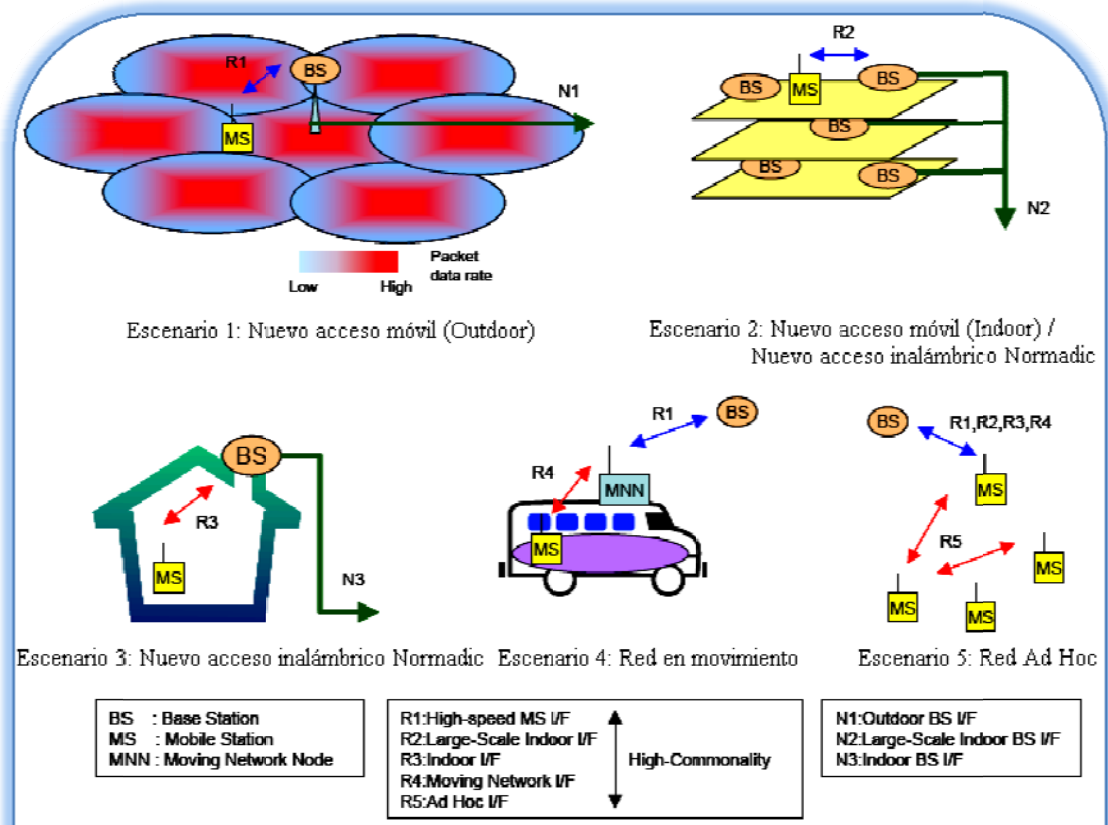


Figura 28: Ejemplos de escenarios para accesos de radio

2.2.3.1 Ambientes Outdoor (Áreas urbanas y suburbanas)

La máxima velocidad en movimiento que soporta el sistema está aproximadamente alrededor de los 300Km/hrs que usualmente se da en los trenes de alta velocidad subterráneos, etc.

Se desea lograr también, que el radio de la celda del sistema sea aproximadamente de 500 metros in áreas urbanas y algunos kilómetros en áreas suburbanas.

Es dificultoso especificar el retardo del ensanchamiento, ya que depende de varios factores como la distancia entre la estación base y el terminal móvil, la altura de las antenas, la cercanía de los edificios y el terreno; para citar un ejemplo, se informó que el rango entre 0.5 a 2us fue medido para áreas urbanas, y en áreas suburbanas 4us.



Para el sistema de transmisión de radio en sistemas móviles 4G se requiere por tanto, operar por debajo de estas condiciones de retardo ensanchado.

En ambientes en movimiento la máxima transmisión de velocidad, sería al menos de 20Mbps para uplink y 100Mbps para downlink.

En celdas aisladas o ambientes estacionarios, se desea entregar velocidades de uplink entre 100 a 200 Mbps y velocidades para downlink de 1Gbps.

2.2.3.2 Ambientes Indoor (Casas, oficinas, centros comerciales subterráneos)

En ambiente de interiores, los equipos de la estación base son instalados internamente y los terminales móviles se comunican con estas estaciones base.

La velocidad de un usuario en movimiento es considerado para ser velocidad de peatón en estos ambientes, así, el sistema necesita apoyar el uso en modo estacionario o casi estacionario.

Los radios de las celdas tienen un alcance para casas de 30 metros, para oficinas 50 metros, y para centros comerciales subterráneos, aproximadamente 100 metros.

La transmisión de velocidad es aproximadamente 1Gbps para downlink, y para uplink de 100 a 200Mbps deseando tanto en celdas aisladas y en modo estacionario. En las multi-celdas, aunque el promedio de transmisión de velocidad probablemente quiera reducir comparado a las celdas aisladas debido a la interferencia de celdas adyacentes, se desea lograr una máxima velocidad de transmisión comparada a la de las celdas aisladas.

2.2.3.3 Ambientes de celdas en movimiento (Trenes, buses, etc.)

Este tipo de celdas son creadas en espacios que se den movimientos (dentro de trenes, buses, etc.) y se exigía proporcionar servicios de radio comunicaciones a los usuarios en tal espacio.



Estas celdas pueden proporcionar a los usuarios dentro del espacio de movimiento, conectarse con redes de línea-fija vía la celda en movimiento y proporcionar un ambiente de radio comunicaciones confinado al espacio en movimiento.

Cuando las celdas outdoor son usadas para la conexión entre redes de línea-fija y celdas en movimiento, es deseable mantener el ambiente de comunicaciones en buenas condiciones, para priorizar el entorno de los usuarios en celdas en movimiento sobre otros usuarios directamente conectados a las celdas outdoors, a través del uso de un arreglo de antenas adaptables.

2.2.3.4 Ambientes de comunicaciones Ad Hoc

Para el propósito de expandir la cobertura para eliminar señales muertas, y cubrir el área con una baja potencia de transmisión, esto se desea para soportar comunicaciones ad hoc usando terminales móviles. Las comunicaciones Ad Hoc incluyen comunicaciones entre terminales (un salto o más) sin establecer una conexión directa a la estación base BS (base station), sino utilizando conexiones móviles con otros terminales móviles y así poder llegar a conectarse con la BS.

Por el momento la velocidad de viaje de los usuarios, es deseado para soportar el modo estacionario y casi estacionario comparable a la velocidad del peatón.

En términos de la distancia entre terminales, es deseable para soportar un rango entre 10 a 100 metros por un salto, y el número de saltos se asume entre 1 a 10. Esto también se desea para lograr una distancia máxima de comunicación de varios kilómetros.

Cuando existen desastres naturales, si la BS está operando se suspende para realizar una comunicación Ad Hoc encima de un alcance extenso habilitando transmisión larga distancia a bajas velocidades.



2.3 Rangos de Frecuencia para la Utilización de LTE

2.3.1 Requerimientos de Espectro

El requerimiento de ancho de banda total para 2G, 3G y 4G en comunicaciones móviles, se espera que alcance 1.06 a 1.38GHz en el 2013 y 1.7 a 2.5GHz en el 2015.

Estas estimaciones influyen en las mejoras de la utilización del espectro desde el desarrollo del arreglo de antenas adaptativas, MIMO, paquetes scheduling y las técnicas de modulación.

2.3.2 Bandas de Frecuencia

Las especificaciones LTE heredan todas las bandas de frecuencia definidas por UMTS que es una lista que continúa creciendo. Existen ahora 13 bandas FDD y 8 bandas TDD.

No hay ningún acuerdo general en que LTE se desplegará primero desde que la respuesta es muy dependiente de variables locales. Esta falta de acuerdo general es una complicación significativa para los fabricantes de equipos y contrasta con el inicio de GSM y WCDMA, ambas fueron especificadas para una sola banda.

Lo que se establece ahora firmemente es que ya no se puede asumir que cualquier banda particular sea reservada para cualquier acceso de tecnología.

Para afianzar el ancho del radio de la celda en ambientes outdoor y para reducir la potencia de transmisión de los terminales y las base stations, es necesario asignar una banda de frecuencia relativamente baja con pequeñas pérdidas de propagación para sistemas móviles 4G. La banda de frecuencia que están por debajo de los 6GHz ya están bastante usadas, pero las bandas de frecuencia de los sistemas móviles 3G (800MHz, 1.7MHz, 2GHz, 2.6GHz) serán asignados a los sistemas móviles de 4G también después de reorganizar las bandas asignadas por los sistemas de comunicaciones de radio existentes.

En Japón ésto ya fue decido para suspender el uso de las bandas de 3.6 – 4.2GHz y 4.5 – 4.9GHz y posibilitar el uso de estas bandas para servicios móviles y que empiecen ya en este año. Consecuentemente, estas bandas de frecuencia son considerados como candidatos posibles para ser usados en sistemas móviles 4G.

BANDAS DE FRECUENCIA SOPORTADAS EN LTE				
BANDA E-UTRA	Uplink (UL) UE transmite eNB recibe	Downlink (DL) eNB transmite UE recibe	Separación Banda UL - DL	MODO DUPLEX
	F(UL low) - F(UL high)	F(DL low) - F(DL high)	F(DL low) - F(UL high)	
1	1920 - 1980 MHz	2110 - 2170 MHz	130 MHz	FDD
2	1850 - 1910 MHz	1930 - 1990 MHz	20 MHz	FDD
3	1710 - 1785 MHz	1805 - 1880 MHz	20 MHz	FDD
4	1710 - 1755 MHz	2110 - 2155 MHz	355 MHz	FDD
5	824 - 849 MHz	869 - 894 MHz	20 MHz	FDD
6	830 - 840 MHz	875 - 885 MHz	35 MHz	FDD
7	2500 - 2570 MHz	2620 - 2690 MHz	50 MHz	FDD
8	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz	10 MHz	FDD
9	1749,9 - 1784,9 MHz	1844,9 - 1879,9 MHz	60 MHz	FDD
10	1710 - 1770 MHz	2110 - 2170 MHz	340 MHz	FDD
11	1427,9 - 1452,9 MHz	1475,9 - 1500,9MHz	23 MHz	FDD
...				
13	777 - 787 MHz	746 - 756 MHz	21 MHz	FDD
14	788 - 798 MHz	758 - 768 MHz	20 MHz	FDD
...				
33	1900 - 1920 MHz	1900 - 1920 MHz	N/A	TDD
34	2010 - 2025 MHz	2010 - 2025 MHz	N/A	TDD
35	1850 - 1910 MHz	1850 - 1910 MHz	N/A	TDD
36	1930 - 1990 MHz	1930 - 1990 MHz	N/A	TDD
37	1910 - 1930 MHz	1910 - 1930 MHz	N/A	TDD
38	2570 - 2620 MHz	2570 - 2620 MHz	N/A	TDD
39	1880 - 1920 MHz	1880 - 1920 MHz	N/A	TDD
40	2300 - 2400 MHz	2300 - 2400 MHz	N/A	TDD

Tabla 3: Bandas de Frecuencias soportadas en LTE

2.3.3 Mejoramiento de la eficiencia espectral

El aumento del número de usuario trae consigo el aumento de tráfico. En principio el problema se puede resolver colocando más portadoras en las BS. Sin embargo, llega un momento en que esto no es posible porque la cantidad de espectro destinado a comunicaciones móviles es limitado. La forma de mejorar la capacidad del sistema es colocar más BS y que transmitan con una potencia más baja de forma que puedan re-utilizarse las frecuencias a distancias menores. Pero este proceso es muy caro pues exige nuevas ubicaciones, equipos, licencias, arrendamientos, etc. por lo tanto para evolucionar este aspecto se trabaja en sistemas que manejen un mayor número de usuarios por MHz, es decir que mejore la eficiencia espectral.

La eficiencia espectral se calcula como el cociente entre la tasa de bits o la velocidad de información ($R = B \text{ tis/s}$) y el ancho de banda necesario para su envío, B (Hz): $\eta = R/B$ (Bps/Hz).

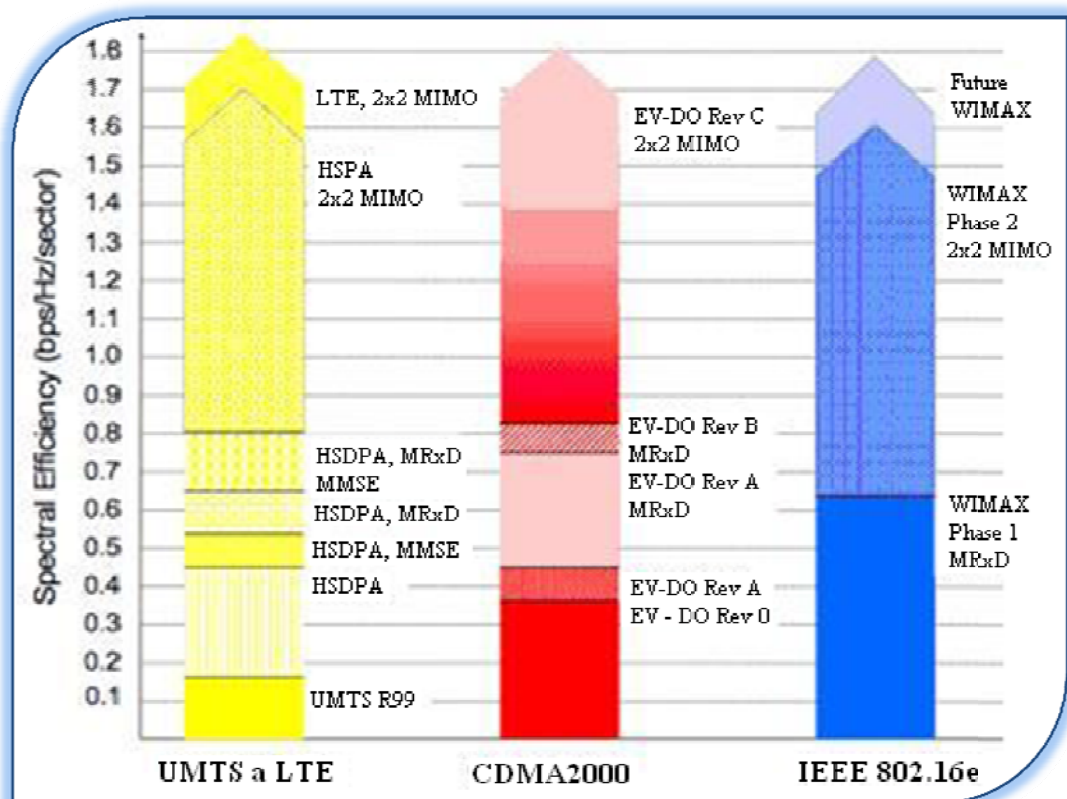


Figura 29: Tecnologías inalámbricas en lucha por mejorar la eficiencia espectral

En la figura 24 se puede apreciar que las tres tecnologías proyectadas a futuro tendrán una eficiencia espectral casi igual, cercana a 2 bps/Hz, esto dependiente de la velocidad de transmisión de cada una y el ancho de banda con que se trabaje. En comparación con la eficiencia en que trabajan los actuales sistemas se puede apreciar un significativo aumento de este indicador, con lo cual se prevé que estos sistemas permitirán ajustar el espectro para poder aplicar sus servicios.

2.3.4 Análisis Espectral

Para una banda ancha móvil, los operadores necesitarán contar con tres veces más espectro del que tienen hoy día.

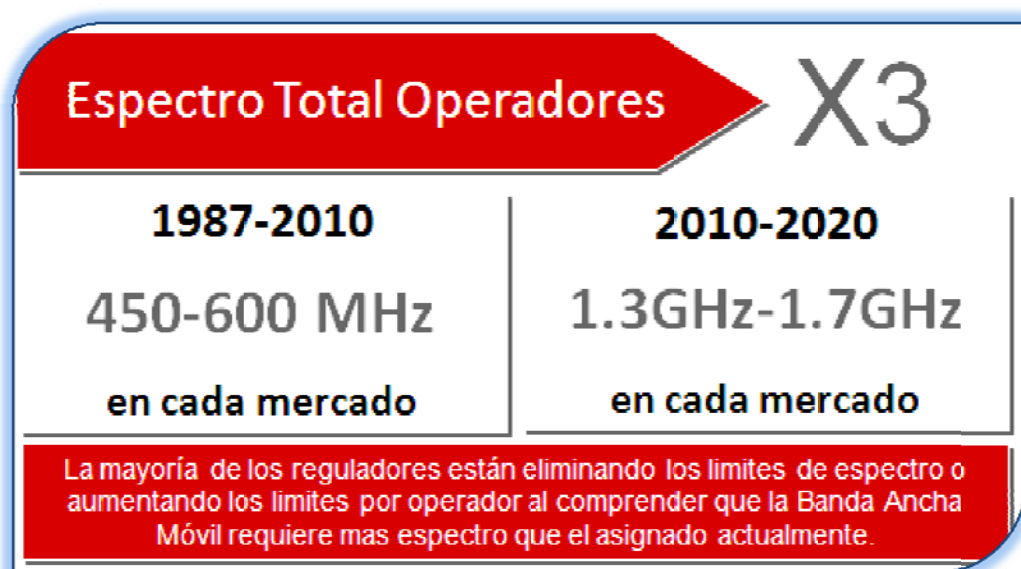


Figura 30: Requerimiento del espectro para el futuro

Según el reporte **ITU-R M.2078** para el año 2020 los servicios móviles (IMT-2000) necesitaran:

- 1.280 MHz para mercados de baja demanda (áreas rurales)
- 1.720 MHz para mercados de alta demanda (áreas urbanas)

Para los países americanos, CITEI dice que se necesitaran 721MHz adicionales en áreas de baja demanda y 1161MHz en áreas de alta demanda para 2020 (CCPII/Rec 70 - XXII-02).

Bandas de Frecuencia a concursar	Espectro disponible para servicios móviles	Promedio de espectro por operador, MHz	
		4 Operadores	3 Operadores
1710 - 2170 MHz (AWS-1)	90 MHz	22,5	30
2500 - 2690 MHz (3G extensión)	190 MHz de los cuales típicamente FDD 140y TDD 50	47,5	63,3
700MHz (Dividendo digital)	108 MHz	27	36
Total Nuevas Bandas	362 MHz	97	129,3

Tabla 4: Atribuciones potenciales de espectro a futuro en Latinoamérica

2.3.4.1 El Dividendo Digital: una oportunidad histórica para desarrollar la Banda Ancha

La **banda UHF (700MHz)** presenta muy buenas características de propagación, lo que permitirá dar una mejor cobertura de banda ancha en áreas rurales y de baja densidad poblacional, contribuyendo a la reducción de la brecha digital.

La UIT adoptó la **banda 698-862Mhz** como **IMT-2000** para la Región 2 (América) y nueve países de la Región 3 (incluyendo China, India, Corea y Japón) que suman más del 60% de la población mundial, lo que va a asegurar economías de escala y bajo costo de los equipos.

La CITEI en su recomendación CITEI PCI II Rec.18 ya asignaba este espectro para servicios inalámbricos avanzados (AWS). Una proposición reciente de **Canadá en CITEI** y las asignaciones de EE.UU. hechas en 2008 consideraron dos sub-bandas: alta (60-69) y baja (52-60).

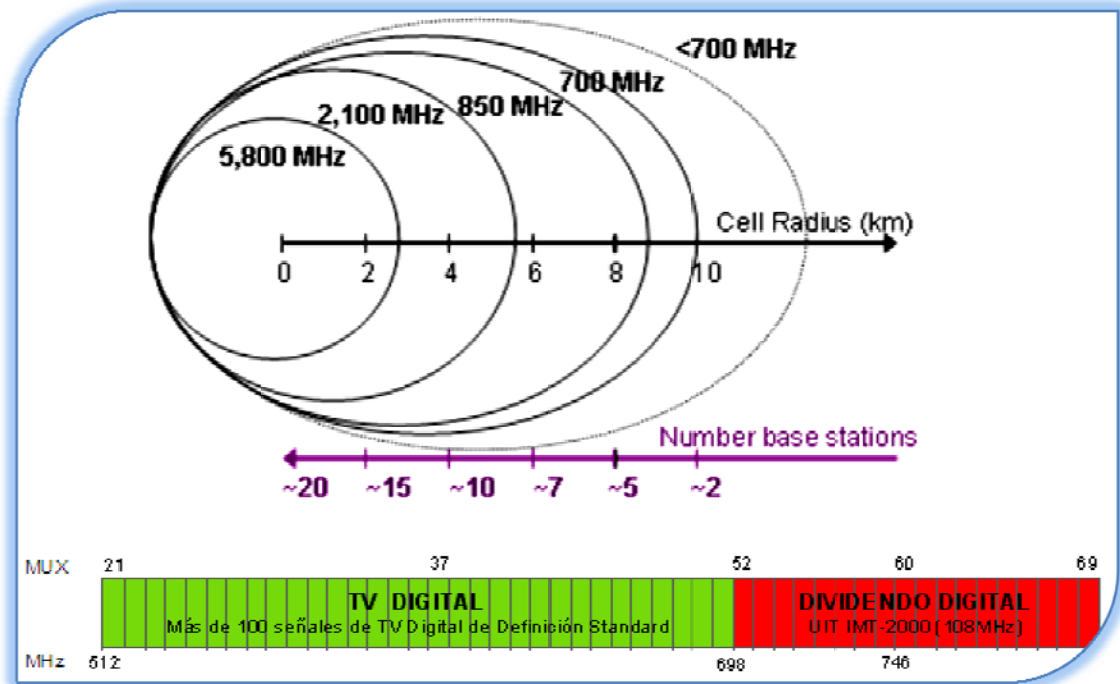


Figura 31: Dividendo Digital para banda ancha en telefonía móvil

2.3.4.2 ¿Cómo serán las diferentes coberturas de banda ancha con y sin el Dividendo Digital? Ejemplo: Alemania

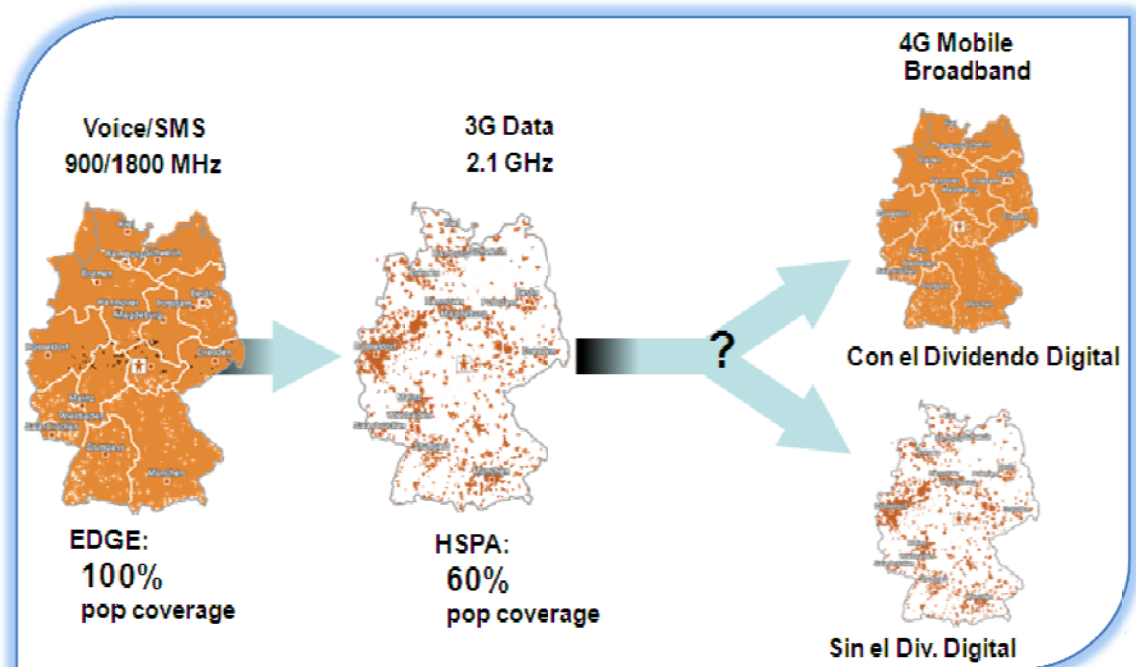


Figura 32: Ejemplo del Dividendo Digital en Alemania

Las bandas de frecuencia más bajas ofrecen una mejor cobertura y mayor penetración en edificios, lo cual constituye un requerimiento por parte de muchos operadores móviles. En América del Norte, el espectro de 700 MHz licitado este año forma parte del “dividendo digital” global; un espectro en las bandas de 470-862 MHz que ha sido liberado por el traspaso de televisión analógica a digital. El dividendo digital es considerado por los operadores móviles de los EEUU, Europa y muchos otros países del mundo un recurso valioso a medida que las redes de banda ancha móvil nuevas y existentes consumen rápidamente las asignaciones de espectro actuales y los operadores se ven obligados a proveer conexiones en áreas rurales.

En Europa, el espectro de dividendo digital abarca las actuales bandas de transmisión de televisión de 790-862MHz. Se espera que se licite antes del 2012, período que coincidiría con la etapa en que los operadores móviles prevén la implementación de LTE.

La arquitectura LTE eNode-B flexible de Motorola puede ser personalizada para satisfacer las necesidades específicas de cada cliente mediante la utilización de radios basadas en tramas y cabeceras de radio remotas. Este diseño permite que se soporten muchas bandas de espectro en la etapa inicial de LTE con una inversión en desarrollo limitada y presenta una gran variedad de escenarios de implementación LTE a través de espectros nuevos y de las bandas GSM, UMTS y CDMA existentes. Por ejemplo, la cabecera de radio de 700 MHz puede ser modificada para su funcionamiento en 790-862 MHz para ofrecer a los operadores una solución que permita la implementación de LTE en el espectro de “dividendo digital” tan pronto como se encuentre disponible en las distintas regiones.

2.3.5. WIMAX vs LTE

La siguiente generación tecnológica principalmente apunta al uso de LTE, sin embargo también se proyecta mucho el uso de WiMax, por lo que se ha visto conveniente verificar la batalla que se está empezando a dar desde el año 2008 entre WiMax y LTE.



Estas dos tecnologías inalámbricas que ofrecen gran velocidad; de hecho, cualquiera de las dos cuadruplica la velocidad de acceso de los usuarios. Vale la pena mencionar que muchos opinan que la diferencia es más política que tecnológica, mientras que otros hablan de costes. Por otra parte se ha verificado que la velocidad que ofrecen WiMax y LTE son similares, así que la diferencia primordial se concentra más en la cantidad de espectro que cada uno de necesita para desplegar esa velocidad.

LTE y WiMAX 802.16e-2005, tratan de alcanzar una misma meta: compatibilizar los objetivos de alta tasa binaria y latencia reducida con una complejidad y coste de los terminales razonables y respaldos con una experiencia satisfactoria del usuario.

Hay que tomar en cuenta que ambas trabajan o están basadas en arquitecturas IP y que WiMax 802.16e puede entregar 3.5bits/Hz al día, es decir 35Mbps por sector para un canal de 10MHz, con la migración a 802.16m tienen una similar capacidad de calidad de servicio con LTE con el objetivo de aprovechar la máxima eficiencia espectral definida por la ley de Shannon (aproximadamente 6 bits/Hz), además de que estos últimos avanzarían arriba de los 100Mbps por sector para un canal de 20MHz

	WiMAX 802.16e	WiMAX 802.16m	LTE
Network Equipment Availability	2007	2010	2009
Handset Availability	2008	2011	2010
Standard Body	IEEE & WiMAX Forum	IEEE & WiMAX Forum	3GPP
Spectrum band Plan	TDD	TDD, FDD	FDD
Frequency	2300, 2500, 3300 3500, 3700	Under 6 GHz TBD	700, 850, 900, 1800 1900, 2100, 2500
Channel Bandwidth	3.5, 5, 7, 8.75, 10 MHz	Scalable bandwidth 5 – 20 MHz TBD	1.4, 1.6, 3.5, 5, 10, 15, 20 MHz
Channel Throughput	~3.5 Mbps / Hz downlink 35 Mbps, 1 Sector, 10 MHz channel	~5.0 Mbps / Hz downlink 50 Mbps, 1 Sector, 10 MHz channel	~5.0 Mbps / Hz downlink 50 Mbps, 1 Sector, 10 MHz channel
Spectrum Type	Licensed		
Radio Technology DL	Scalable OFDMA		
Radio Technology UL	Scalable OFDMA		
Antennas	MIMO & Advanced Antenna Techniques		
Core Technology	Flat, All IP		
Application Layer	IMS		
IPR	More distributed than existing 3GPP & 3GPP2 networks		
Application	VoIP, Data, Video		
Terminal Variety	Fixed CPE, Mobile handsets, Data Cards, Consumer Electronics		
User Plane Latency	<20 ms	<5 ms	<5 ms
Control Plane Latency	<100 ms	<100 ms	<100 ms

Figura 33: Similitudes y Diferencias entre WiMAX y LTE

LTE puede tener acceso a 985 MHz del espectro mientras WiMAX 802.16e-2005 hoy tiene el acceso a 848 MHz del espectro.

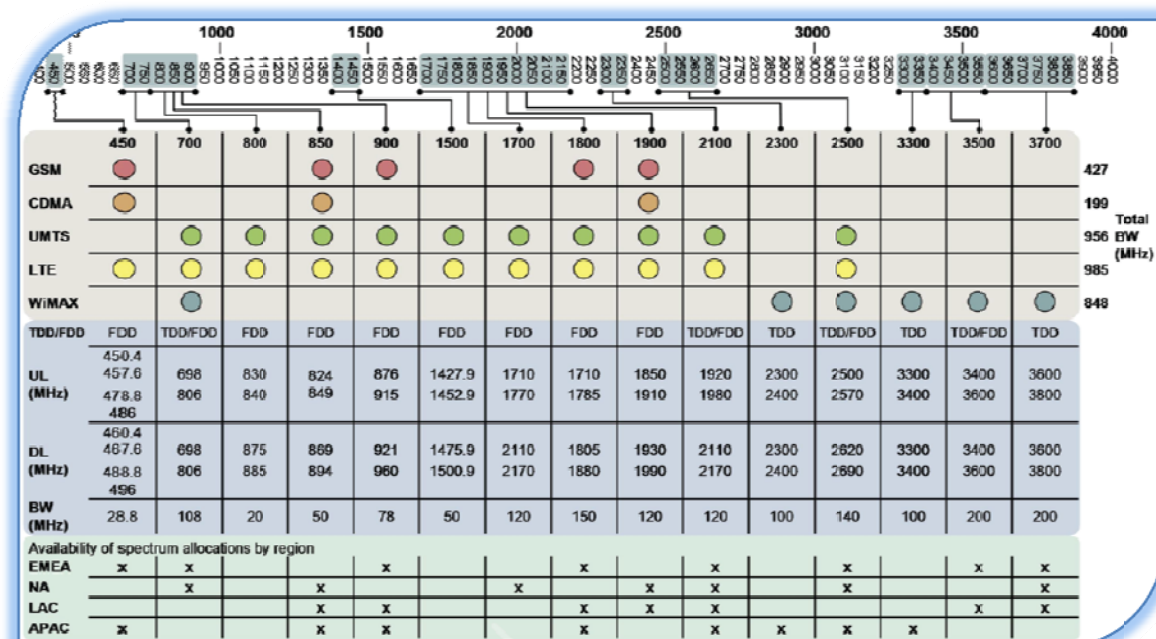


Figura 34: Asignaciones Globales de Espectros



WiMAX 802.16e-2005 tiene alrededor de dos años de ventaja por encima de LTE si se tomara en cuenta el tiempo en que se viene desarrollando los estándares, lo que para muchos significaría a simple vista que WiMAX podría mejorar las inversiones debido a que en teoría está más desarrollado que LTE, sin embargo LTE tiene el respaldo de los fabricantes de GSM/UMTS que pueden aprovechar las ventajas de la economía a escala, logrando reducir los costos de los terminales móviles.

Resumiendo se ha visto que ambas tecnologías inalámbricas apuntan a lo mismo, sin embargo la principal diferencia se encuentra en que WiMAX fue diseñada en un principio como una tecnología inalámbrica **WAN fija**, similar a las redes Wi-Fi, pero posteriormente se realizaron modificaciones y mejoras a los estándares de tal forma que permita movilidad entre redes WiMax, por el lado de LTE se tiene que esta fue creada precisamente para acceso móvil, además de que es descendiente de tecnologías como la GSM/UMTS. Entonces la condición de movilidad de LTE es más satisfactoria que la de WiMAX además de que está el hecho de que casi todas las operadoras a nivel mundial trabajan con GSM (Global System for Mobile communications) y utilizarán LTE como la actualización más lógica. En Estados Unidos tanto AT&T como Verizon, las dos operadoras más grandes, ya tienen sus ojos puestos en LTE.

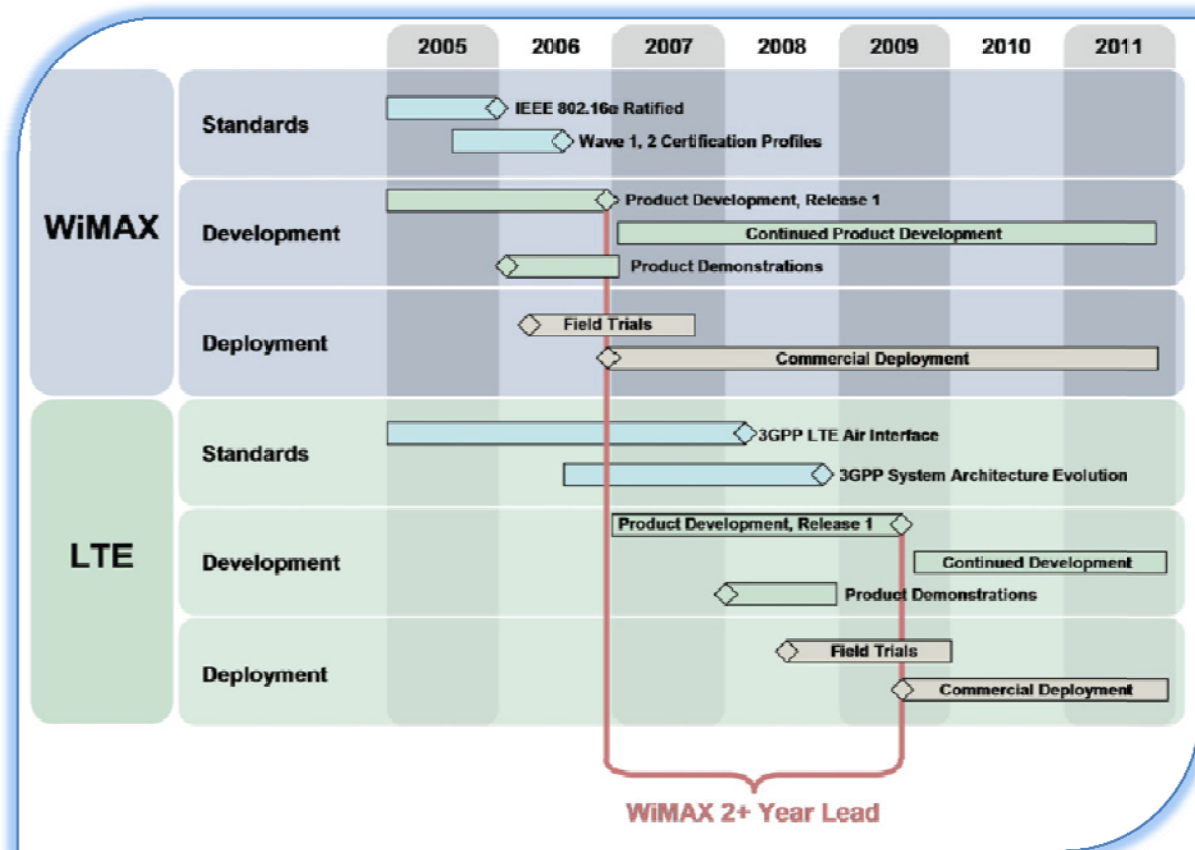


Figura 35: Mapa Comparativo de Evolución entre WiMAX y LTE

2.4 Velocidades por alcanzar

La adopción de tecnologías IP en distintos sectores de la economía, los medios de difusión y los sistemas de información fortalecen la convergencia de estos servicios. Se espera que en el futuro, las actuales fronteras entre las distintas infraestructuras de servicios vayan desapareciendo. Como en el caso de las redes de telecomunicaciones, donde la convergencia fijo-móvil se empieza a constatar, siendo IMS el catalizador para dicha integración. En pocos años, la distinción entre operadores móviles y fijos será confusa o habrá desaparecido. Lo primero de todo es que, y contrariamente a 3G, no hay estándares concretos que especifiquen qué son los servicios 4G, la red o la tecnología que está detrás de este concepto. Aunque los analistas creen que no tardarán en llegar, lo cierto es que al día de hoy 4G aún sigue siendo más un concepto de marketing que una realidad. Por el momento la 4G es una colección de tecnologías y protocolos, no sólo un único estándar, para permitir el



máximo de rendimiento de procesamiento de la red inalámbrica más adecuada en cada momento.

Debido a que la 3G tiene relativamente poco tiempo en el mercado, es muy probable que no veamos la 4G hasta que haya sido costeable el dinero invertido en la 3G y 3.5G. Uno de los objetivos principales de esta tecnología es poder transmitir entre 20 Mbps y 1Gbps (1000 Mbps). La creciente implantación de redes de acceso para comunicaciones móviles, tiene como principal objetivo, aumentar la capacidad de conectividad de los usuarios.

Una de las particularidades de que se esperan para 4G es la capacidad que tenga el usuario de elegir el mejor acceso en cualquier momento. Esta facultad de estar siempre conectado de la mejor manera posible dependerá de las innovaciones tecnológicas en el terminal, los servicios, los sistemas de acceso y lo más esencial, la integración de estos. ¿Con que servicios en la actualidad se aprovechan las capacidades de banda ancha inalámbricas? Desde el principio del celular las llamadas de voz han sido el servicio más ocupado por los clientes y ahora se encuentran entre otros: SMS, la conexión a internet, mensajería multimedia, video llamada, Mobile Tv, radio, GPS, etc. Pero la tecnología que está detrás del servicio que ocupa el cliente ha tenido un rápido crecimiento, ya que se han alcanzado velocidades de conexión muy superiores a las de hace unos pocos años, como son los 14Mbps del HSDPA.

Para poder entender las características de las redes actuales y la esperada mejora hacia 4G, se comparan las tecnologías en las principales aplicaciones y mejoras tanto para el usuario como para el operador.

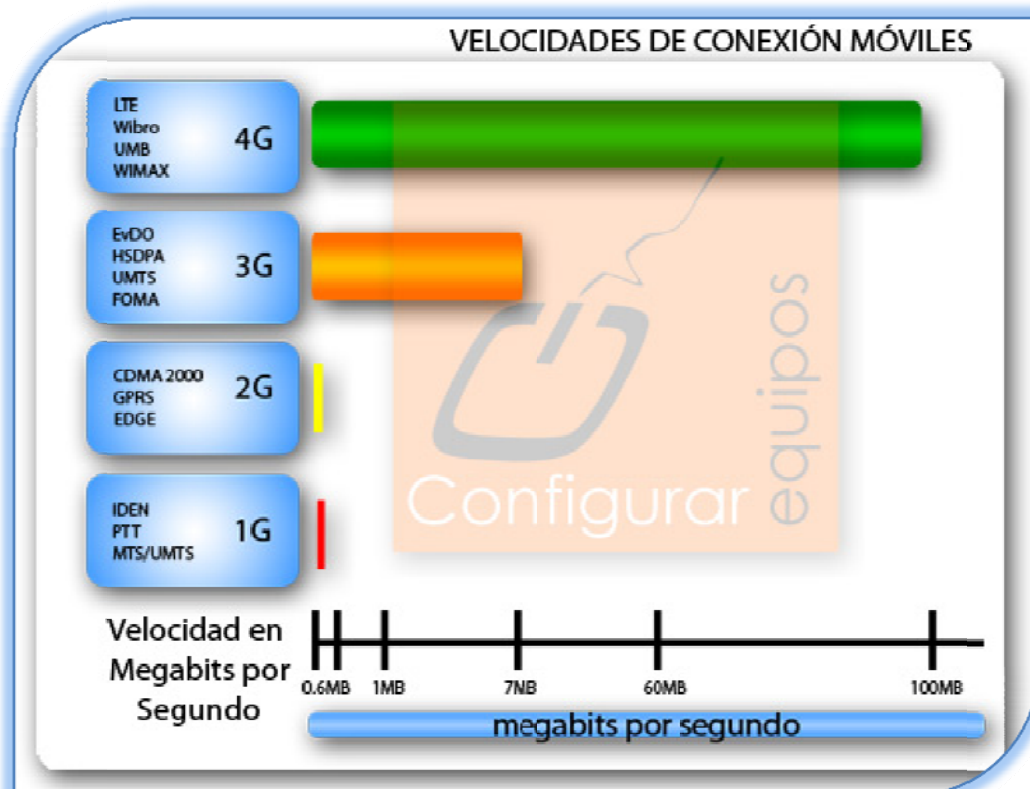


Figura 36: Comparación del aumento de velocidad en las distintas generaciones

Una mayor velocidad de transmisión de datos será el principal atractivo de la próxima generación de telefonía.

La 4ta generación reemplazará todas las tecnologías celulares del mundo, donde la primera prueba "real" se ha llevado a cabo en Alemania con excelentes resultados, debido a que se han logrado descargar archivos a velocidades de hasta 170Mbps en un vehículo en constante movimiento, así como han podido subir archivos a 50Mbps.

Entre otras de las pruebas que se han venido dando se puede destacar que Samsung y Huawei prueban la interoperabilidad de los terminales con las redes LTE

Estos dos gigantes de las comunicaciones que luchan por liderar sus respectivas parcelas de mercado, se han unido para realizar el primer test de interoperabilidad entre infraestructuras LTE (Long Term Evolution) y los terminales que soportarán esta tecnología.

En la mencionada prueba se utilizarán MODEMS LTE para la transmisión de datos en movilidad fabricados por Samsung sobre una red de pruebas de la misma tecnología de Huawei en Europa. En principio, LTE alcanzará velocidades de transmisión de más de 100 Mbps; pero ya están sentadas las bases para llegar a superar los 300 Mbps

Este test conecta la tecnología de telecomunicaciones más vanguardista con la demanda de capacidad para ofrecer servicios de calidad en cualquier momento y lugar. De las 1272 patentes de LTE existentes otorgadas por European Telecommunications Standard Institute en agosto de 2009, 147 son de Huawei lo que representa el 12% de las patentes concedidas.



Figura 37: Comparación del aumento de velocidad en las distintas generaciones



Figura 38: Comparación del aumento de velocidad en las distintas generaciones

2.4.1 Requerimientos de desempeño LTE

Velocidad:

- Pico instantáneo de descarga de 100Mbit/s con un ancho de banda de 20MHz
- Pico instantáneo de subida de 50Mbit/s con un ancho de banda de 20MHz

Rango de celda:

- 5 km –tamaño óptimo
- 30km con desempeño razonable
- hasta 100 km con desempeño aceptable

Capacidad de celda:

- Hasta 200 usuarios activos por celda (5MHz)

Movilidad

- Optimizada para baja movilidad(0-15km/h) pero soporte altas velocidades

Latencia

- Plano de usuario < 5ms
- Plano de control < 50 ms
- Eficiencia de espectro mejorada
- Migración efectiva en costo



- Broadcasting mejorado
- IP-optimizado
- Ancho de banda escalable de 20MHz, 15MHz, 10MHz, 5MHz y <5MHz
- Co-existencia con estándares legados (los usuarios pueden transparentemente iniciar una llamada o transferir datos en una área usando LTE, y, cuando no hay cobertura, continuar la operación sin ninguna acción de su parte usando GSM/GPRS o WCDMA-basado en UMTS).

CAPITULO III

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE LTE

3.1 Características y Configuraciones del Sistema LTE

3.1.1 Análisis General de las Técnicas de Antenas Múltiples (MIMO)

Las centrales LTE manejan el concepto de antenas múltiples, lo mismo que les permite aumentar la robustez del sistema así como mejorar las capacidades del sistema al tomar ventaja en la diversidad de canal de radio.

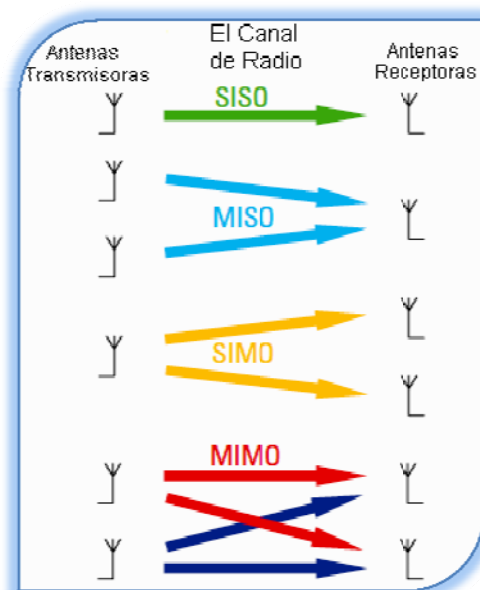


Figura 39: Modos de Acceso al Canal de Radio

- **Una Entrada, Una Salida:** Sistema SISO, donde para cada receptor existe un transmisor.
- **Múltiples Entradas, Una Salida:** Sistema MISO, donde para diferentes transmisores existe una antena receptora, la cual puede identificar a cada transmisor. Con esto se puede conseguir que la señal transmitida sea más robusta y permita que se disminuya la relación señal a ruido, y aunque no se consiga aumentar la velocidad de transmisión se puede conseguir transmitir una misma cantidad de información pero con menor potencia.
- **Una Entrada, Múltiples Salidas:** Sistema SIMO, sucede lo contrario que en el sistema MISO, pues ahora se tiene que para cada transmisor hay varios receptores. Aquí la tasa de transmisión no cambia pero la señal en los bordes de las celdas se mejoran al disminuir la relación S/R.
- **Múltiples Entradas, Múltiples Salidas:** Sistema MIMO, como ya se supone se requieren 2 o más transmisores y 2 o más receptores. Un sistema es MIMO si el número de paquetes transmitidos es igual al de los recibidos, además de que múltiples flujos de datos son transmitidos simultáneamente en la misma frecuencia y tiempo. Hay que tomar en cuenta que $\text{SIMO} + \text{MISO} \neq \text{MIMO}$.

El esquema básico de un sistema MIMO cuenta con N antenas transmisoras y M antenas Receptoras, donde trabajan de forma coordinada para optimizar el rendimiento del canal de transmisión al mejorar la tasa de bit con que se da la transmisión de datos y la propagación multicamino que estos toman.

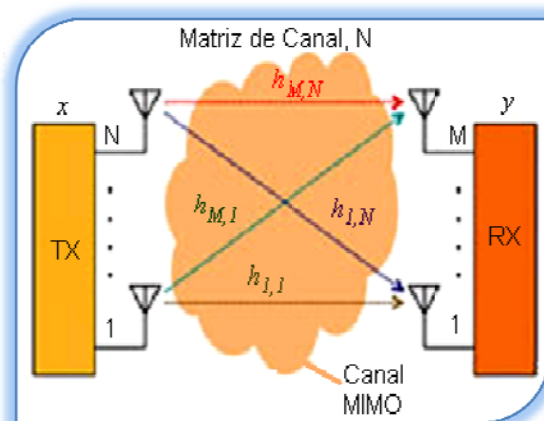


Figura 40: Esquema Básico Sistema MIMO

MIMO crea múltiples flujos o enlaces de datos de forma paralela entre las antenas transmisoras y receptoras. Además en los Sistemas MIMO, es muy importante que las transmisiones que se den por parte de cada antena sean identificadas para poder determinar las combinaciones que se den en esas transmisiones en los receptores.

Esta identificación normalmente se hace con señales piloto que usan los modelos ortogonales para cada antena y se pueden lograr gracias a técnicas de codificación empleadas en la propagación multicamino. Este proceso de identificación se asemeja, en algo, a la tecnología de antenas inteligentes (smart antennas) que emplean técnicas de procesamiento de señal para realizar un apuntamiento dinámico del haz, aunque en este caso con el fin principal de aumentar la tasa de bit

Siempre es posible tener un número de transmisores mayor al de los flujos de datos transmitidos, no se puede dar para el caso contrario debido a que los datos no sería completamente entendidos por los receptores pues se traslaparían los flujos de datos y se generaría interferencia; pero por separaciones espaciales de estos paquetes a través del número N de antenas (menor al flujo de datos), los M receptores podrán reconstruir completamente estos flujos de datos proporcionados por el crosstalk y el ruido en el radio canal es bastante bajo.

Básicamente en un sistema MIMO de 2×2 , un flujo de datos se asigna únicamente a una antena. El canal mezcla las dos transmisiones, cada antena ve una combinación de cada flujo. La decodificación las señales recibidas son un proceso inteligente en que los receptores, analizan los patrones que singularmente identifican cada transmisor, determinan qué combinación de cada uno transmite el flujo presente. La aplicación de un filtro inverso y sumado de los flujos recibidos recrean los datos originales³.

³ Francisco Ramos Pascual, Sistemas MIMO, Universidad Politécnica de Valencia.

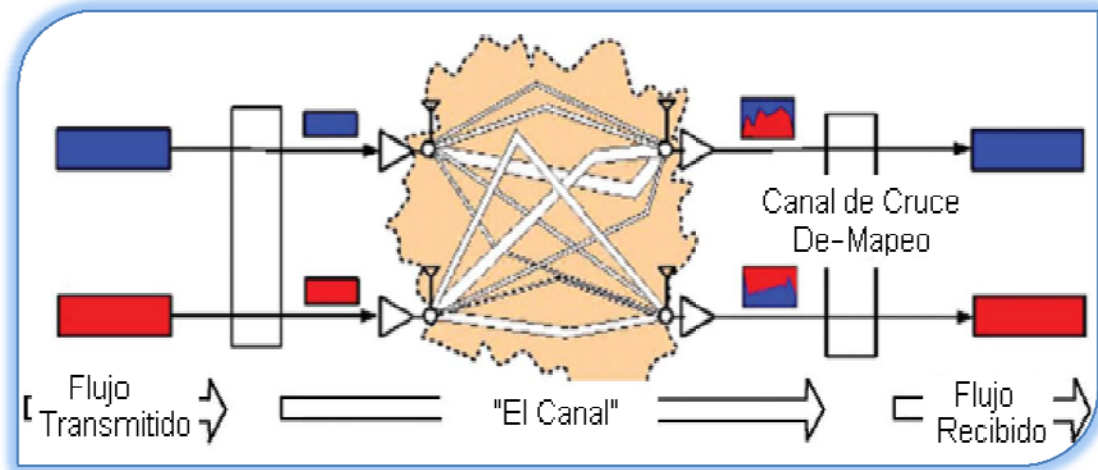


Figura 41: Sistema MIMO 2X2 sin pre codificación.

Una forma de obtener un desempeño mayor en un sistema MIMO es incluir un pre-codificador especial para emparejar las transmisiones a los modos de Eigen del canal. Sin embargo esto complica mucho el sistema.

MIMO satisface particularmente a ambientes interiores (indoors) que pueden presentar un alto grado de multi-trayectos y la línea de vista limitada.

Las antenas deben ser alimentadas desde un punto en común pues de forma independiente el sistema no funcionaria. MIMO trata de que pueda conseguir una ganancia de canal, para lo cual se usan técnicas fiabilidad del sistema con respecto a desvanecimientos, o bien mediante multiplexación (capacidad del sistema). Estos métodos pueden también combinarse.

3.1.1.1 Multiplexación Espacial.

En la multiplexación Espacial la señal a transmitir se divide en varios flujos de datos de menor velocidad que se transmiten a la misma frecuencia por medio de cada una de las antenas transmisoras. Bajo ciertas condiciones de diseño, en el receptor se pueden volver a recuperar dichos flujos de datos y crear varios canales en paralelo. Es un método muy eficiente para aumentar la capacidad del sistema con relaciones señal a ruido altas.

3.1.1.2 Codificación de Diversidad.

Para este caso, se transmite un único flujo de datos, pero la señal se codifica empleando códigos espacio-temporales. La técnica puede aplicarse en el transmisor sin tener conocimiento de las propiedades del canal. La mejora de la señal por diversidad se basa en que los desvanecimientos que se producen de forma relativamente independiente en cada uno de los enlaces individuales, donde además la polarización de las antenas se convierte también en un aspecto importante.

Los diversos enlaces entre antenas constituyen lo que se conoce como matriz de canal. Luego matemáticamente un sistema MIMO se puede expresar por medio de la ecuación:

$$y = Hx + n,$$

Donde “x” e “y” son los vectores de señal transmitida y recibida, respectivamente, H es la matriz de canal, de dimensiones $M \times N$, y n es el vector de ruido.

Con estas variables, la capacidad media de un sistema MIMO es el mín (M, N) veces mayor que la de un sistema SISO tradicional.

3.1.2 Tipos de Sistemas MIMO

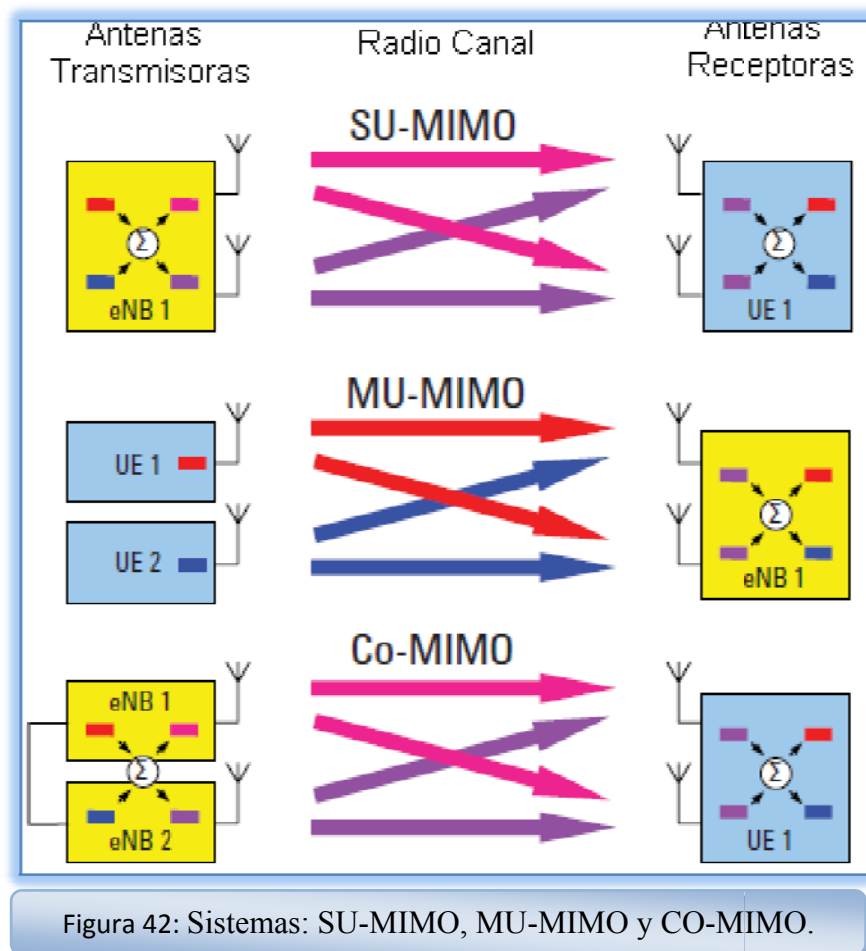
Existe una elaboración más compleja de los arreglos de antenas en los sistemas MIMO, a continuación se presentan de manera genérica los tres casos que se pueden dar con el propósito de que más adelante se entiendan ciertos aspectos que pueden citar estos arreglos de antenas.

En primera instancia se tiene el caso de usuario único MIMO (SU-MIMO), está es la forma más común de MIMO funciona tanto para la descarga (Downlink) como para la subida (Uplink) de datos, es la forma básica de representar un sistema MIMO.

Se tiene un segundo caso, el de Múltiples Usuarios MIMO (MU-MIMO), el cual solo es usado en para la subida de datos, WIMAX trabaja con esta

configuración. Aquí los transmisores se encuentran mucho más lejos de los receptores, y debido a que existe mayor separación espacial aumenta la oportunidad de que el eNB englobe a más Equipos de Usuarios (UE).

Finalmente está el caso MIMO Cooperativo (CO-MIMO), es conocido como cooperativo pues aquí dos eNB colaboran para la descarga, compartiendo los flujos de datos pre codificados espacialmente para por lo menos una UE. Es muy ventajoso cuando la UE se encuentra en los límites de la celda



Además de los modos que se han visto está el Beamforming que usa el mismo proceso de las antenas MIMO, con la diferencia que se vale de de-correlación en el radio enlace, para que el modelo de la radiación del transmisor se dirija hacia el receptor. Esto se hace aplicando retrasos de tiempo pequeños a una fase calibrada de una serie de antenas. La efectividad de beamforming varía con el número de antenas, por lo que con dos antenas se ve una ganancia pequeña, pero con cuatro antenas las ganancias se incrementan.

3.1.3 Esquemas de Múltiples Antenas en LTE para Descarga

LTE soporta MISO, SIMO y por supuesto MIMO. Para el primer esquema de múltiples antenas, LTE soporta de 2 o 4 antenas para un grupo de transmisores para el caso de SIMO.

El segundo esquema para la descarga está el de la pluralidad **de antenas receptoras** (RX diversity), lo cual es obligatorio para los UE, pues es un requerimiento obligatorio para definir el rendimiento del equipo. Un típico uso de RX diversity es la razón máxima que combina los flujos recibidos para mejorar el SNR en condiciones pobres. La Rx diversity proporciona una ganancia pequeña en buenas condiciones.

El tercer esquema es el de la multiplexación espacial, es decir MIMO, que también soporta configuraciones de 2 o 4 antenas, por lo que para un UE de dos canales puede tener esquemas de 2x2 o 4x2, y para un UE de 4 canales se requiere de una configuración de 4x4, pero esta última configuración aún se encuentra en estudios. Para la configuración más común, la de 2x2 SU-MIMO, la carga útil de datos es dividida en dos flujos con códigos CW0 y CW1, tal como se muestra en la figura siguiente.

Dependiendo de la precodificación usada, cada palabra código posee una potencia y una fase diferente para cada una de las dos antenas. Además cada antena es identificada por la posición de las señales de referencia en la estructura de la trama de datos.

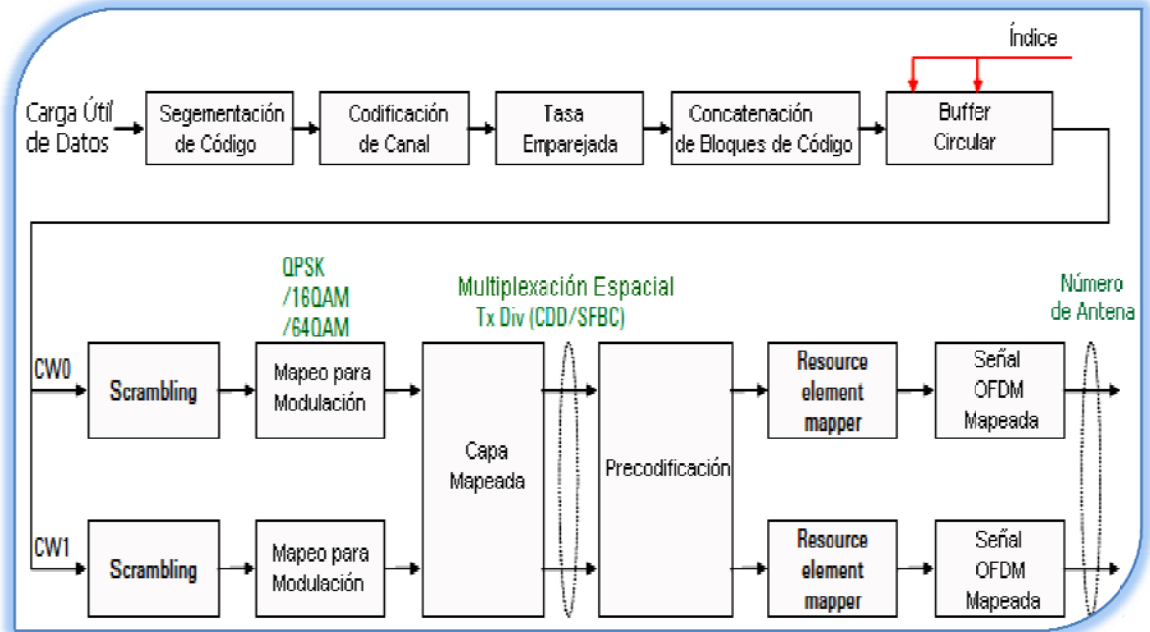


Figura 43: Proceso para TX diversity y para multiplexación espacial – MIMO.

La información del canal es proporcionada por el UE en el control de canal de uplink. La regeneración del canal usa un libro de códigos de aproximación para proporcionar un índice en un predeterminado juego matrices de pre-codificación. El UE que puede estimar las mejores condiciones de canal para conseguir el mejor rendimiento del canal.

Hay que aclarar que la pre codificación es una opción adicional de los sistemas MIMO llamada Retraso de Diversidad Cíclica o CDD (cyclic delay diversity), donde esta técnica agrega cambios de tiempos cíclicos a antenas específicas con el objetivo de crear artificialmente multi-trayectorias en las señales recibidas y previene señales de cancelación que se puedan originar debido al espacio estrecho entre antenas.

Aunque el hecho de crear multi-trayectorias se considere muchas veces algo indeseable, permite al eNB escoger los RBs⁴ que tienen condiciones favorables de propagación para transmitirlos.

⁴ RB (Bloque de Recurso es la cantidad más pequeña de recursos que un sistema asigna para downlink o uplink), RS (Señales de Referencia)



3.1.4 Esquemas de Múltiples Antenas en LTE para Subida

Un UE básicamente dispone de un transmisor con el objetivo de poder ahorrar costos y energía de la batería, además cuenta con soporte MU-MIMO, es decir que dos UE diferentes transmiten a la misma frecuencia y tiempo al eNB. Además esta configuración tiene la virtud de doblar la capacidad del uplink (en las condiciones ideales) sin incurrir en el costo extra al UE.

Una configuración optativa del UE es que una segunda antena transmisora permite Tx diversity y SU-MIMO para el uplink o subida.

3.2 Protocolos de Comunicación para la Tecnología LTE

Los productores de telefonía móvil y la infraestructura móvil, están trabajando en el siguiente gran paso para el desarrollo de UMTS LTE.

El nuevo estándar asegurará que UMTS sea competitivo y brinde a los usuarios acceso a internet móvil. La primera red LTE se comercializará en el 2010, y la estandarización de LTE está progresando como parte de Release 8 de 3GPP (Third Generation Partnership Project).

Las velocidades en downlink (descarga de datos) y uplink (subida de datos) para las redes LTE, disminuyen el tiempo de latencia para la transmisión de paquetes, así que los usuarios no experimentarán los retrasos inaceptables que en tecnologías pasadas se dan. Para lograr estas metas, la 3GPP está definiendo nuevos métodos para la transmisión de interface de aire y está renovando el protocolo y arquitectura de la red de UMTS.

Otro avance significativo de LTE es el ancho de banda a 20MHz, ya que este es escalable, LTE puede también operar en la banda de frecuencia de 5MHz correspondiente a UMTS. Los diseñadores de las estaciones base LTE y dispositivos inalámbricos, deben considerar un tiempo de transmisión de 1 milisegundo entre paquetes.



Los sistemas LTE pueden emplear sistemas de antenas MIMO donde se puede transmitir los mismos flujos de datos para mejorar la fiabilidad de la transmisión de datos.

En otra técnica, las antenas usan multiplexación simultánea, transmitiendo diferentes flujos de datos para incrementar el throughput, este método produce una ganancia en la multiplexación. Esta multiplexación es necesaria para lograr la mayor tasa de datos en el downlink de 100Mbps.

En LTE, las estaciones base pueden tener como cuatro antenas transmitiendo a la vez, y en LTE los dispositivos inalámbricos, tendrán como cuatro antenas recibiendo a la vez. Las primeras aplicaciones probablemente consistirán en sistemas de antena de 2×2 , eso quiere decir, que serán dos en la transmisión y dos en la recepción.

3.2.1 Protocolo de arquitectura LTE

LTE puede soportar una alta tasa de datos y latencias cortas. LTE es una tecnología orientada a ser puramente paquetizada, ya que se diseñó en acuerdo con la 3GPP SAE (system-architecture-evolution) Sistema Evolucionado de Arquitectura. LTE usa una mínima arquitectura de red para reducir el tiempo de latencia como se indica en la figura. La estación base de LTE, o eNB (eNodeB), inicializa las conexiones para la interface de aire, y también asigna los recursos de la interface de aire.

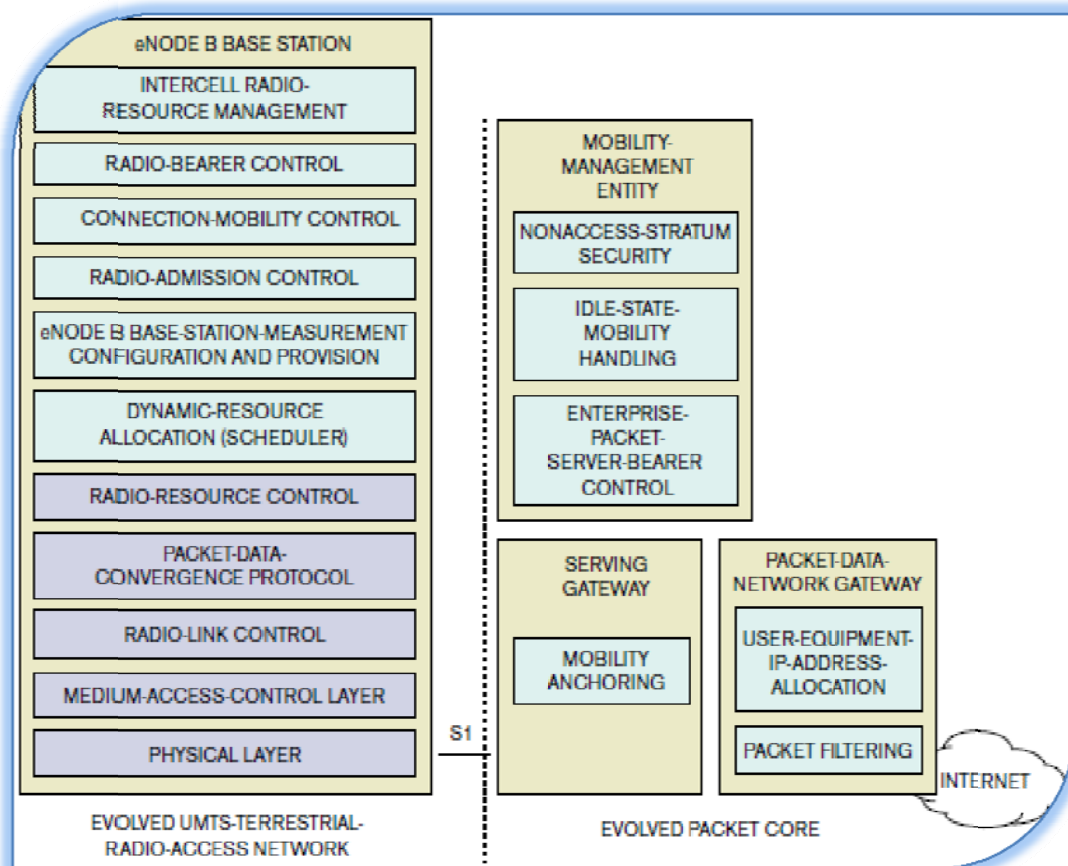


Figura 44: Arquitectura de red LTE.

Cada estación base de LTE se conecta al núcleo de la red a través de 3GPP definido por la interface S1. Las estaciones base se interconectan ellas mismas a través de la interface X2, también ellas pueden inicializar y completar las acciones, como el handover. Como resultado de esto, el controlador de la red de radio RNC (radio-network controller) que UMTS usa, es ahora innecesario, ya que reduce significativamente el número de interfaces internas en la red. El eNB básicamente, asume las funciones que la RNC manejaba.

La figura 45 muestra el protocolo de arquitectura para el usuario y para el controlador. El protocolo de la capa 1 y la capa 2 de la interface de aire, acaba en el dispositivo inalámbrico y en la eNB. El protocolo de la capa 2 incluye el protocolo de control de acceso al medio MAC (medium-access-control), el protocolo RLC (radio-link-control) y el PDCP (packet-data-convergence protocol).

El protocolo de la capa 3 RRC (radio-resource-control) también termina en el dispositivo inalámbrico y en la estación base. Los protocolos de no acceso a la capa, NAS (nonaccess stratum) en el controlador, concluyen en los dispositivos inalámbricos y en la entidad administradora de la movilidad en el núcleo de la red.

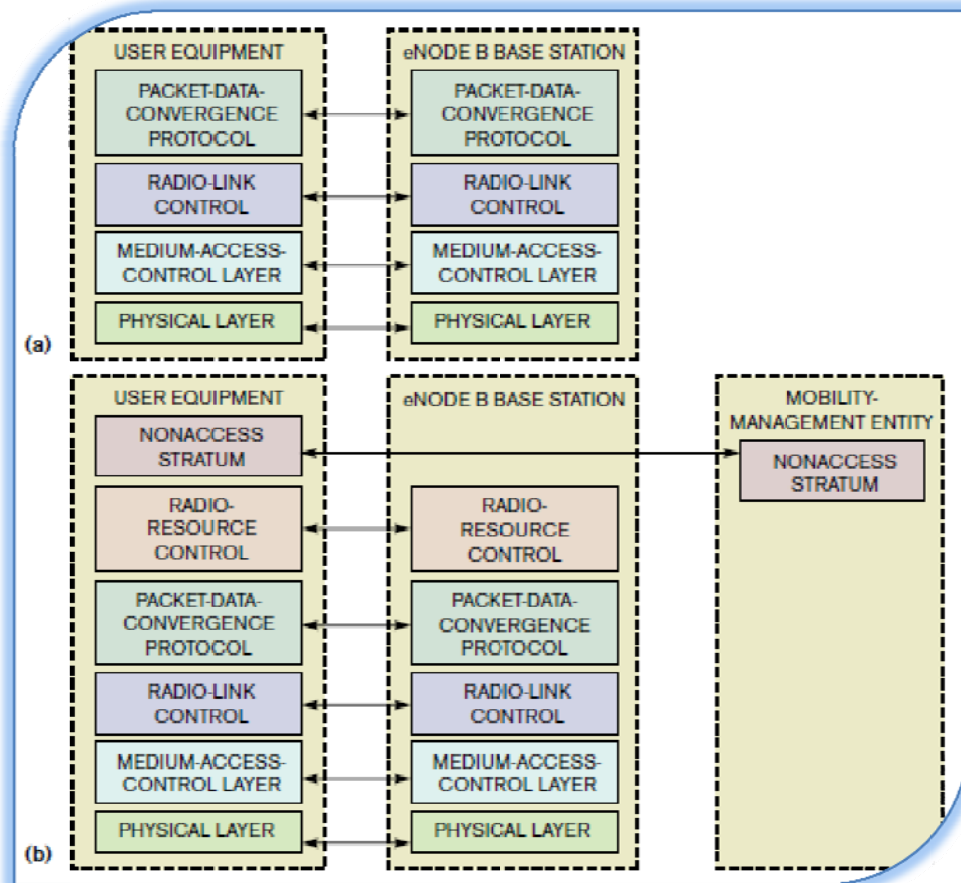


Figura 45: Protocolo de arquitectura para el usuario y para el controlador.

LTE simplifica muchos de los procedimientos de UMTS; por ejemplo LTE desarrolló el principio del canal compartido, que brinda acceso dinámico a la interface de aire a múltiples usuarios.

En contraste a la operación convencional de la conmutación de circuitos, la red LTE está orientada a la conmutación de paquetes, en donde no se asigna recursos al usuario para la duración entera de una conexión.

En cambio, la base station, da un recurso al usuario en el canal compartido, solo cuando los datos o paquetes están listos para la transmisión. Durante las pausa



en la transmisión, LTE puede asignar recursos a otros subscriptores. El canal dedicado usado en GSM y UMTS, no es un requisito necesario, simplificando enormemente la arquitectura de protocolo LTE, y asegurando el uso eficiente de los usuarios en la interface de aire.

La adición de procedimientos para el enlace de adaptación, mejora la calidad de servicio del canal compartido. Con el enlace de adaptación, la estación base selecciona una modulación óptima y el esquema de código basado en la calidad de conexión.

La estación base también toma las decisiones de planificación de frecuencias-dependientes, como si un usuario tendría la mejor calidad de conexión en un rango específico del ancho de banda. Entonces el mecanismo de planificación si es inadecuadamente usado, puede degradar la actuación del sistema de LTE significativamente. Los requisitos de cronometrado son severos e importantes porque la estación base toma cada mili segundo una decisión de planificación.

LTE difiere de UMTS por el modo comprimido de WCDMA, qué permite un dispositivo inalámbrico para tomar medidas de otras frecuencias o radio tecnologías, para optimizar la calidad de las llamadas y para facilitar los handovers.

Para este propósito la transmisión de datos es comprimida para que el dispositivo inalámbrico pueda encontrar los vacíos y poder realizar las medidas antes dichas. Este método es relativamente complejo para implementar, porque LTE no usa compresión WCDMA, la base station es la responsable de proporcionar las pausas necesarias a los subscriptores para dichas mediciones.

Un aspecto importante, desde el punto de vista de la operación de la red, es la integración de LTE en las redes de radio móvil ya establecidas. En adición a GSM/GPRS (general packet-radio service) y redes UMTS; LTE incluye redes que emplean WiMax (worldwide interoperability for microwave access) y CDMA 2000.

Para asegurar un exitoso handover en llamadas de una red LTE, 3GPP especifican los mecanismos convenientes de handovers.



Como se ve en la figura 40 los protocolos para el control de la radio interfaz de LTE se describen a continuación.

- **NAS (Non-Access Stratum):** El Estrato de Non-acceso (Documento 3GPP TS 24.301). NAS es responsable para la EPS administración de portador, autenticación, paginación y movilidad que manejan en el estado ICM IDLE.
- **RRC (Radio Resource Control):** El Mando de Recurso de radio (Documento 3GPP TS 36.331). Esta capa es responsable para Broadcast y la paginación. También tiene el cuidado con la administración de la conexión RRC, el control del portador, funciones de movilidad y de las dimensiones que UE que informa y controla.
- **PDCCP (Packet Data Control Protocol):** Protocolo de Control de Paquete de Datos (3GPP TS 36.323). Esta capa es responsable para la IP título condensación evitar innecesario sobre la cabeza en la carga útil. Esta capa también es responsable para cifrar y el cheque de protección de integridad.
- **RLC (Radio Link Control):** Control de Radio Enlace (3GPP TS 36.322). RLC es responsable para el segmentación/concatenación retransmisión que maneja y en la entrega de la sucesión de mensajes a las capas más altas. RLC ofrece los servicios a PDCCP en la forma de portador de la radio. Estos portadores de la radio se trazan a portadores de EPS en EPC.
- **MAC (Media Access Control):** Control de Acceso al Medio (Documento 3GPP TS 36.321). Mac se ocupa de ARQ, uplink y planificación del downlink. La funcionalidad de planificación se localiza en el eNB. Hay una entidad de MAC por la célula para uplink y " downlink. El HARQ está presente en UE y " eNB. MAC ofrece los servicios a RLC informe de canales lógicos.
- **Physical Layer:** Capa Física (Documento 3GPP TS 36.201). Se ocupa de codificación y decodificación, sistemas de antenas múltiples, etc. ofrece

servicios a la capa de MAC mediante el informe de los canales de transporte.

Estos protocolos se agrupan en capas, las mismas que se revisarán un poco más adelante.

3.2.2 Pruebas de Protocolo

Durante las etapas de desarrollo de LTE y dispositivos inalámbricos, los ingenieros realizaron pruebas de protocolo y pruebas funcionales para asegurar que la funcionalidad de los protocolos en la interface de aire cumple con las especificaciones 3GPP LTE.

Dependiendo del grado de integración, se puede usar varias aproximaciones para realizar las pruebas de protocolo. Varios fabricantes de equipos, ofertan instrumentos de prueba que incluye un software basado en testear protocolos LTE. Si una implementación de la capa 1 no está todavía disponible o la integración no ha tenido lugar todavía, se puede usar este software para realizar una prueba virtual del software protocolar.



Figura 46: Equipo para las prueba protocolares en LTE.



3.2.3 Interoperabilidad

Los fabricantes probarán los primeros dispositivos inalámbricos LTE en las redes. Para comprender estos ensayos, productores del chipset y dispositivos inalámbricos

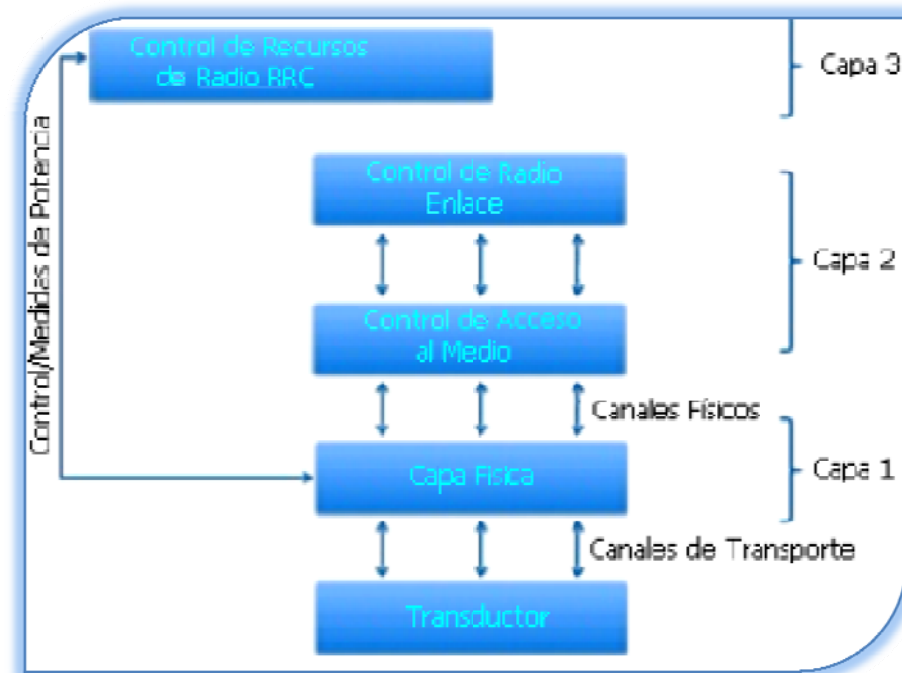
La 3GPP está trabajando en las especificaciones de pruebas para LTE, en adición a los casos de pruebas para RF y administración de recursos de radio, el 3GPP desarrollará números casos de pruebas de señales. Estos casos incluirán a las capas 2 y 3. La conformidad de los casos de prueba que 3GPP especifican, formarán la fundación para la certificación de dispositivos inalámbricos, mientras que todos los dispositivos inalámbricos de todo el mundo, cumplirán con los mismos estándares.

LTE involucra muchos cambios en las técnicas para UMTS. Diseñadores de chipset LTE y dispositivos inalámbricos, realizarán numerosas pruebas de protocolo para detectar errores en la implementación, ahorrando con esto, tiempo y dinero.

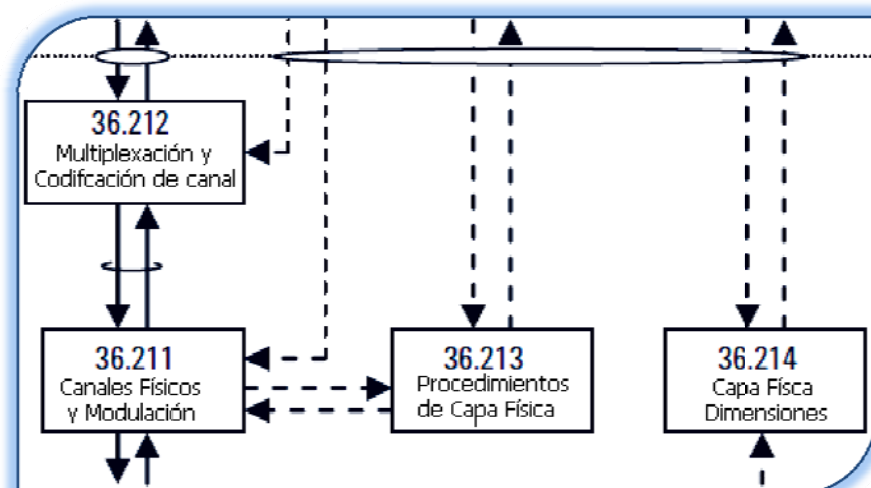
El trabajo interno entre LTE y otras tecnologías de radio será una importante tarea en las pruebas de protocolo.

3.3 Interfaz de Radio de LTE

La interfaz de radio es vital para que se den las transmisiones. Esta radio interfaz está compuesta principalmente por tres capas, las mismas que se componen de los protocolos que se mostraron previamente.



3.3.1 Capa Física⁵



⁵ Agilent 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges; Application Note.

3.3.1.1 Canales Físicos y Modulación (TS36.211)

Esta especificación describe las señales físicas y los canales físicos para la descarga (Downlink=DL) y subida (Uplink=UL) de información, y de cómo estas se mapean en la estructura de la trama. Incluye el proceso para el soporte de técnicas de antena múltiples.

Estas señales físicas se usan para la sincronización del sistema, identificación celular, y estimación de canal de radio. Los canales físicos llevan los datos de las capas más altas incluso el mando, planificación, y carga útil del usuario. Los nombres de estas señales físicas se pueden apreciar en la tabla que se presenta a continuación:

Señales DL	Nombre Completo	Propósito
P-SCH	Señal Primara de Sincronización (Primary synchronization signal)	Usada para la búsqueda de ID celda e Identificación del UE. Lleva parte del Identificador o ID de la Celda (Una de tres secuencias ortogonales)
S-SCH	Señal Secundaria de Sincronización (Secondary synchronization signal)	Usada para la búsqueda de ID celda e Identificación del UE. Lleva parte del ID de la celda (Una de 168 secuencias binarias)
RS	Señal de Referencia (Piloto) Reference signal (Pilot)	Usada para la estimación del canal DL Secuencia exacta dedicada del ID de celda (una de $3 \times 168 = 504$ secuencias pseudo aleatorias)
Señales UL	Nombre Completo	Propósito
RS	Señal de Referencia (demodulación y sondeo)	Usado para sincronización del UE y la estimación del canal de UL

Tabla 5: Señales Físicas de LTE.

En DL las señales de sincronización primaria y secundaria codifican la identificación de celda, permitiendo al UE identificar y sincronizarse con la red. La señal RS existe tanto en DL como en UL y sin su uso, la fase y la amplitud cambiarían en la señal recibida haciendo la demodulación inestable, particularmente en modulaciones altas como 16QAM o 64QAM. En estos casos de la modulación

alta, incluso un error pequeño en la señalada recibida para la amplitud o la fase puede causar errores de demodulación.

Junto a las señales físicas están los canales físicos que llevan la información entre el usuario y el sistema. No existen canales especializados pues son una característica de sistemas que manejan solo paquetes. La estructura del canal de LTE es más íntima a HSPA que es al W-CDMA original y que está basado en canales dedicados a singularizar usuarios.

Canales DL	Nombre Completo	Propósito
PBCH	Canal físico de Broadcast	Lleva la información específica de celda
PMCH	Canal físico de Multicast	Lleva el canal de transporte de Multicast
PDCCH	Canal físico de control downlink	Planificación, ACK/NACK
PDSCH	Canal físico compartido de downlink	Carga Útil
PCFICH	Canal físico de control del formato indicador	Describe el número de símbolos de PDCCH OFDMA por sub-trama (1,2o3)
PHICH	Canal físico híbrido de indicador ARQ	Lleva HARQ ACK/NACK
Canales UL	Nombre Completo	Propósito
PRACH	Canal físico de acceso aleatorio	Llama a setup
PUCCH	Canal físico de control uplink	Planificación, ACK/NACK
PUSCH	Canal físico compartido de uplink	Carga útil

Tabla 6: Canales Físicos de LTE.

3.3.1.2 Estructura de Trama

Como ya se ha mencionado, LTE tiene dos modos de operación el FDD (Frequency Division Duplex), donde los enlaces ascendente y descendente se separan en el dominio de la frecuencia y el TDD (Time Division Duplex), donde la misma separación se hace para el dominio del tiempo. Entonces LTE posee estructuras de trama para cada uno de estos modos de operación, donde la primera estructura es conocida como FS1 (frame structure type 1) que trabaja con full dúplex y half dúplex de TDD.

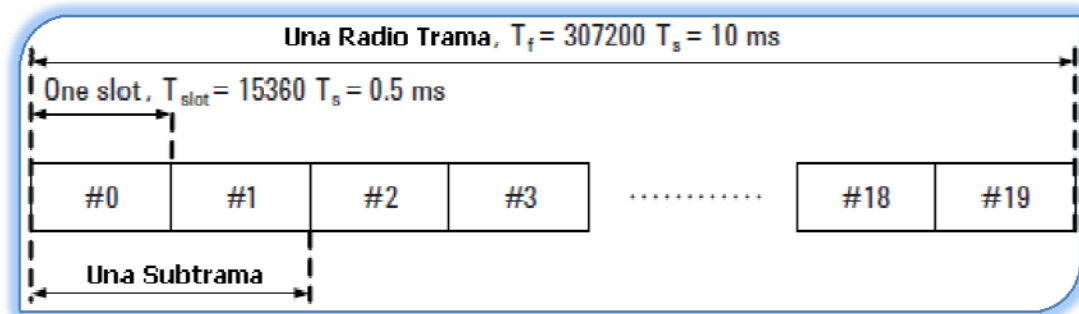


Figura 49: Estructura de Trama de tipo 1 FS1.

Además FS1 está optimizada para coexistir con 3.84Mbps de sistemas UMTS. Esta estructura está constituida por diez sub tramas de 1ms, y cada una compuesta por slots de 0.5ms, para así tener una duración total de 10ms, además es la misma para uplink y downlink en términos de trama, sub-trama, y duración de slot aunque la asignación de las señales físicas y canales es bastante diferente. Los enlaces ascendentes y descendentes están separados en el dominio de frecuencia.

La segunda estructura de trama es conocida como FS2 (frame structure type 1), que ha sido diseñada para trabajar con TDD y es más flexible que la anterior. Podemos analizarla para una duración total de 10ms, pero está compuesta por dos medias tramas de 5ms.

La sub tramas consiste de cualquiera de los enlaces ya sea ascendente o descendente, o de una sub trama especial que contenga el time slot piloto para downlink o uplink (DwPTS o UpPTS) separados por un periodo de guarda (GP). La asignación de estas sub tramas ya sean las individuales para el uplink o downlink o la especial es determinada por una de siete configuraciones diferentes. Las sub tramas 0 y 5 siempre son de transmisiones downlink y la sub trama 1 siempre es una sub trama especial, pero la composición de las otras sub tramas varían dependiendo de la configuración de la trama.

Para una configuración de 5ms de punto de conmutación, la sub trama 6 es siempre una sub trama especial como está en la Figura 41. Con 10ms de periodicidad de punto de conmutación, hay sólo una sub trama especial por 10ms de trama.

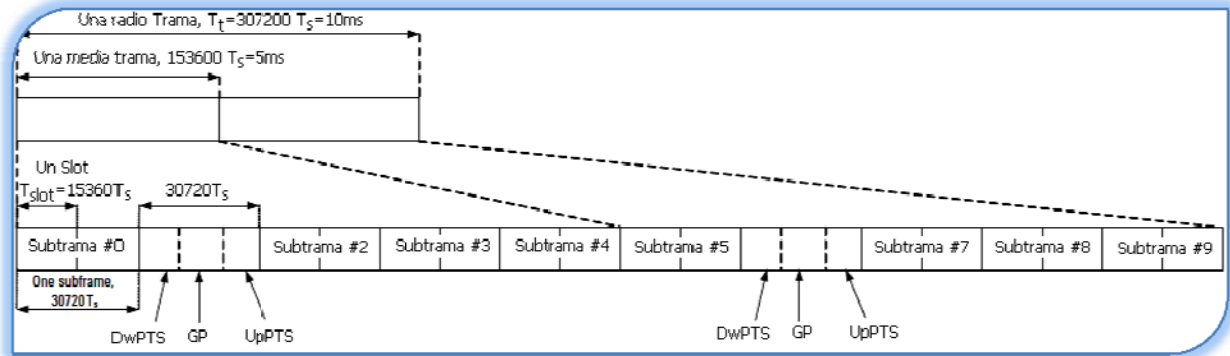


Figura 50: Estructura de Trama de tipo 2 FS2.

3.3.1.3 Recursos físicos y mapeo para la descarga de Información

Una trama entera de 10ms es necesaria para los canales de control a repetir. La estructura de la trama hace referenciada a T_s que es el intervalo de tiempo más corto del sistema definido como $1/(15000 \times 2048)$ segundo o 32.552ns. En la figura 46 se puede apreciar la estructura de trama FS1 para descarga, en la cual se puede apreciar cómo están compuestos los slots de información, y como estos componen la trama.

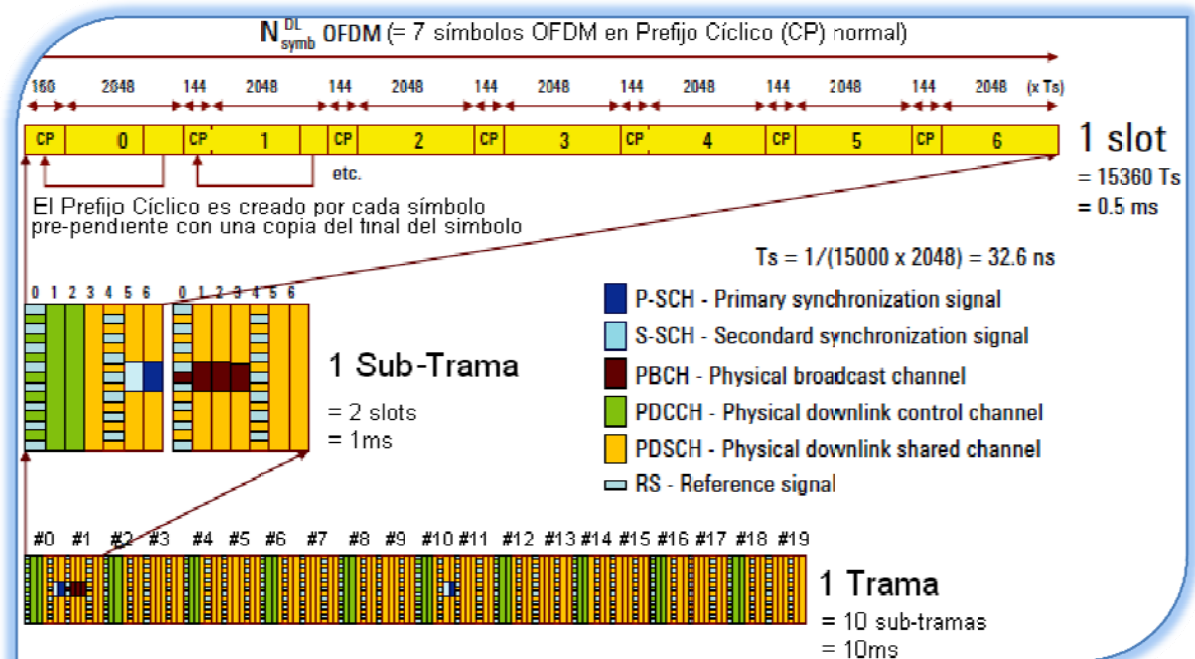


Figura 51: Trama FS1 para descarga.

Las señales físicas son las siguientes para el mapeo físico en downlink. Se transmiten RSs en el símbolo 0 OFDMA del primer sub-portador y en el símbolo 4 del cuarto sub-portador de cada slot. Éste es el caso más simple para el uso de una

sola antena. La posición del RS varía con el número de puerto de antena y la longitud de CP.

- P-SCH se transmite en símbolo 6 de los slots, 0 y 10 de cada trama; ocupa 62 subportadoras.
- S-SCH se transmite en el símbolo 5 de los slots 0 y 10 de cada trama; ocupa 62 subportadoras.
- PBCH se transmite en los símbolos 0 al 3 del slot 1; ocupa 72 subportadoras.

Los canales de control se contienen dentro de los 1.08MHz centrales de la señal para que el funcionamiento del sistema pueda ser independiente del ancho de banda del canal. La longitud de 72 para el P-SCH y S-SCH da una correlación alta cuando una asignación de 6 RBs (72 sub portadoras) se usa, considerando que la longitud de 62 para los medios PBCH que puedan ser detectados usando una FFT de longitud 64, ayuda a minimizar la complejidad para el UE. La Figura 52 muestra el DL mapeado a través de tiempo y frecuencia.

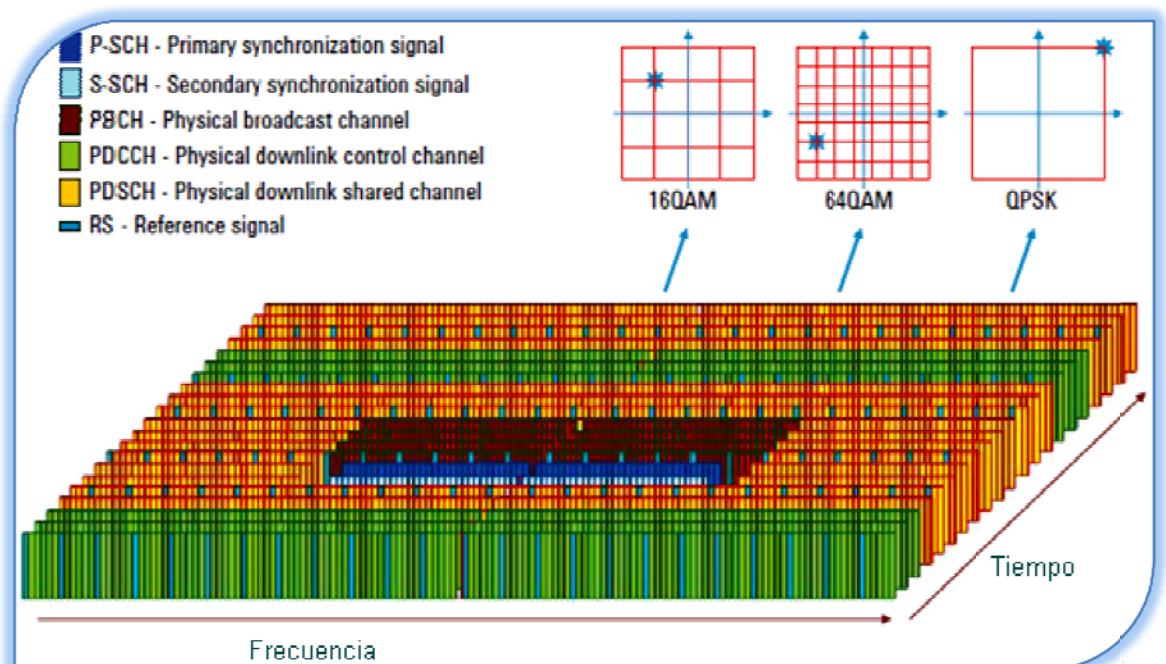


Figura 52: Trama FS1 para descarga, mostrando una sub trama Versus la frecuencia.

La tabla 7 indica las configuraciones que CP alcanza tomando en cuenta el tamaño el espaciamiento entre sub portadoras Δf . La configuración extendida de CP, permite cubrir trayectorias más largas que se pueden dar en celdas más grandes o en

el eMBMS (Evolved multimedia broadcast multicast service o Servicio Evolucionado de Transmisiones y Multi transmisiones Multimedia) cuando múltiples celdas se combinan.

		CP en Ts por Número de Símbolo						
Configuración de CP		0	1	2	3	4	5	6
Normal	$\Delta f = 15\text{Khz}$	160	144	144	144	144	144	144
Extendida	$\Delta f = 15\text{Khz}$	512	512	512	512	512	512	—
	$\Delta f = 7,5\text{Khz}$	1024	1024	1024	—	—	—	—

Tabla 7: Configuraciones del Prefijo Cíclico para la descarga o downlink en FS1.

3.3.1.4 Recursos físicos y mapeo para la subida de Información

El número de símbolos en un slot depende de la longitud de CP. Para un CP normal, hay siete símbolos SC-FDMA por slot y para un CP extendido hay seis SC-FDMA los símbolos por slot. Las señales de referencia de demodulación se transmiten en el cuarto símbolo del slot en todo las subportadoras de los recursos de bloque PUSCH, estos se usan para la estimación de canal de uplink para permitir al eNB demodular la señal.

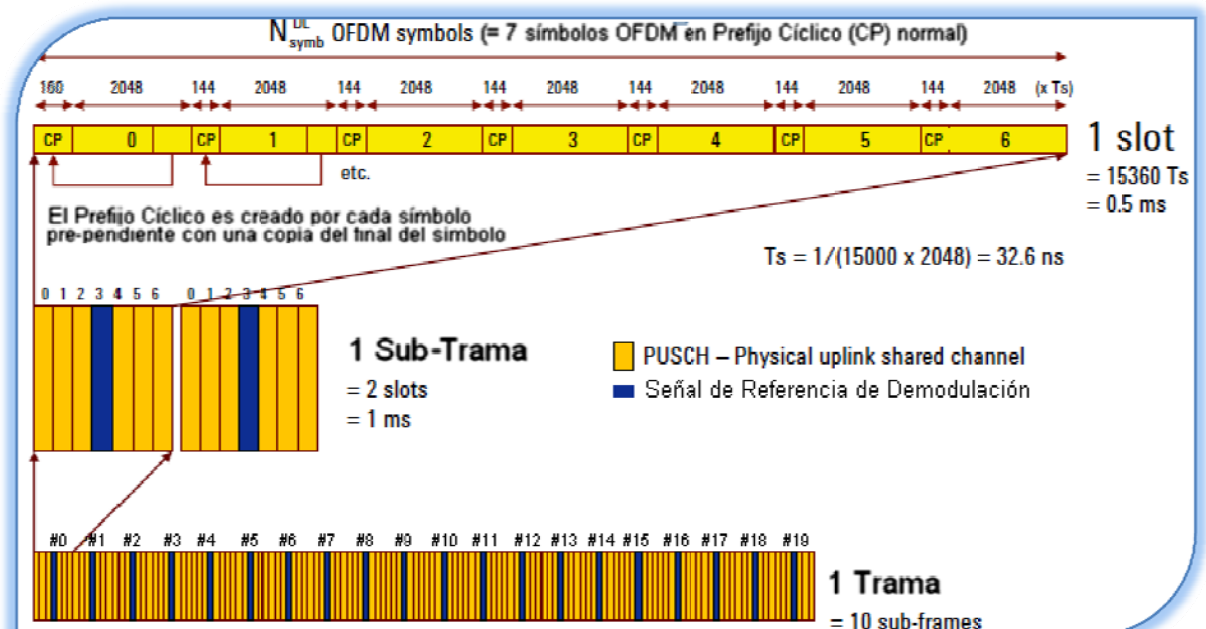


Figura 53: Trama FS1 para subida de información, mostrando mapeo para PUSCH.

En la figura 53 se puede ver el mapeo físico de uplink en FS1 para un UE asumiendo una asignación constante. Debido a que el uplink es compartido por múltiples usuarios y la tasa de datos se une directamente al ancho de banda, la asignación para un UE es casi siempre mucho menor al ancho de banda del canal.

La señal de referencia de demodulación en el uplink no se transmite más allá de la asignación de cada UE, donde la señal de referencia es diferente en el downlink, donde siempre se transmite usando el ancho de banda entero a pesar de que el canal del downlink no se asigne totalmente.

Esto le permite a cualquier UE dimensionar el canal para el downlink optimizando las oportunidades de enlace; sin embargo, para el uplink transmitir RS a través del máximo del ancho de banda del sistema sería impráctico por razones de consumo de batería y coordinación con otro UE por lo que se considera como un desperdicio de recursos. Cuando ningún PUCCH o PUSCH se fija en el uplink, los eNB pueden pedir transmisión de la señal de la referencia sonora (SRS) que permite el eNB para estimar que los uplink encauzan las características.

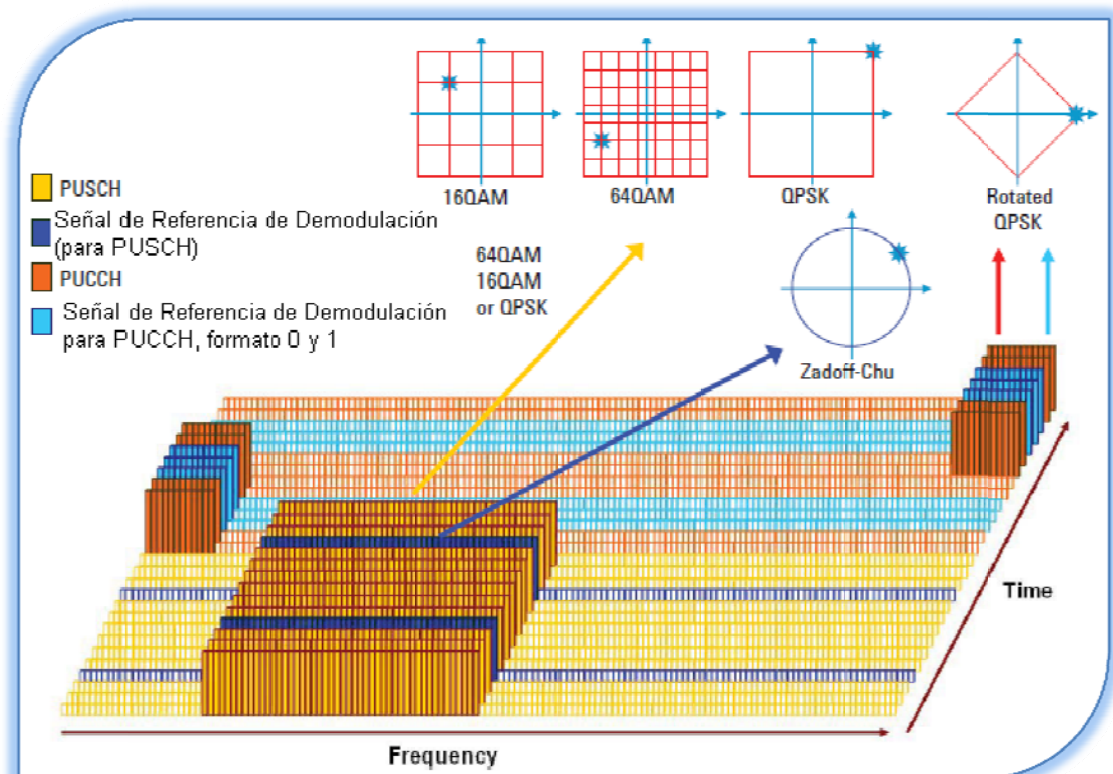


Figura 54: Trama FS1 para subida, muestra una sub trama versus la frecuencia.

		CP en Ts por Número de Símbolo						
Configuración de CP		0	1	2	3	4	5	6
Normal	$\Delta f = 15\text{KHz}$	160	144	144	144	144	144	144
Extendida	$\Delta f = 15\text{KHz}$	512	512	512	512	512	512	—

Tabla 8: Configuraciones del Prefijo Cíclico para la subida o uplink en FS1.

3.3.2 Capa 2 (MAC, RLC y PDCP)⁶

La capa 2 se divide en MAC, RLC y PDCP, en la figura 55 se puede apreciar la estructura para la descarga de información. Esta capa está encargada de la planificación del uplink y el downlink, la funcionalidad de esta planificación se da en el eNB. Cada celda dispone de una entidad MAC.

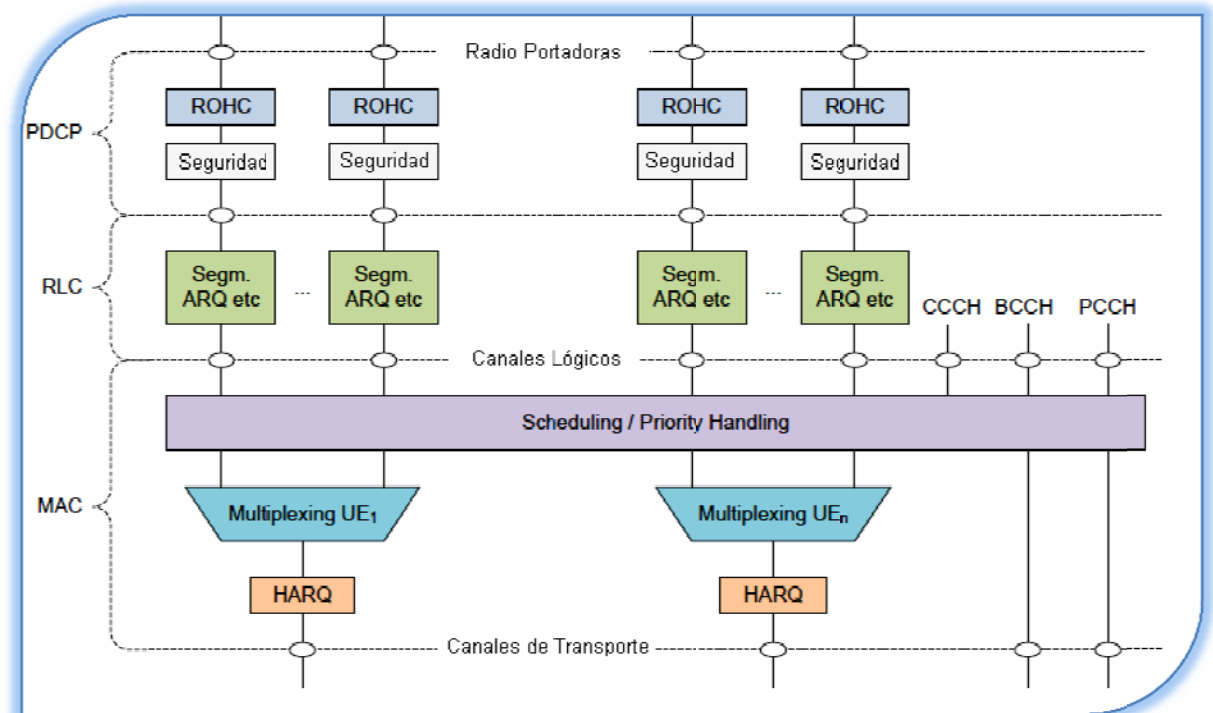


Figura 55: Estructura de la Capa 2 para downlink

La comunicación entre dos subcapas es marcada con círculos, los cuales se llaman Puntos de Acceso de Servicio (SAP). SAP entre la capa Física y la sub-capas de MAC proporciona los canales de transporte. Los SAPs entre la MAC y RLC proporcionan los canales lógicos. Multiplexación de varios canales lógicos

⁶ 3GPP LTE Channels and MAC. Layer 2009 EventHelix.com Inc.

(transmiten por radio a portadores) al mismo canal de transporte se preforma por la sub capa de MAC.

Las principales funciones de la capa MAC son:

- Manejar prioridades con planificación dinámica
- Mapeo entre los canales lógicos y de transporte.
- Priorización del Canal lógico
- La Corrección del error a través de ARQ Híbrido.

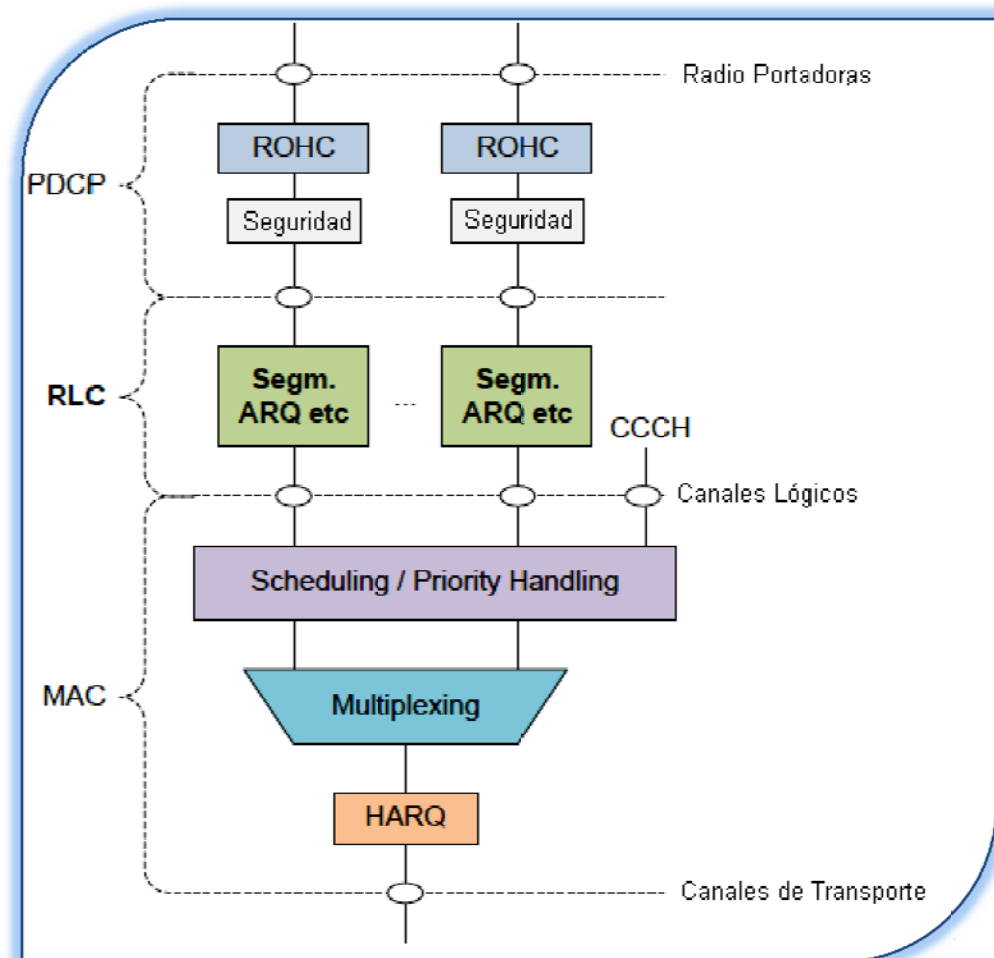


Figura 56: Estructura de la Capa 2 para Uplink

3.3.2.1 Canales lógicos Downlink

La sub-cap de MAC ofrece diferentes tipos de servicios de datos al informe RLC de canales lógicos. Los canales lógicos definen qué tipo de datos se transfiere entre UE y eNB. Los Canales lógicos son clasificados en los Canales de control (para



el control plano del traslado de información) y Canales de Tráfico (para el traslado de datos planos de usuario)

3.3.2.2 Canales Lógicos de Control para Downlink

El Canal de Mando de transmisión: **BCCCH** (Broadcast Control Channel). Este canal se usa de radiodifusión sistema mando información. Éste es el canal de downlink.

El Canal de Control de paginación: **PCCH** (Paging Control Channel). Canal de Downlink. Contiene la información de paginación de transferencias y sistema de notificación de cambio de información. Este canal se usa para paginar cuando la red no conoce la situación de la celda del UE.

El Canal de Control común: **CCCH** (Common Control Channel). Canal de control de transmisión de información entre el UE y la red. Este canal es usado por el UE cuando no tiene ninguna conexión RRC con la red.

Control Multicast del Canal: **MCCH** (Multicast Control Channel). Canal multi punto de downlink usado para transmitir información de control MBMS desde la red a UE. Este canal sólo se usa por el UE que recibe MBMS.

Canal Dedicado al Control: **DCCH** (Dedicated Control Channel). Un canal direccional punto a punto que transmite información dedicada al control entre un UE y la red. Usado por el UE que tiene una conexión RRC.

3.3.2.3 Canales Lógicos de Tráfico para Downlink

Canal Dedicado al Tráfico: **DTCH** (Dedicated Traffic Channel). Canal de Uplink y downlink. Canal punto a punto dedicado a un UE para el traslado de datos de usuario.

Canal de Tráfico Multi transmisiones: **MTCH** (Multicast Traffic Channel). Canal Punto Multipunto de downlink, usado para transmitir los datos de tráfico de la red al UE.



3.3.2.4 Canales de Transporte para Downlink

El Canal de Paginación: **PCH** (Paging Channel). Soporta recepción discontinua del UE (DRX) al habilitar el ahorro de energía del UE. Soporta también transmisiones en el área completa de la celda de cobertura; mapea los recursos físicos que pueden usarse dinámicamente también para el tráfico u otros canales de control.

El Canal de Transmisión: **BCH** (Broadcast Channel). Formato de transporte fijo, pre-definido. Transmite en el área completa de la celda de cobertura.

Canal de Multi transmisión: **MCH** (Multicast Channel). Transmite en el área completa de la celda de cobertura; como LTE opera sobre de una red de frecuencia única para Multicast/Broadcast (MBSFN-Multicast/Broadcast over single-frequency network) usando una forma de onda común tiempo-sincronizada que puede transmitirse desde múltiples células para una duración dada, combinando transmisiones MBMS sobre múltiples celdas.

Canal Compartido de Downlink: **DL-SCH** (Downlink Shared Channel). Permite ARQ Híbrido. Sostiene la adaptación de enlace dinámico variando la modulación, codificación y potencia de transmisión.

Opcionalmente soporta la transmisión dentro de una celda entera. Soporta tanto asignación dinámica como semi estática de recursos. Soporta la recepción discontinua del UE (DRX) al habilitar el ahorro de energía del UE. Sostiene la transmisión de MBMS.

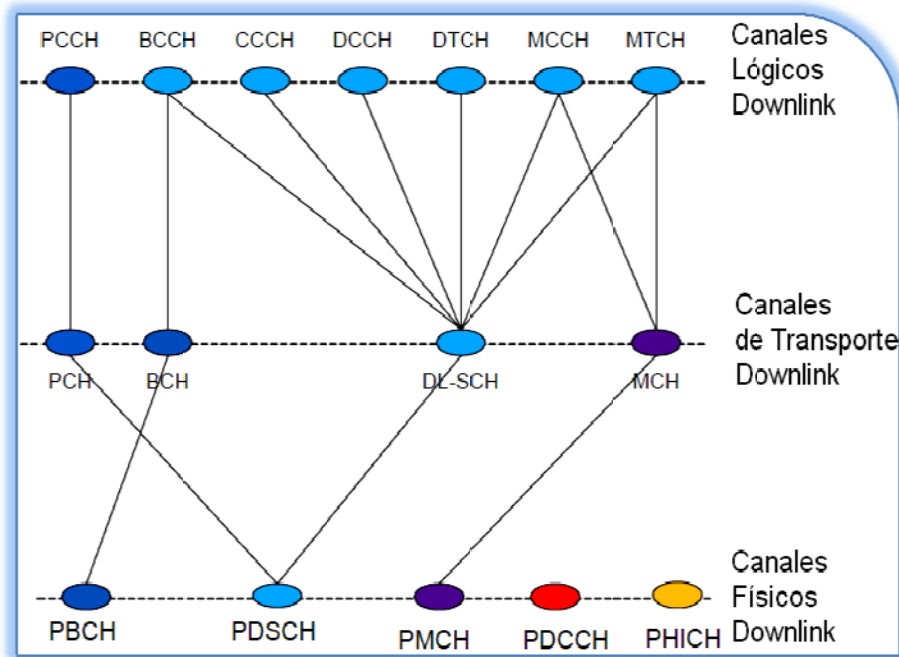


Figura 57: Canales Downlink en LTE.

3.3.2.5 Canales de Uplink

Canal de Control Común: **CCCH** (Common Control Channel). Canal para transmitir la información de control entre UEs y la red. Este canal se usa para UEs que no tienen ninguna conexión de RRC con la red.

Canal Dedicado al Control: **DCCH** (Dedicated Control Channel). Canal bidireccional punto a punto que transmite especialmente información de control entre un UE y la red. Usado por UEs que tiene una conexión de RRC.

Canal Dedicado al Tráfico: **DTCH** (Dedicated Traffic Channel). Canal punto a punto, especializado a un UE, para la transferencia de información de usuario. Puede existir en uplink y " downlink.

Canal de Acceso Aleatorio: **RACH** (Random Access Channel). Este canal lleva información mínima. Pueden perderse transmisiones en el canal debido a colisiones.

Canal Compartido de Uplink: **UL-SCH** (Uplink Shared Channel). Sostén optativo para formación de onda dirigida. Sostiene la adaptación de enlace dinámico

variando la potencia de transmisión y potencialmente la modulación y codificación.

Soporta ARQ Híbrido. Permite la asignación dinámica y semi-estática de recursos

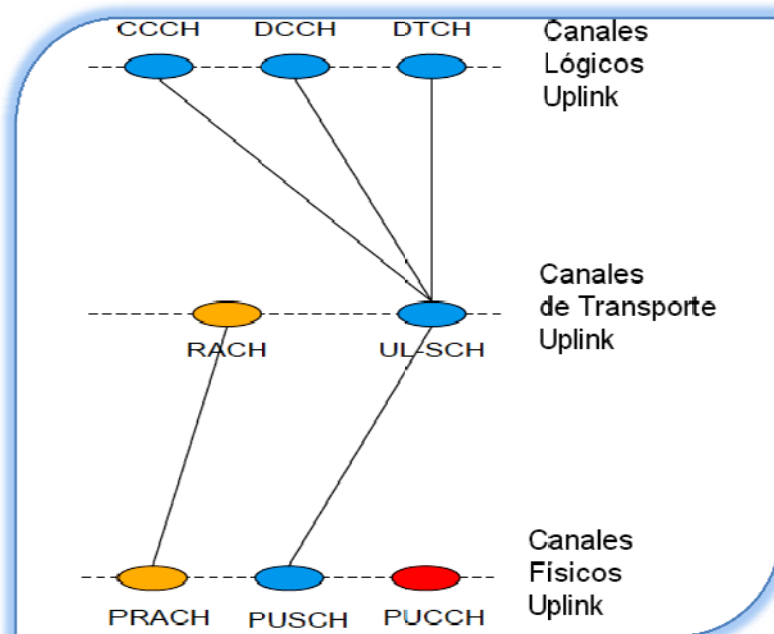


Figura 58: Canales Uplink en LTE.

3.3.3 RLC (Control de Radio Enlace)

Las principales funciones de la capa RRC son:

- Reconocido, De reconocimiento y Funcionamiento del Modo Transparente
- La Corrección del error A través de ARQ (AM)
- El encadenamiento, Segmentación y Reensamblaje de RLC SDUs (AM y UM)
- Transfiera de Capa Superior PDUs
- Transfiera de capa superior PDUs;
- La corrección del error a través de ARQ (sólo para AM los datos transfieren)
- El encadenamiento, segmentación y re ensamblaje de RLC SDUs (UM y AM)
- La Re-segmentación de datos de RLC PDUs (Am)
- Reordenamiento de datos de RLC PDUs (UM y ES);
- El re-establecimiento de RLC
- El descubrimiento del error protocolar y recuperación

3.4 Eficiencia del Espectro Radio Eléctrico

3.4.1 Potencialidad del espectro LTE

Tanto LTE como WiMax tienen sus propios beneficios, una diferencia es que WiMax usa TDD (Time-Division-Duplex) y LTE es FDD (Frequency-Division-Duplex).

TDD permite que uplink y downlink compartan el mismo espectro, en cambio en FDD el uplink y downlink transmiten a diferentes frecuencias.

3.4.2 Servicios inalámbricos avanzados (AWS)

El espectro a usarse es de 1710 – 1755 GHz para el uplink, y 2110 – 2155 GHz para el downlink. Los 90 Mhz de espectro, son divididos en 6 bloques de frecuencia, los cuales están etiquetados de la siguiente manera:

A	B	F	20 MHz por bloque
C	D	E	100 MHz por bloque

Tabla 9: Espectro de 90MHz dividido en 6 bloques.

3.4.3 700 MHz

En los EE.UU. este espectro comercial se fija para ser subastado en Enero del 2008. Este incluye 62 MHz de espectro irrumpido en 4 bloques:

Lower A	12MHz
Lower B	12MHz
Lower E	6 MHz
Upper C	22MHz
Upper D	10MHz
<i>Total</i>	<i>62 MHz</i>

Tabla 10: Espectro de 62MHz dividido en 4 bloques.



Estas bandas tienen un tremendo recurso, ya que una frecuencia baja se vuelve eficiente y permitirá que una red proporcione una mejor penetración que las bandas de frecuencia altas.

En el 2005, el Presidente de los EEUU firmó la transición de Televisión Digital, designando el 17 de febrero de 2009 como la fecha en que todas las estaciones de la TELEVISIÓN americanas deben completar la transición de un broadcast analógico a digital, dejando vacante el espectro de los 700MHz de radio frecuencia, para que tenga disponibilidad dicha banda en nuevos servicios.

El bloque Upper C tendrá “acceso abierto”. Es decir, la licencia permitirá a cualquier dispositivo estar conectado a la red con tal de que el dispositivo sea compatible y no dañe a la red, a más que la licencia no puede imponer restricciones contra las aplicaciones o servicios que se pueden acceder sobre la red.

El bloque Upper D tendrá una asociación Pública/Privada. Como parte de los 700 MHz, el ganador de la licencia comercial combinará este recurso con 10 MHz adicionales de espectro licenciado

Las indicaciones son fuertes en Europa y para el resto del mundo; el llamado dividendo digital y un aumento significativo de espectro para un ancho de banda inalámbrico en la banda UHF. Mientras los detalles del dividendo digital en EEUU están empezando a debatirse, la expectativa es que las asignaciones facilitarán el Roaming Global.

El uso de las frecuencias bajas resulta la mejor opción para las áreas de baja densidad poblacional y aseguran mejor cobertura “indoor”; es decir para las zonas rurales, a más que disminuye el número de las repetidoras requeridas ya que el tamaño de la celda en esta frecuencia es mayor, como indica en la figura.

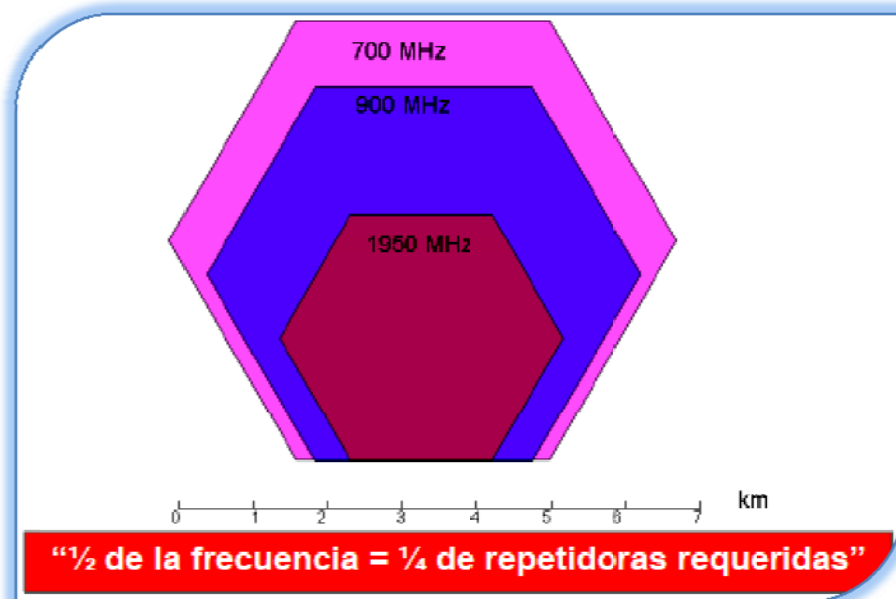


Figura 59: Impacto de la banda de frecuencia de 700MHz.

La banda de 700MHz con una antena, puede llegar a cubrir un radio de 10Km, comparando con la banda de 2.1GHz, con tres antenas llega a cubrir un radio de 5.5Km; lo que implica una gran ventaja en reducción de costos y aumento de capacidad del sistema.

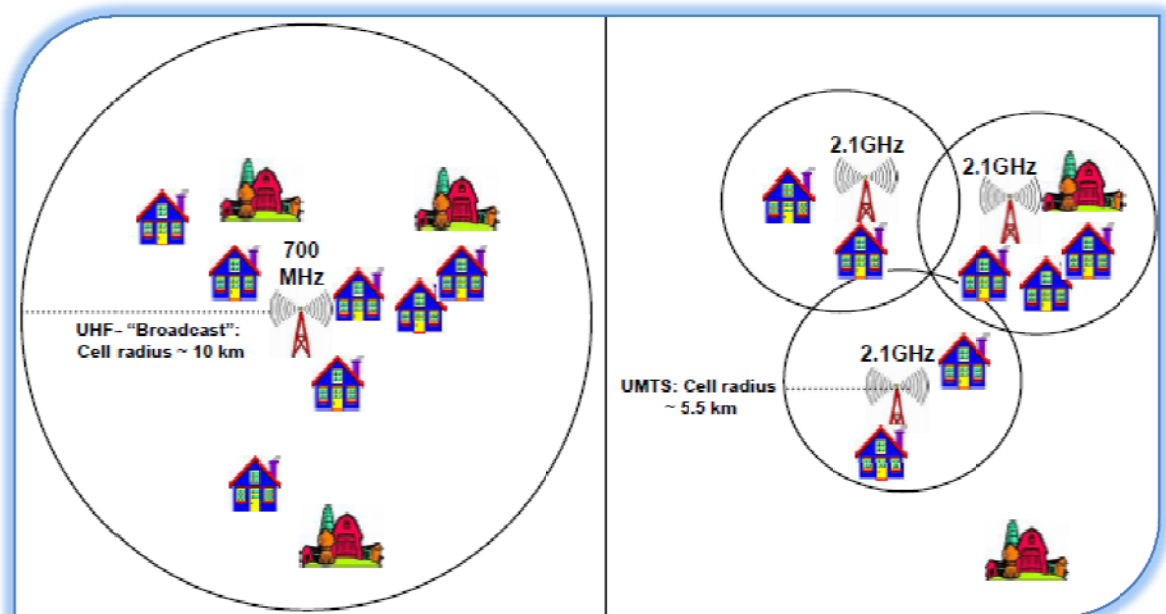


Figura 60: Menor impacto ambiental en la banda de 700MHz.

3.4.4 Reforma de los 900 MHz en GSM

La banda de los 900 MHz es la más armonizada hoy en día en el mundo de las telecomunicaciones inalámbricas. A esto se adiciona, que tienen el beneficio de un aumento de cobertura, siendo subsecuente a esto una reducción en los costos de despliegue de la red comparado a los despliegues de frecuencias altas. Además, los 900 MHz ofertan una mejor penetración para zonas rurales.

Empieza la migración del suscriptor desde GSM a UMTS en 150 países del mundo entero, consecuente muchos operadores están evaluando la potencialidad de despliegue de UMTS (HSPA/HSPA+) en esta banda de GSM900. Por otro lado, varios operadores están considerando mantener el espectro libre de GSM en LTE.

El despliegue de UMTS requiere un espectro totalmente completo de 5 MHz, adicionalmente, la disponibilidad de los dispositivos móviles capaces de soportar 900 MHz no se desarrollaron, sino hasta el 2009. En contraste con todo esto, LTE podrá ser desplegado en pequeñas bandas de espectro como 1.25 MHz proporcionando escalabilidad. Estos factores reducen el tiempo de despliegue UMTS (HSPA/HSPA+) en las banda de 900MHz.

Además, con la eficiencia del espectro mejorada, el despliegue de LTE en la banda de 900 MHz traería el beneficio de mayor capacidad y también proporcionará a los operadores ,la habilidad de desplegar una red de LTE con mayor cobertura y un costo mucho menor comparado con un espectro de frecuencia alto, proporciona así, una banda ancha móvil excelente.

Finalmente, desplegando LTE en 900MHz puede llevar al costo adicional y beneficios logísticos; de ser capaz de desplegar LTE a los sitios existentes de GSM, la cobertura de GSM/LTE en 900MHz sería similar.

No se prevé que los operadores en Europa cierren sus redes de GSM, ya que esta proporciona el backbone de comunicación de voz y el roaming global. El escenario más probable es que LTE en 900 MHz podría correr junto a GSM900 para un periodo de 5-10 años. Basado en la reciente resolución del Parlamento de EU que

ha endosado la reforma del espectro de GSM que permitiendo así, los despliegues potenciales de LTE en 900MHz.

3.4.5 Extensión de la banda IMT

WRC-2000 identifica tres adicionales bandas para IMT-2000 incluyendo 2500 – 2690MHz. Como un resultado iniciado en el 2008, 140 MHz de IMT2000 FDD de espectro expandido se asignará en Europa; 2500 – 2570 MHz para uplink y 2620 -2690 MHz para downlink.

Adicionalmente a 50 MHz (2570 MHz-2620 MHz) se asignarán como una banda TDD. Como un plan de banda común global, esta banda de espectro habilitará las economías de escala y el roaming global.

Austria, Noruega, Suecia y la U.K serán los primeros mercados europeos que subastarán el espectro de 2500 MHz que se usará para la banda ancha móvil.

<i>País</i>	<i>Espectro</i>	<i>Fecha</i>
Austria	2500 MHz - 2690 MHz	2008
Noruega	2500 MHz - 2690 MHz	Completo
Suecia	2500 MHz - 2690 MHz	2008
Reino Unido	2500 MHz - 2690 MHz	2008

Tabla 11: Extensiones de la banda IMT.

Es probable que LTE se desplegará en la porción de FDD de esta banda, debido a sus beneficios comparado a HSPA/ HSPA+. Además esta banda es solo la una de dos bandas que ofrecen la única oportunidad para el despliegue de LTE en el ancho de banda del espectro máximo proporcionando canales de 20MHz. En ese sentido, es principalmente esperado que los operadores móviles actuales intentaran afianzar la asignación máxima de 20MHz para que puedan soportar los requerimientos futuros de la banda ancha móvil.

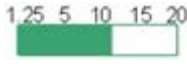
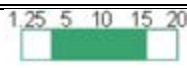
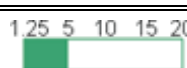
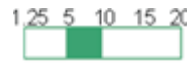
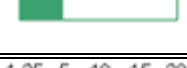
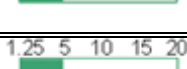
Banda	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Ancho de banda de portadora (MHz)	Comentarios
700 MHz	746 - 763	776 - 793		El dividendo digital de U.S. del espectro comercial se fijó para su activación en Enero 2008.
AWS	1710 - 1755	2110 - 2155		U.S completó acciones en Septiembre del 2006
Extensión IMT	2500 - 2570	2620 - 2690		Inicialmente el este de Europa ofertó la única oportunidad para el desarrollo de LTE, en canales por encima de los 20MHz
GSM 900	880 - 915	925 - 960		Reasignar este espectro para redes avanzadas, como LTE para adelante
Núcleo UMTS	1920 - 1980	2110 - 2170		Europa y Asia del Pacífico. Potencial sin usar portadoras WCDMA
GSM 1800	1710 - 1785	1805 - 1880		Europa y Asia del Pacífico. Reforma para utilizar bandas con GSM 900
PCS 1900	1850 - 1910	1930 - 1990		U.S. reforma después de 700MHz y AWS, el espectro es consumido
Celular 850	824 - 849	869 - 894		U.S. reforma después de 700MHz y AWS, el espectro es consumido
Dividendo Digital	470 - 854			Identifica a WRC-07

Tabla 12: Bandas candidatas para LTE.

3.4.6 Otras bandas candidatas

GSM 1800: El interés de América, Asia y algunos países en EMEA, especialmente para la reforma de existencia en el espectro GSM.

Banda UMTS 2.1GHz: El centro de la banda para EMEA es 3 – 3.5GHz, La mayoría de los operadores se otorgaron 2, 3 y en algunos casos 4 x 5MHz de portadora en este espectro. La mayoría de los operadores han usado sólo una banda hasta ahora, pero con el crecimiento de los datos móviles y la migración de

subscriptores a UMTS/HSPA; se vuelve algo incierto si los portadores estarán disponibles usar esta banda para los servicios de LTE en un futuro muy cercano.

PCS 1900: Alternativa a la banda núcleo, la cual no está disponible en EMEA. Los proveedores de servicio pueden reformar este espectro después de los nuevos 700 MHz y el espectro de AWS consumido.

Cellular 850: reformar este espectro después de los nuevos 700MHz y el espectro de AWS consumido.

3.4.7 Requerimientos del Espectro Futuro

ITU (ITU-R M.2078) proyecta los requerimientos del espectro globales para el desarrollo futuro de IMT-2000 y para IMT-Advanced. Los resultados afirman que la demanda del espectro adicional entre 500 MHz y 1 GHz será necesaria en todas las Regiones de ITU para el 2020.

Este informe de la ITU, expresa factores de crecimiento de tráfico de 2 a 3 para este año en Europa comparado a lo que se tiene en la actualidad. Está claro que las bandas existentes no serán para los servicios de IMT después del año 2015 y las bandas adicionales son necesarias.

Para entregar una verdadera experiencia de banda ancha, los grandes bloques de espectro necesitarán ser identificados y asignados.

Una de las metas de WRC-07 era identificar y armonizar, el espectro mundial, para habilitar los servicios de roaming globales. En esto, WRC-07 identificó las bandas de 450-470 MHz y 2300-2400 MHz para IMT (qué incluye IMT-2000 y " IMT-Advanced) en una base global. Además, WRC-07 identificó las porciones de 698-862 MHz y 3400-3600MHz. La identificación y el uso de estas bandas varían desde región-a-región y país-a-país como se detalla en la Figura 61.

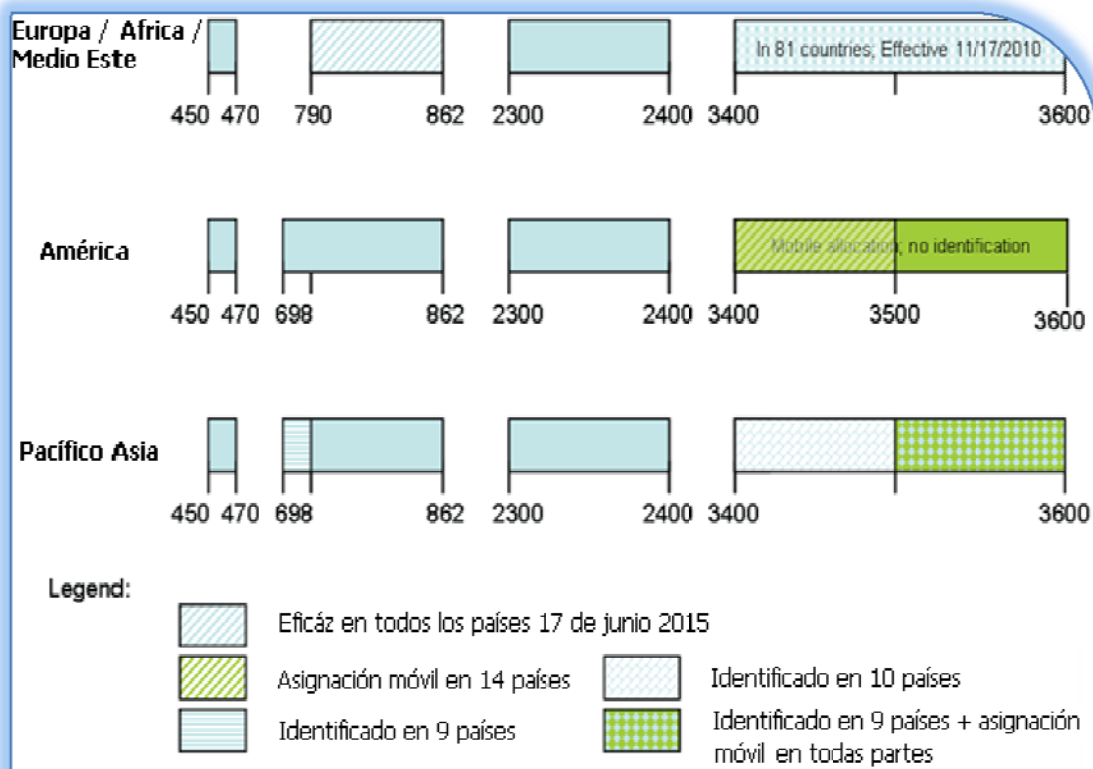


Figura 61: Identificaciones IMT WRC-07

WC-07 hizo los pasos positivos hacia el despliegue futuro del espectro disponible para LTE. En particular, WRC-07 empezó el proceso de emigrar el espectro de la transmisión en la banda de 698-806 MHz a las aplicaciones móviles. Los próximos pasos estarán trabajando con los países individuales para asegurar que el espectro es licenciado para los sistemas móviles a un nivel nacional o regional en todo el mundo.

CAPITULO IV

OPERATIVIDAD DEL SISTEMA LTE

4.1 Tendencias Actuales con Respecto a LTE

Para cuando la tercera generación empezó a formar parte de las diferentes operadoras celulares, ya se empezó a hablar de HSPA+, e incluso que para este 2010 ya se empezaría a trabajar con las pruebas para LTE, por lo que la industria se ha visto en el dilema de invertir en HSPA+ o pensar en una migración hacia LTE sin pasar por el uso de la tecnología anterior.

Así muchas de las empresas han tomado la opción de pensar en invertir directamente en la migración hacia LTE sobre todo para áreas con alta densidad poblacional y poder entrar en competencia con otras operadoras. Tomando en cuenta de que HSPA+ y LTE usan tecnologías diferentes o mejor dicho trabajan con sistemas de modulación diferentes siendo WCDMA y OFDM en el caso de LTE, y a pesar de que ambos trabajan con sistemas MIMO, es que muchos han preferido empezar con la migración directamente hacia LTE, como es el caso de Verizon Wireless, pues de acuerdo con los servicios adicionales con los que dispone LTE las prestaciones se dejan apreciar de manera más atractiva a los inversionistas de las diferentes operadoras celulares.



Actualmente en el Ecuador se puede decir que aún nos encontramos usando la 2.5 o 2.75G debido a que los equipos celulares aún están trabajando con sistemas EDGE, sin embargo hoy en día sobre todo las dos principales operadoras celulares de nuestro país intentan competir con las empresas proveedoras de Internet mediante el uso de equipos wireless, no hablamos de los teléfonos sino de los módems USB que se comercializan bajo la propaganda de 3.5 aunque trabajan con UMTS o HSPA, tecnología 3G ya que la 3.5G se considera a HSPA+. Vale la pena aclarar que Movistar en España si ha implementado HSPA+

Creemos que vale la pena poner a consideración que ya en diciembre del 2009 se adelantó el lanzamiento de LTE de manera comercial en los centros de Estocolmo – Suecia y en Oslo Noruega, bajo la responsabilidad de la empresa TeliaSonera, la misma que ha implementado en la infraestructura a Ericsson en Suecia y Huawei en Noruega, por otra parte los Módems que se han comercializado son Sumsung, con el inconveniente de que solo soportan LTE y ninguna de las tecnologías anteriores, por lo que la cobertura ha sido limitada a las zonas céntricas de las Capitales mencionadas y diversos centros comerciales, para un grupo de 450000 potenciales usuarios. Entre los servicios que se han propuesto brindar están TV móvil, Video Conferencia, Video juegos multijugador, videos y fotos de alta definición.

Hay que tomar en cuenta de que en estos países se ha dado el paso de HSPA hacia HSPA+ y ahora se está dando el salto a LTE, por lo que los costos de implementación no son tan grandes como los que posiblemente se esperen en caso de darse el salto directo de HSPA a LTE. Hay que recalcar que aunque los equipos de LTE dicen permitir un ahorro a las operadoras, el costo se da más que nada en el diseño de una red nueva pues como se ha visto las tecnologías de HSPA y HSPA+ son diferentes a la que maneja LTE.

En China, Norteamérica y diversos países de Europa también ya está presente LTE pues ya se trabaja en las pruebas respectivas previas a la comercialización, al punto que la empresa Huawei ha proyectado entre 400 y 450 millones de usuarios LTE para el 2015.

Por otro lado si se analiza realizar el salto directo de HSPA a LTE se podría apreciar que los usuarios tomarían con mayor aceptación el uso de equipos nuevos que les permitan obtener un acceso a diferentes aplicaciones en la red y sobre todo a una mayor velocidad a la que se encuentran acostumbrados a trabajar. Por esto es que las empresas como en nuestra América Latina ven que sería mejor terminar de explotar las redes y la tecnología que ahora se encuentran usando, y mientras recuperan las inversiones por implementación de HSPA ya trabajan en los diseños de redes LTE o como ya sucede en tres países donde se están realizando las pruebas piloto, siendo la empresa Entel PCS en Chile y Telefónica Movistar en Brasil y Argentina⁷.

WiMax 802.16e-2005 también es parte de la 4G debido a las mejoras por las que ha pasado y pasa de acuerdo con sus respectivas especificaciones como las que se podrían apreciar para WiMax Móvil, sin embargo como ya se había mencionado en el capítulo 2, LTE ha sido vista de mejor forma para la implementación en sistemas móviles debido a que justamente ha sido desarrollado desde un comienzo para el uso de redes móviles, y justamente entre los factores que han impactado negativamente el crecimiento de WiMAX en América Latina se destacan los atrasos en su desarrollo técnico y la falta de financiación producto de la crisis financiera global, entre otros.

Además las decisiones por parte de Alcatel Lucent y Nokia Siemens Networks de centrar sus esfuerzos en el desarrollo de LTE como tecnología para 4G impactan negativamente las posibilidades de que WiMAX pueda alcanzar economías de escala similares a las de LTE.

La tendencia será la disminución del interés por desarrollar servicios de banda ancha inalámbrica en bandas de 3,5GHz en la región, siendo el nuevo foco de atención las bandas de 700MHz y 2,5GHz. Los operadores que lanzaron servicios por medio de redes WiMAX en otras bandas no serían contempladas para un desarrollo de LTE a corto o mediano plazo. En otras palabras, por sus economías de escala LTE será para WiMAX lo que GSM ha sido para CDMA en América Latina.

⁷ *Telesemana.com, Edición 16/12/2009.*

Las promesas de LTE para entregar una sorprendente experiencia al usuario con banda ancha ultra rápida, con baja latencia, y a la vez una muy forzada proposición comercial para operar con un espectro flexible a banda ancha, facilidad de migración, y la habilidad de entregar bajos costos por bit de voz y servicio de datos. LTE puede interconectar con otras tecnologías de acceso, donde los operadores podrán converger su LTE y la banda ancha de la línea Fija conectada a una red de computadoras, creando la oportunidad de entregar a los subscriptores la verdadera comunicación sin costo.

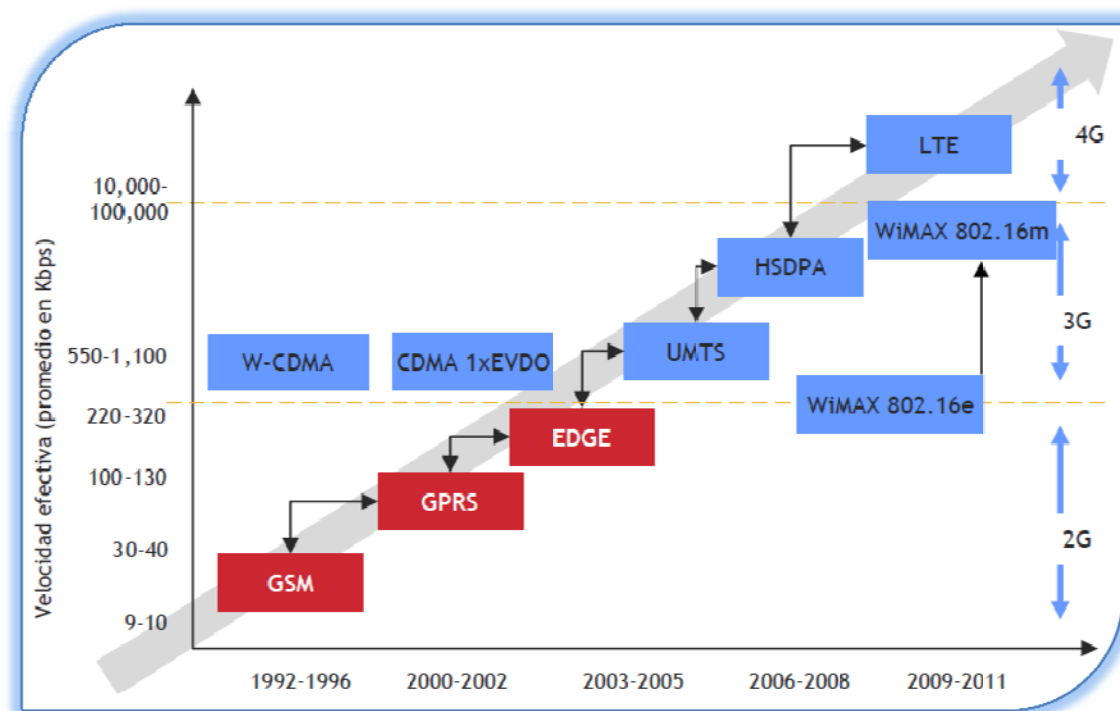


Figura 62: Evolución de Plataformas Inalámbricas

La radio frecuencia es un valioso y finito recurso y hoy en día no puede satisfacer la demanda. La necesidad para la optimización del espectro está empezando a manejarse por la penetrante convivencia de las comunicaciones móviles, y la necesidad de incrementar la comunicación combinada con la mejora de la calidad de servicio y los costos decrecientes de dispositivos inalámbricos y servicios.

4.1.1 Perspectiva de la industria y Tendencias

La industria inalámbrica ha visto el crecimiento explosivo en la demanda tanto en el servicio de datos y voz durante los últimos años. El número de subscriptores de telefonía móvil ha crecido considerablemente y los portadores han estado actualizando sus redes con las tecnologías más avanzadas para medir el crecimiento de la demanda, y poder brindar a sus clientes, un alto servicio en la calidad de voz e innovación en los servicios de datos.

Históricamente, el espectro se ha regulado duramente. Esto está cambiando y la regulación está poniéndose más flexible o neutral. Los proveedores de servicio y los vendedores de equipos están manejando técnicas de innovación y las últimas tecnologías inalámbricas, que muestran una ganancia significativa en la eficiencia del espectro usado proporcionando más capacidad fuera de un ancho de banda dado.

Con relación al lanzamiento masivo de terminales de usuario, los módems y las tarjetas USB estarán disponibles en este año; las notebooks con LTE incorporado y los terminales portátiles sólo para datos, en el 2011; y los terminales portátiles para llamadas de voz, en el 2012⁸.

4.1.2 Retos Para la Migración Hacia LTE

Para la migración a LTE hay que tomar en cuenta sobre todo en países en que la penetración celular es superior al 100%, donde las expectativas de las velocidades a cubrir con la banda ancha móvil son bastante elevadas. Por otra parte hay que tomar en cuenta de que a un operador de banda ancha móvil se le puede presentar un desbalance entre la relación de la cantidad de información con los ingresos que estos tráficos de datos le pueden generar, debido a que la relación ingreso/costo x bit transmitido es menor en la banda ancha móvil que en la fija y la mejor herramienta para hacer eficiente este costo, es la generación de contenido y valor agregado en las redes, que tiene como consecuencia el desafío de cambiar radicalmente la cadena de valor, la estructura comercial, el modelos de negocio y la forma de mercadeo de los servicios.

⁸ Artículo Web, *LTE va camino de lanzamiento*

Entre otros de los aspectos que las operadoras que aún no han pensado en la implementación de LTE es el de asumir el diseño de un backhaul (infraestructura de red que conecta todas las radios base con el resto de la red) que soporte una mayor capacidad de tráfico, pues los ambientes IP-Móvil manejan capacidades de ancho de banda mayores, donde el verdadero problema está en cómo llevar estas capacidades con la mínima reventa hacia el usuario.

De acuerdo con lo descrito, las redes de 4G tienen como principal característica soportar simultáneamente múltiples servicios sobre una red convergente y garantizar un servicio confiable y flexible, entonces hay que tomar en cuenta de que la movilidad y portabilidad en estos sistemas permitan que estas características de 4G lleguen a cumplirse verificando que el uso de IPV6 es necesario para el funcionamiento de las redes IP actuales y futuras. La implementación de IPV6 y como llegue hasta el equipo del usuario jugará un papel importante en el éxito de la migración.

4.2 Recomendaciones Para la Migración hacia LTE.

Si bien es cierto que se ha mencionado que ya en diferentes partes del mundo se han realizado anuncios de que LTE es la tecnología preferida para el futuro de las redes inalámbricas móviles, cabe recalcar las diferentes migraciones hacia tecnologías superiores por las que han pasado las redes celulares, han tomando varios periodos de tiempo claramente medidos en años como por ejemplo, el primer lanzamiento comercial de UMTS en Norte América que ocurrió en julio 2004⁹ y sólo después de cuatro años, a finales de 2008, el despliegue de las estaciones base UMTS fueron superiores a las de GSM.

Por tanto los operadores que deseen desplegar LTE deberán considerar fuertemente la implementación de LTE sobre un medio ambiente que aún trabaja con redes de 2G y 3G, por lo que será necesario el uso de dispositivos multi tecnología que puedan lidiar con las redes existentes y con las nuevas.

⁹ AT&T Wireless Launches Commercial 3G Services Powered by Nortel Networks, UMTS Forum, 20 July 2004.

Así se puede apreciar lo que normalmente se realiza cuando un operador espera evolucionar hacia una nueva tecnología.

- Sólo servicios de datos sobre LTE sin servicios de voz en equipos LTE
- Sólo servicios de datos en LTE con voz 2G-3G en el mismo equipo LTE
- Servicios de Voz y Datos sobre LTE.

4.2.1 Estrategia de Operador – Solo Datos

Con el objetivo de no arriesgarse en el despliegue de LTE se puede incorporar inicialmente a la red existente y de una forma lógica sólo un servicio de datos con LTE brindando una banda ancha móvil de gran velocidad. Así sería posible desplegar de manera rápida LTE al no tener acceso de voz, tomando en cuenta que el operador puede ganar experiencia en el manejo de LTE y posteriormente darle más complejidad a su despliegue de LTE.

Hay que tomar en cuenta que el servicio de sólo datos implica darle al usuario los equipos necesarios para que pueda acceder a esta banda ancha móvil de gran velocidad, como podría ser netbooks, tarjetas aéreas y/o dispositivos similares.

Se tiene que tomar en cuenta que el sistema móvil debe coexistir con la red de datos de 2G-3G, donde los primeros equipos deberían soportar GPRS/EDGE y/o UMTS-HSPA.

En un principio la cobertura de LTE sería aún limitada, entonces los operadores deberían permitir que la movilidad se extienda dentro de las áreas de cobertura que se encontrarían manejando actualmente.

4.2.2 Estrategia de Operador – Voz sobre 2G-3G y datos sobre LTE

Obviamente la voz aún seguirá siendo un elemento de rédito en los operadores móviles, pues la mayor parte de sus subscriptores usan los servicios de voz, por lo que para los operadoras que desean desarrollar el despliegue de LTE podrían ofrecer servicios de voz y ofertas de datos a futuro, es algo similar a lo que



se viene desarrollando en el país con la 3G. Es por eso la necesidad de equipos con soporte de 2G y 3G, así se aproveche la capacidad que LTE tiene para usar el acceso de otras tecnologías. Así al ofrecer equipos LTE incluso para usuarios que no deseen aún acceder a una banda ancha móvil proporcionada por LTE, tenerlos de cierta forma, preparados para una futura actualización de la red de datos.

Los Operadores que desean desplegar los datos de LTE con GSM-UMTS necesitan llevar a cabo la solución de CS-Fallback y de la interface de SGs correspondiente documento en 3GPP TS 23.272.

4.2.3 Estrategia de Operador – Voz y datos sobre LTE

También se puede dar el caso de que un operador decida saltar directamente a la tercera estrategia, mientras ofrece todo, voz y datos en LTE sin desplegar las primeras dos opciones en ningún momento.

Como se ha hablado, LTE es una tecnología de acceso inalámbrico de “todo sobre IP”, por lo que LTE no especifica en la red el centro de servicios para voz sino confía en otras tecnologías de red entregar esta funcionalidad. Así el Release8 de 3GPP proporciona normas y mecanismos como CS-Fallback, Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC) Handover, etc. LTE pueden utilizar sistemas para actuar recíprocamente con las redes de centro de voz existentes, necesarios para un servicio de voz exitosa sobre LTE.

Entonces puede diferirse el uso de la voz sobre LTE mientras estos servicios maduran como VoLTE, y la migración de suscriptores de 2G-3G a LTE ocurra. Por esto es que se esperan uniones híbridas con la interacción entre LTE y 2G-3G para corto plazo.

4.2.3.1 VoLGA

Aunque aún se esté desarrollando, se piensa que la Voz sobre LTE vía Acceso Genérico (VoLGA) proporcionará la capacidad de entregar voz y servicios de mensajería sobre LTE a los operadores móviles que accedan a redes basadas en la existente Red de Acceso Genérica estándar de 3GPP (GAN). Si se dispone de un

estándar sólido 3GPP GAN para GSM, UMTS y LTE, se le permitiría a VoLGA tener la capacidad para proporcionarles un set de servicios de voz sólidos, SMS y otros servicios conmutados a los subscriptores móviles como la transición entre 3GPP y tecnologías de acceso. Así VoLGA puede ser la solución para el desarrollo de la voz sobre LTE, pero por ahora aún es incierto si la industria como tal, llegó a darle el 100% de confianza para su desarrollo. “Sin embargo un factor de éxito importante para los servicios inalámbricos, será que la industria tenga como punto en común tomar en cuenta los servicios de voz en LTE”¹⁰.

4.2.3.2 CS-Fallback

Se basa en la red 2G-3G para proporcionar servicios de voz. Para implementar, los operadores deben ofrecer dispositivos CS-Fallback y mejorar sus MSCs para apoyar la interfaz SGS. La interfaz de SGS proporciona una conexión lógica entre el 2G-3G MSC y MME LTE. En la interfaz se realiza entre el 2G-3G de dominio MSC CS y el dominio de paquetes SGSN 2G-3G.

Los procedimientos de CS-Fallback se pueden agrupar en tres categorías:

1. Gestión de la Movilidad
2. Administración del origen de llamadas y de terminación
3. Otros Servicios

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

Con la excepción de posibles despliegues limitados Volga, se espera que la mayoría de los operadores utilicen las soluciones basadas en IMS para proporcionar servicios de voz sobre LTE.

4.2.4 IMS para Voz sobre LTE

IMS tiene tres principios centrales:

¹⁰ 3G-Americas; *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE y 2G-3G Interworking Functions*; Febrero 2010, pag9.



- Los servicios multimedia usan SIP como protocolo de control de sesión.
- Lógica Multimedia servicio se ejecuta en la red del usuario dentro de su casa.
- El núcleo de red IMS estaba destinado a ser acceso agnóstico. Sin embargo, la interacción con las tecnologías existentes requiere la funcionalidad de acceso específico se añadirán a la red IMS.

4.2.4.1 Handover SRVCC para la continuidad de Sesión

Handover SRVCC es una capacidad de transición de las redes que implementen los servicios de voz usando IMS, pero que carecen de cobertura LTE completa. El Handover SRVCC permite a la red 2G-3G proporcionar una ruta llamada de portador cuando un usuario se mueve fuera del área de cobertura LTE.

El principal requisito para Handover SRVCC es ofrecer continuidad del servicio, o al menos continuidad de la sesión. Dicha continuidad de servicio quiere decir que después de un período de sesiones en curso se haya trasladado a la red 2G-3G, y todos los servicios sigan funcionando de una manera que sea transparente para el usuario. La continuidad de sesión significa que todas las sesiones se conservan durante el traspaso, aunque algunos de los servicios se vean comprometidos.

4.2.4.2 Servicios de voz, transparencia, paridad

SRVCC permite una función más valor añadido, denominado Servicios centralizados IMS (ICS), que es un estándar 3GPP. Con ICS 3GPP, todos los servicios de voz se centralizan en IMS, aún cuando el abonado se sirve por 2G o 3G. 3GPP ICS es una capacidad opcional.

Cuando los servicios de planificación centralizada y la continuidad de servicio entre LTE y las redes existentes de 2G-3G, es fundamental tener en cuenta toda la gama de servicios que actualmente se ofrecen y el trabajo necesario para replicar las capacidades de las redes básicas existentes.

Un MSC, implementa muchos servicios para los cuales no se requiere suscripción; como el número de llamadas por voz, portabilidad del número local (LNP), y prioridad de Servicio Wireless (WPS). Tonos y anuncios son ampliamente



utilizados para proporcionar información de progreso durante los servicios, tales como transferencia de llamadas, llamada en espera y llamada en espera.

Cuando IMS brinda un servicio que ya existe en 2G-3G, debe proporcionar la transparencia de servicios, o al menos la paridad de servicios. La transparencia de servicio, representa que la nueva versión de un servicio ofrezca la misma experiencia al usuario.

Servicio de paridad significa que la nueva versión de un servicio proporcione un conjunto comparable de las capacidades, pero la experiencia del usuario es diferente y las capacidades de algunos pueden estar ausentes.

IMS, SIP y VoIP representan un cambio significativo a la red de voz. IMS especifica un gran número de interfaces. Aunque gran número de interfaces IMS abiertas SIP proporciona una gran flexibilidad para redes de múltiples proveedores, sino que también introduce un nuevo nivel de complejidad en la red principal.

Los beneficios de la implementación de IMS con las agrupaciones de funciones incluyen:

- Mejorar el capital, el mantenimiento y la eficiencia operativa
- Simplificación de ingeniería de red y de suministro
- Mejorar la mensajería de latencia
- La reducción de la huella

La tecnología GSM ha sido un enorme éxito en todo el mundo, atendiendo a más de 3 mil millones de suscriptores, con una base de infraestructura ya instalada. Para los operadores GSM, es una gran ventaja la utilización de la base de abonados GSM, el espectro, la cobertura y la infraestructura de las redes ya existentes, de esta forma asegurarán la continuidad en la rentabilidad.

La interfaz de radio LTE se espera que mejore sustancialmente el rendimiento de los usuarios finales, la eficiencia espectral, la capacidad y la arquitectura IP reducirá aún más la latencia del usuario.

LTE se puede desplegar en una amplia selección de bandas del espectro incluidas las bandas GSM existentes y debido a la flexibilidad del espectro de ancho de banda de LTE (que van desde 1.4MHz a 20MHz), se ofrece a los operadores GSM una solución práctica de tener progresivamente su espectro existente.

En comparación, UMTS / HSPA, con su asignación fija de 5 MHz de ancho de banda es más desafiante. En los mercados emergentes, los operadores GSM que no han desplegado servicios de 3G pueden ahora optar por dejar atrás la 3G y el despliegue de LTE directamente.

Por ejemplo una solución interesante es la que Motorola proporciona con una ruta de migración basada en el Motorola GSM Horizon II BTS (equipo Motorola)) para apoyar tanto GSM y la funcionalidad de acceso LTE en una única estación base.

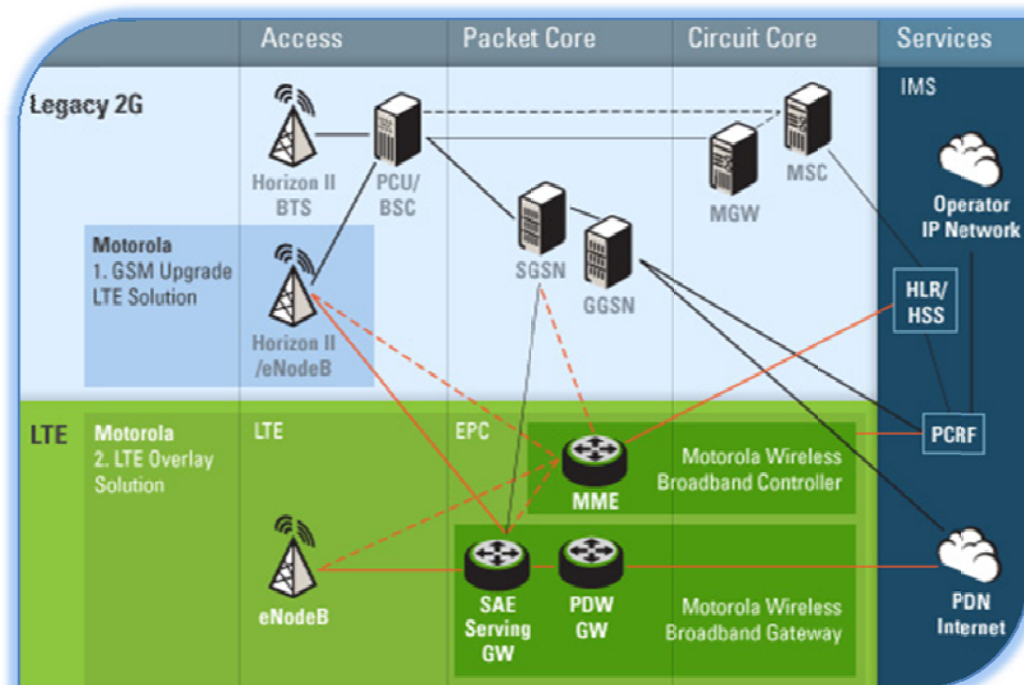


Figura 63: Solución Motorola. Evolución GSM a LTE

Para los operadores con espectro adicional, se podría buscar una empresa proveedora que pueda proporcionar una completa red LTE de superposición para trabajar en conjunto con la base GSM instalada.

4.2.5 Migración de CDMA a LTE

Si bien hay varias soluciones OFDM que se evalúan, se espera que muchos operadores CDMA2000 quieran aprovechar de los beneficios de LTE, y optar por migrar a lo largo de la ruta de acceso de estándares 3GPP.

La migración de proveedores de servicios 3GPP2 para LTE consiste en la superposición de los elementos del CPE (MME, SGW y PDN GW) y la posibilidad de reutilizar la existente EV-DO BTS, y el marco para implementar los componentes EUTRAN LTE.

La migración de los proveedores de servicios 3GPP2 para EUTRAN de LTE implica cambios a la red 1x/DO-A, permitiendo la interoperabilidad sin fisuras, y el traspaso de servicios entre las dos tecnologías.

Tomando nuevamente como ejemplo la solución que Motorola presenta, se tiene una evolución sencilla para el mundo de la banda ancha móvil para los operadores 3GPP2, asegurando la mejor reutilización de los elementos de la red existente con la siguiente infraestructura de red.

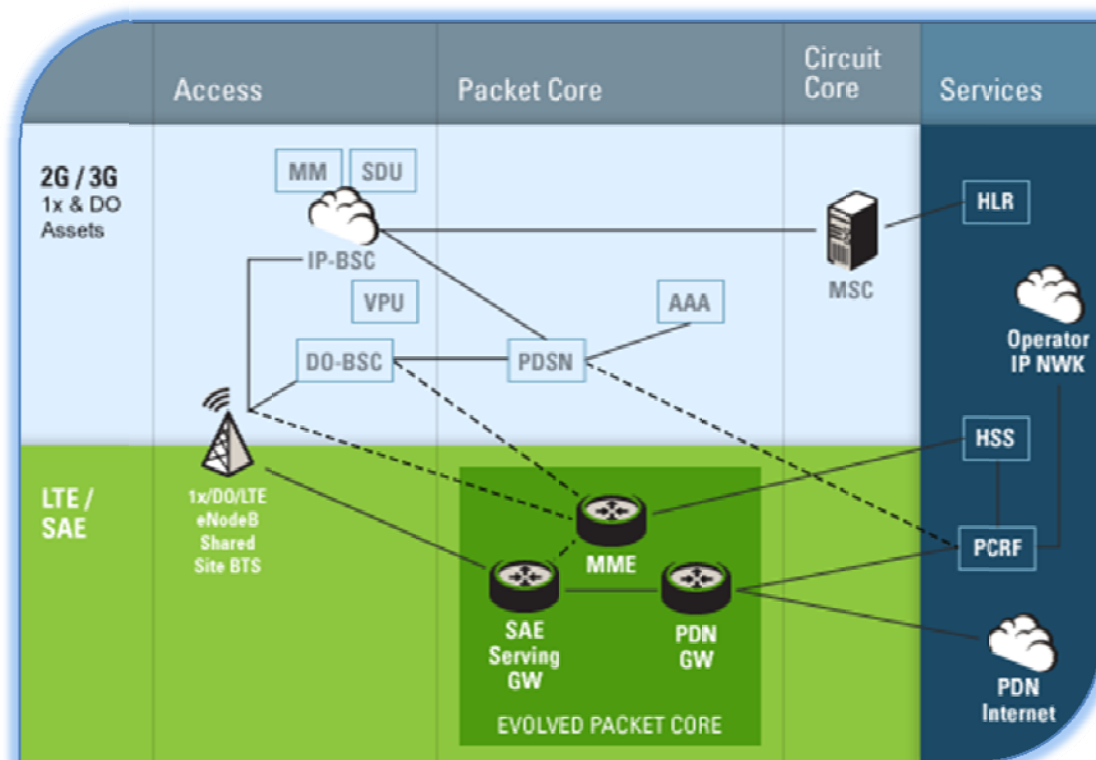


Figura 63: Solución Motorola. Evolución CDMA a LTE

4.2.6 Tarifa plana de LTE para obtener ventajas competitivas

Un factor clave para la adopción de banda ancha móvil es la introducción de datos con tarifa plana. Por un margen considerable, los consumidores prefieren el uso mundial de precios entregando un precio muy atractivo a las tarifas, siendo clave para la adopción del mercado de masas de la banda ancha inalámbrica.

El dilema del operador es la determinación de la tarifa óptima, la fijación de precios agresiva aumentará la captación de abonados y, potencialmente, incrementar la cuota de mercado, pero la otra cara de la moneda es que la red puede congestionarse y ser incapaz de brindar un servicio de calidad acorde a la experiencia del usuario lo que implica la realización de costosas inversiones que brinden el respaldo suficiente para un servicio de calidad.

El legado de las tecnologías 3.5G pueden tener un precio para satisfacer las necesidades del segmento de banda ancha móvil de los primeros en adoptar, pero para competir en el segmento de mercado de masas, las tarifas más agresivas serán necesarias. Una inspección más cercana de la sensibilidad de precios al consumidor y la proyección de la capacidad de datos, indican que la capacidad de transmisión de datos y la rentabilidad de 4G LTE son mucho más altas que sus predecesores. Con 4G LTE, el operador puede lograr una ventaja sostenible frente a los operadores con tecnologías 3.5G.

4.2.7 Consideraciones Generales para el Espectro.

Hay que tomar en cuenta de que el espectro es un elemento valioso dentro de las comunicaciones, en este caso de las móviles, y que al tratar de ofrecer una mayor capacidad de servicios a un número superior de abonados, la adquisición y disponibilidad del espectro con licencia para su uso, se muestra como una barrera para las empresas operadoras, debido a que también se incrementan las disputas por la obtención de un espectro mayor. Así puede tomarse como solución la reordenación de los espectros existentes y asignar un nuevo espectro para LTE, sin embargo esta reordenación es muy complicada debido a que dicho espectro (telefonía móvil sobre todo) se encuentra en uso.



Tomando en cuenta que LTE presenta un ancho de banda escalable, donde se podría tomar una parte del espectro de GSM con el objetivo de reordenarlo para LTE. Con una reordenación de 1,4MHz (7 timeslots) de GSM, se puede implementar una línea de base del sistema LTE, que aunque no permita tener todos los beneficios de LTE, permitiría una migración escalable y factible. Tomando en cuenta que sería necesario de la creación de una radio multi-banda debido a que los sistemas celulares con forme van creciendo van necesitando mayores bandas de frecuencias.

4.2.8 Compartimiento de Antenas y Reuso de Equipos.

Siempre es preferible instalar antenas separadas y separar en trayectorias independientes de RF durante la instalación de nuevos servicios, debido a que así se puede maximizar el rendimiento del sistema, reducir al mínimo el impacto sobre los sistemas existentes, eliminar la interacción durante la optimización de la red, reducir al mínimo las interferencias y simplifica Operaciones de Administración y Gestión (OA & M).

Mecanismos para la reutilización del núcleo vienen en muchas formas diferentes y son altamente dependientes de proveedores.

Con los cambios tecnológicos de mecánica estructural y análisis de carga de viento, puede analizarse la adición de estas tecnologías a las estructuras de existentes antes de colocar nuevas líneas RF y antenas.

Hay que tomar en cuenta el rendimiento al compartir antenas:

- ***Optimización de Redes:*** Los sistemas que comparten antenas también comparten el patrón de la antena y la cobertura, lo que significa que la mudanza de la inclinación o el azimut de la antena para optimizar un sistema afectan al régimen común.
- ***Figura de ruido en la Trayectoria de Recepción:*** Los sistemas que comparten trayectorias de recepción entre múltiples BTS implicará la existencia de un cierto aumento en la ruta de recepción figura de ruido (NF), así como cierta degradación en la ruta de recepción de entrada del 3er Punto



de Intercepción (IIP3.) Normalmente IIP3 es cambiada de tal manera que NF es degradada por no más de 1 dB.

- **Ruta de transmisión Pérdida de Inserción:** La combinación de la transmisión de señales normalmente causará un aumento de pérdida en el trayecto de menos de 1dB debido a la pérdida de inserción de los combinadores de filtro y el cableado en el gabinete. Esto generalmente se consideran aceptables para obtener los beneficios de compartir antena.

4.3 Estrategias de Actualización

La "tormenta perfecta" de la banda ancha móvil se está gestando y cobrando impulso generalizado de las implementaciones de 3.5G y plana de datos con tarifa y la disponibilidad de Internet móviles ambiente.

Los operadores celulares en todo el mundo están reportando un crecimiento significativo del tráfico de banda ancha en sus redes de datos móviles, ya que algunos experimentan tres dígitos de crecimiento interanual.

Cuando estos factores se combinan con la unidad inevitable hacia la adopción masiva del mercado de banda ancha móvil, el resultado es una explosión de datos de tráfico que no es directamente proporcional al crecimiento de los ingresos relacionados. Algunos operadores agotará la capacidad de sus redes de legado y el espectro durante el 2009 - 2012 calendario

La red 3.5G HSPA implementaciones han sido fundamentales para la adopción generalizada de acceso móvil a Internet de banda ancha.

Después de haber logrado este éxito notable, los operadores están considerando las rutas de actualización necesarios para satisfacer la creciente demanda de redes y escénicas.

Continúa el éxito demanda creciente capacidad de los consumidores del mercado de masas para tener una gran experiencia de banda ancha móvil cuando y donde quiera, y en cualquier condición.



Figura 64: Demanda de Tráfico.

4.3.1 Más sobre la Planificación para la introducción de LTE

Los actuales escenarios de Mercado presentan retos claves para la evolución de LTE. Verizon y AT&T son los grandes ganadores que subastaron el espectro de los 700 MHz, y tienen agresivos planes de despliegue en Norte América para LTE en dicha banda.

Ha existido un acceso abierto a las ganancias móviles, es decir se dio un éxito en el mercado por la llegada del iPhone 3G. AT&T lanza HSPA, continuando así las guerras de marketing sobre la alta velocidad de datos.

También se ha dado una mayor atención en la reducción de CAPEX y OPEX, y pues toda esta planeación se ha convertido en una consideración importante para que los operadores puedan introducir a LTE en sus mercados.

Desafíos Claves en la migración

- Preocupaciones del Operador:
 - Evolución efectiva del costo a LTE & IMS



- Eficiencia Espectral
 - Calidad de Servicio
 - Rendimiento de la cobertura Rural
 - Eficiencia de CAPEX y OPEX
- La evolución a LTE. Gestión de los problemas
- Tecnología de Gestión de riesgo
 - Maximizar la utilización del espectro
 - Mantenimiento de las redes y Servicio de Calidad Durante la Transición.
 - Gestión de Gastos de Capital
 - Control de Costos Backhaul
 - El desarrollo de un ecosistema de dispositivos

Se minimiza el costo por bit de datos para soportar la rentabilidad en un entorno de acceso abierto.

4.4 Servicios adicionales Ofertados en LTE

Si bien es cierto que una tecnología completamente basada en una red IP, muestra que LTE permitirá la expansión de la experiencia de Internet en dispositivos móviles y ofrecerá contenidos multimedia en la pantalla que uno elija.

Los servicios adicionales de LTE demuestran diversos beneficios tanto para usuarios como operadores dentro de diversos aspectos por lo que pensamos que sería mejor apreciar estos servicios adicionales al exponer claramente dichos beneficios.

Con respecto al uso del espectro LTE permite una operación compatible en diferentes bandas, y aunque en muchos países es difícil encontrar prácticamente consecutivos un canal de subida y un canal de bajada, LTE con su variante tecnológica, LTE TDD, admite combinar simultáneamente y de modo asimétrico ambos canales, subida y bajada, incrementando con ello la eficiencia en el uso del espectro.

LTE promete dar más throughputs y reducir la latencia, reduciendo así, el costo por servicio debido a la exigente demanda de los subscriptores.

4.4.1 Beneficios¹¹

4.4.1.1 En la Convergencia de las Redes Celulares Móviles y Redes Inalámbricas.

Presenta beneficios tanto para las operadoras como para los usuarios así tenemos:

➤ Beneficios a las Operadoras

- Anchos de Banda Superiores.
- Costo de redes y equipos más bajos.
- Alta capacidad y perfeccionamiento de QoS.
- Ingresos Superiores.

➤ Beneficios a los Usuarios

- Acceso a servicios multimedia con bajo costo y cuando sea necesario.
- Roaming entre redes.

4.4.1.2 En la Convergencia de las Redes Celulares Móviles y Broadcasting.

Se proporciona un ancho de banda complementario en downlink en un ambiente vehicular para soportar el tráfico multimedia basado en IP que es substancialmente asimétrico.

4.4.2 Convergencia de beneficios

- Los broadcasters se beneficiarán desde el uso de un sistema de celular móvil para adaptar el contenido de servicios multimedia más rápidos.
- Los operadores celulares se beneficiarán en ofrecerles a sus clientes un rango de nueva banda ancha para servicios de multimedia en un ambiente vehicular.
- Los usuarios serán beneficiados en acceder rápidamente a un rango de ancho de banda para servicios multimedia a un bajo costo y con un QoS razonable.

¹¹ 4G Mobile Communication System; Subrat Suman; 2008; Cochin University of Science & Technology

- Escaneo del sistema inalámbrico Disponible donde Un terminal multimodo se engancha a la red WLAN y examina los sistemas disponibles. Se puede descargar un software conveniente, manual o automáticamente.

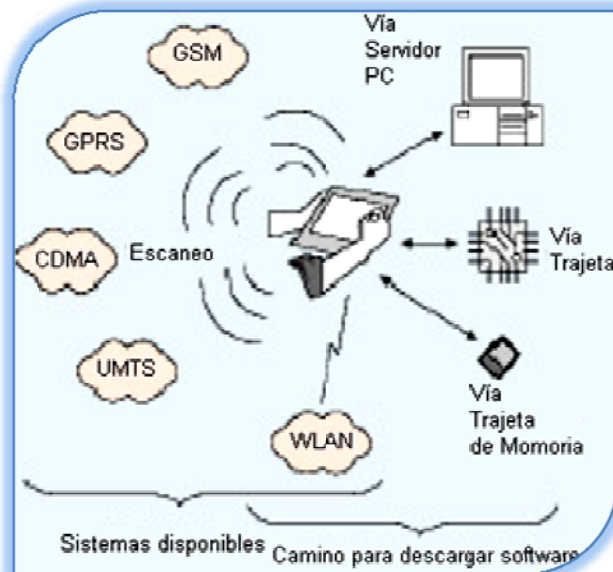


Figura 65: Descubrimiento de Sistemas Inalámbricos

4.4.3 Desafíos de una Tecnología Reconfigurable

- Para usar la gran variedad de servicios y las redes inalámbricas, los terminales multimodo son esenciales, ya que se pueden adaptar diferentes redes inalámbricas siendo reconfigurables.
- Esto elimina la necesidad de usar múltiples terminales (o múltiples componentes de hardware en un terminal).
- El mejor camino de implementar usuarios con terminales multimodo es adoptar el software de radio.

4.4.3.1 Beneficios de una Tecnología Reconfigurable

➤ A Usuarios

- Seleccionan redes dependiendo del servicio requerido y el costo.
- Conectado a cualquier red – Worldwide roaming.
- Acceso a nuevos servicios.

➤ **A Operadores**

- Responde a las variaciones en la demanda del tráfico (balanceo de cargas)
- Incorpora servicios excelentes y en mejora.
- La corrección de problemas de software y actualización de terminales.
- Rápido desarrollo de nuevos servicios personalizados.

➤ **A Empresas**

- Una sola plataforma para todos los mercados.
- Flexibilidad en crecimiento y eficiente producción.

➤ **A la Movilidad Personal**

- En adición a la movilidad del terminal, la movilidad personal es una preocupación en la administración de movilidad.
- La movilidad personal se concentra en el movimiento de usuarios en lugar de los terminales de los usuarios, e involucra la provisión de comunicaciones personales.

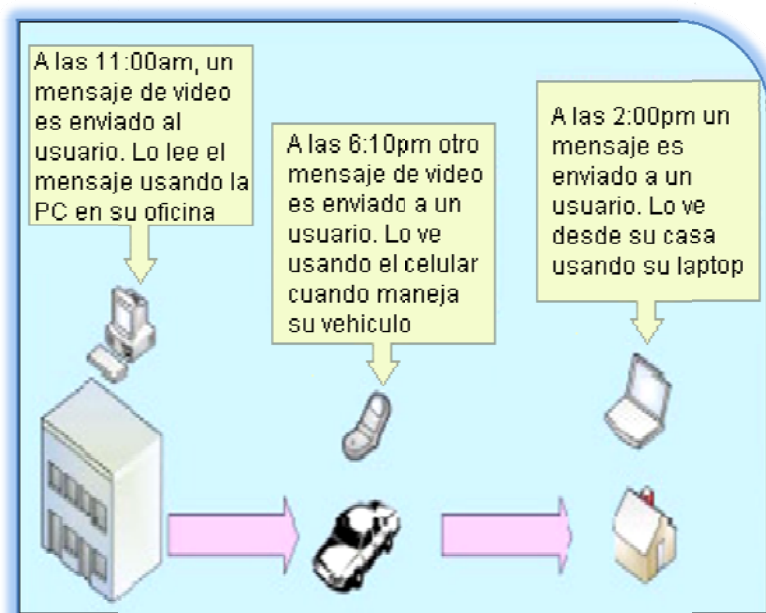


Figura 66: Movilidad Personal



4.4.4 Aplicaciones

- **Presencia Virtual:** Es decir que 4G provee al usuario de un servicio en todo momento, incluso si el usuario está fuera del área de cobertura.
- **Aplicaciones de Tele-Geoprocessing:** Ésta es una combinación de GIS(Sistema de Información Geográfica) y GPS (Sistema de Posicionamiento Global) en que un usuario puede conseguir su posición preguntando.
- **Tele-Medicina y Educación:** Permitirá supervisión de pacientes de manera remota, y para personas que tengan en una vida de educación larga, se proporciona una oportunidad buena para la educación virtual.
- **Detección de Crisis:** Los desastres naturales pueden causar que los sistemas de comunicación se caigan y actualmente esto podría tomar días o 7 semanas para restaurar el sistema. Pero se espera que se restaure tal crisis en tan solo unas horas.
- **Multimedia – Servicios de Video:** La aplicación que más llama la atención, donde los servicios multimedios serán eficientes a tasas de datos muy altas, y servicios de video en dos tipos: Servicios de Video bursting y streaming.
 - El Servicio Straming cuando se envía un flujo de datos de video si un usuario requiere los servicios en tiempo real donde el servidor entrega el video a una tasa continua de datos.
 - Bursting es básicamente la descarga de un archivo usando un buffer y esto se hace que la tasa de datos sea más alta, tomando ventaja de todo el ancho de banda disponible

A continuación se muestra la Tabla 13 con los servicios de LTE y los compara con las características con las que cuentan los sistemas actuales.

Categoría de Servicios	Ambiente Actual (Lo que hay hasta 3G)	Ambiente LTE
Voz	Audio en tiempo Real	VoIP, Alta calidad de Video Conferencia
Mensajería	SMS, MMS, e-mails de baja prioridad	Mensajes de Fotos, IM, e-mail móvil, mensajería de video
Navegador	Acceso a información en línea repara para que los usuarios paguen tasas normales de red. Actualmente limitado a WAP que navega sobre GPRS y redes 3G	Navegador excelente y rápido, uploading para satisfacer la gestión de sitios de redes sociales.
Información Pagada	Para los usuarios que pagan por encima de los cargos normales de la red. Información principalmente basada en texto	Periódicos en línea. Alta calidad de flujo de audio
Personalización	Los ringtones son predominantes, también incluye screensavers y ring backs	Realtones (las grabaciones originales de artistas) personalización de sitios web móviles
Juegos	Descarga de Juegos y Juegos en línea	Una consistente experiencia de juego en línea
TV/Video Sobre Demanda	Flujo de video descargable	Servicios de TV broadcast. Verdadera demanda de TV, alta calidad de video
Música	Descarga de pista completa y servicios de radio analógicos.	Descarga y almacenamiento de música de alta calidad
Volumen de Mensajería y Cruce de Información	Mensajería del par-a-par que usa tercera fiesta satisfecho así como la interacción con otros medios de comunicación.	Mensajería e interacción con otros medios de comunicación.
M-Comercio	Comisión en las transacciones (incluso el juego por dinero) y medios del pago emprendidos sobre las redes móviles.	Los micro teléfonos móviles como dispositivos del pago, con detalles de pago llevados sobre redes de alta velocidad habilitados para la realización rápida de transacciones
Red de datos Móvil	Acceso a redes internas corporativas y bases de datos	Transferencia de archivos, aplicaciones de negocios, aplicaciones compartidas, redes móviles internas y externas

Tabla 13: Servicios Adicionales.

CAPITULO V

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

5.1 Visión Técnica

A lo largo del desarrollo de esta monografía, principalmente en el capítulo 4 se ha hablado acerca de las grandes prestaciones que LTE puede brindar sobre todo en acceso a Internet, donde el ancho de banda que se maneje es mucho mayor a las ofertadas por generaciones anteriores, en gran parte por las técnicas de modulaciones como OFDM y entre otras técnicas complementarias como los arreglos de antenas MIMO y las formas en que MIMO puede ser usado para la mejora de los sistemas de antenas para la descarga y la subida de información.

Las mejoras en las técnicas de modulación, es decir pasar de sistemas que manejan modulaciones CDMA a OFDM, no solamente implica trabajar con el espectro en tiempo o en frecuencia, sino que se permite evitar de gran forma el efecto de la dispersión del retardo, sin que importe el ancho de banda con el que se esté trabajando.

OFDM principalmente presenta problemas con respecto a los amplificadores de potencia pues cuando la señal de entrada es relativamente alta, estos dispositivos dejan de funcionar de forma lineal (funcionamiento ideal), esto puede producir errores en la señal transmitida e interferencias en las bandas adyacentes.

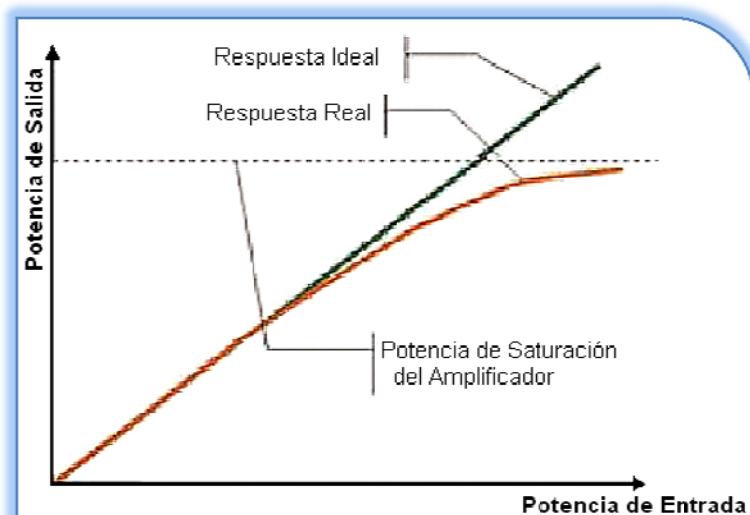


Figura 67: Comportamiento de Amplificador de Potencia.

Cuando se necesita de soportar altas tasas binarias, es necesario de utilizar modulaciones multinivel como 16QAM o 64 QAM, para lo cual el amplificador debe de operara en la zona más lineal. Por otro lado para QPSK (que soporta transmisiones de 2 bits por hertzio), la distorsión de la señal es soportable, para esto se usa como unidad de medida el parámetro EVM (Magnitud del Vector de Error).

Sin embargo debido al uso de multiportadoras, la potencia se puede ver afectada y en cada instante ser muy variable en la salida del amplificador y perder la linealidad que tanto se necesita para un correcto funcionamiento. Estos problemas principalmente se dan en los terminales móviles, donde para evitar las interferencias los amplificadores deberían bajar su eficiencia, tomando en cuenta que un amplificador para un móvil GSM tiene una eficiencia superior al 50% y para un equipo móvil WIMAX la eficiencia ronda el 40%, lo que ha significa que el tiempo de vida útil de la batería se reduzca.

Estos problemas mencionados también se dan en las estaciones base, sin embargo aquí es más fácil encontrar soluciones, como es el hecho de que se ha conseguido aumentar la eficiencia de los amplificadores al usar dos amplificadores, uno principal para la portadora que se encuentra en constante funcionamiento, y el segundo, un auxiliar, que permite linealizar al primero en caso de ser necesario.

En LTE se ha tomado la decisión de sacrificar en parte las posibles prestaciones del sistema con el uso de SC-FDMA para hacerlo viable comercialmente a más corto plazo, justamente para reducir el consumo de energía, pero los dispositivos de menor consumo dentro de los dispositivos móviles permitirán alargar la duración de la batería. Un conmutador SP9T como el UltraCMOS PE42692 se ajusta bien a aplicaciones LTE ya que ofrece una corriente de alimentación I_{dd} de $120\mu A$ (típica).

La linealidad está muy ligada a un elevado aislamiento que mejora la calidad de la señal en presencia de señales de interferencia y el alto aislamiento es necesario para cumplir las exigentes prestaciones de linealidad que pretende LTE. Como LTE introduce nuevas bandas de frecuencia operativas, el aislamiento es aún más importante. En la estación base, la predistorsión digital (DPD, Digital Pre-Distorsion) es un factor crítico en la mejora de la eficiencia del amplificador de potencia.

La utilización de componentes con alta linealidad/alto aislamiento en la ruta de realimentación de DPD es importante para no añadir distorsión en la ruta de realimentación y degradar así la eficiencia del amplificador que se intenta mejorar. Con un funcionamiento entre CC y 3000 MHz, el conmutador SPDT PE4257 UltraCMOS, por ejemplo, se adapta bien a los requisitos de diseño del lazo de realimentación para estaciones base con un aislamiento de 64dB a 1000 MHz; una especificación de aislamiento que es el resultado de unas propiedades de aislamiento muy elevadas del sustrato de zafiro en UltraCMOS¹².

5.2 Balance en la Industria de Telefonía Móvil

La telefonía móvil ha demostrado tener un desarrollo acelerado en la última década, ya que la penetración del servicio se duplicó en los últimos cinco años. Las inversiones de la industria previstas para este año para desarrollar las redes de tecnología 3G, deberán ser recortadas dadas las limitaciones para acceder a un espectro superior a 60MHz.

¹²KELLY Dylan y SCHREPFERMAN Mark, Peregrine Semiconductor Corp. Artículo: Cubrir los retos del cabezal LTE con RF CMOS, 2009



Sin embargo, el alto nivel de inversiones que históricamente ha hecho este sector, lo potencian como uno de los principales motores de la economía. Está demostrado que la telefonía móvil es el medio de comunicación más democrático y con mayor penetración en zonas aisladas y sectores de bajos recursos.

Dentro del análisis de la industria, podemos ver que existe una convergencia tecnológica ya que los teléfonos móviles cada vez, ofrecen las mismas posibilidades que un PC: son una plataforma de comunicación por voz, mensajes de texto (sms), mensajes multimedia (mms), acceso a datos y almacenaje de los mismos.

Por su nivel de penetración, la telefonía celular ofrece una oportunidad única de acceso a Internet móvil para todos y a bajo costo, siendo esto precisamente lo que se pretenda alcanzar con la tecnología LTE, como por ejemplo que llegue a reemplazar a un teléfono de 3G como el iPhone, y una computadora portátil conectada a un módem de Internet ofreciendo mejores servicios y con mejor calidad.

En un futuro no muy lejano, en nuestro país ya no va a ser un sueño, sino una realidad, ya que podemos ver que hoy en día ya existe la penetración de dispositivos móviles de tercera generación en nuestro medio, sin embargo no podemos explotar al máximo esta tecnología ya que el problema se da en las operadoras que aún no cuentan con la infraestructura necesaria para ofrecer los servicios a este nivel, es decir aún no migramos a HSPA/HSPA+ en sistemas celulares, y es por eso, que se ha realizando este análisis técnico-económico para saber si la inversión a largo plazo va a ser en donde la mayoría de personas de todo tipo y edad, puedan acceder a la tecnología LTE.



Figura 68: Un móvil LTE reemplaza a la vez a un iPhone y a una laptop con modem de internet móvil.

5.2.1 Radiografía del Sector en Cifras

De acuerdo con algunas cifras principalmente basadas en datos de la SUPERTEL tenemos a continuación una muestra de cómo se encuentra la telefonía móvil en el Ecuador

5.2.1.1 Abonados Según el Tipo de Tecnología que se usa en Ecuador (2001-Febrero2010)¹³

En la Tabla 14, se puede ver el número de abonados de acuerdo al tipo de tecnología en sistemas celulares en nuestro País. Estos datos incluyen líneas de voz, datos y terminales de uso público.

Entonces ¿Qué sucede con la publicidad que ofrecen estas dos operadoras de HSPA o mejor dicho con la navegación a banda ancha móvil 3.5G desde mi celular?

Esto muestra que en la actualidad en nuestro país no se maneja más allá de una 2.5G, o siendo un poco más flexibles hasta una 2.75G en lo que respecta a telefonía celular, sin embargo, con respecto a Internet móvil las redes UMTS se

¹³ Datos tomados de la Superintendencia de Telecomunicaciones (2001,2002: CONECEL S.A.) y (2001, 2002 y 2003: OTECEL S.A.)

puede decir que existe 3G en el Ecuador, ya que HSPA es lo que se considera como 3.5G. Hay que considerar que las operadoras manejan de buena manera el soporte con redes de generaciones anteriores, considerando que Movistar y Alegro aún manejan la tecnología CDMA,

Esto se resume a que todo es un espacio de marketing, que motiva a la gente a la adquisición de un equipos de última tecnología como lo es un iPhone o el famoso Black Berry, donde en realidad las operadoras no permiten explotar todas las prestaciones de estos móviles ya que la infraestructura no es la adecuada.

AÑOS	CONECCEL S.A. (PORTA)				TELECSA (ALEGRO)			TOTAL
	TDMA	GSM	UMTS	TOTAL	CDMA	GSM	TOTAL	
2001	483.982			483.982			-	859.152
2002	920.878			920.878			-	1.560.861
2003	1.276.156	256.859		1.533.015	3.804		3.804	2.398.161
2004	1.084.402	1.232.659		2.317.061	107.356		107.356	3.544.174
2005	628.988	3.459.362		4.088.350	226.352		226.352	6.246.332
2006	253.149	5.383.246		5.636.395	358.653		358.653	8.485.050
2007		6.907.911		6.907.911	433.275	16.355	449.630	9.939.977
2008		-	-	-	0	0	-	-
2009		7.802.923	660.611	8.463.534	167.698	166.643	334.341	12.055.574
Ene-10		7.947.261	593.793	8.541.054	167.772	163.484	331.256	12.135.012
Feb-10		8.009.207	622.374	8.631.581	163.025	172.700	335.725	12.274.935
		8.092.652	600.318	8.692.970	165.982	181.770	347.752	12.370.678
AÑOS	OTECCEL S.A. (MOVISTAR)							
	TDMA	CDMA	GSM	GPRS/EDGE/UMTS	TOTAL			
2001	375.170				375.170			
2002	629.514	10.469			639.983			
2003	847.252	14.090			861.342			
2004	388.077	731.680			1.119.757			
2005	221.711	1.310.544	399.375		1.931.630			
2006	131.054	1.077.146	1.281.802		2.490.002			
2007	13.078	761.539	1.807.819		2.582.436			
2008		-	-		-			
2009		497.862	2.759.837	-	3.257.699			
Ene-10		483.139	2.776.897	2.666	3.262.702			
Feb-10		473.401	2.792.201	42.027	3.307.629			
		455.938	2.829.633	44.385	3.329.956			

Periodos en los cuales la operadora no proveía servicios con esta tecnología

Tabla 14: N° de Abonados por Concesionario por Tecnología (2001-2010)

5.2.1.2 Abonados por Concesionario por Tecnología en Ecuador (2001 - Junio 2010)

La Figura 69 muestra la evolución de la Telefonía Móvil (TM) en el Ecuador, tomando en cuenta no solo los móviles sino también los terminales de telefonía pública (Cabinas Telefónicas).

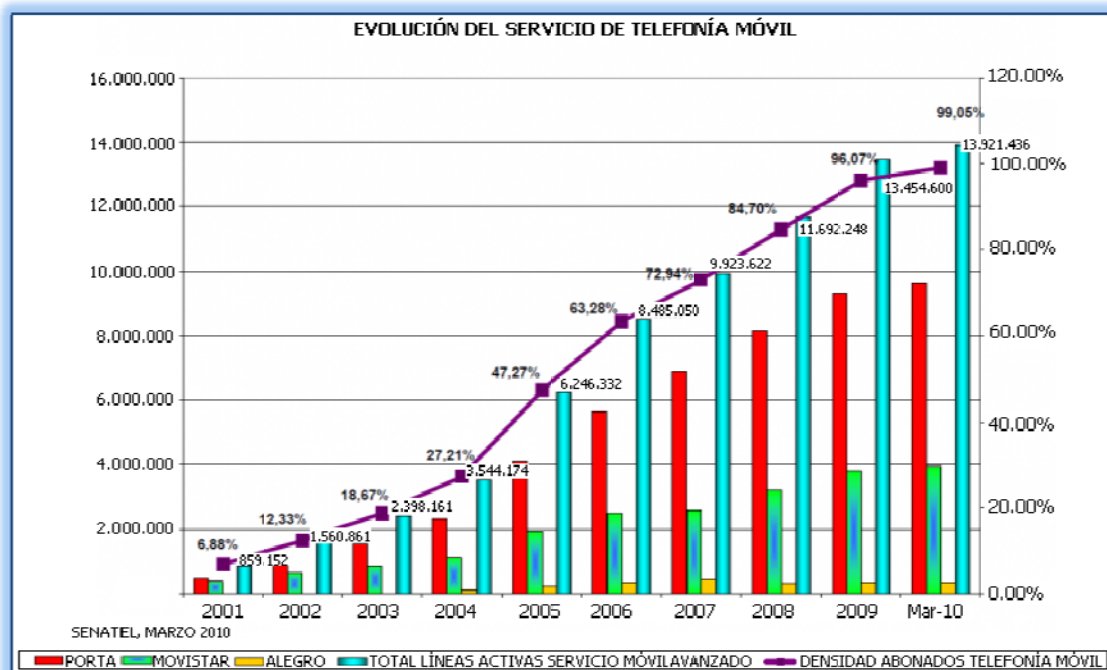


Figura 69: Evolución del Servicio de Telefonía Móvil en Ecuador.
Fuente SUPATEL

Esto también ayuda a proyectar el incremento que existe por la demanda de los servicios adicionales que un móvil puede proveer, lo que implica que las redes TM evolucionen en tecnología como se refleja en la Tabla.

Otro punto a destacar que se puede visualizar en la Figura 69, es que la mayoría de la población total posee un terminal móvil, es decir estamos hablando del 99%, y esto es un gran indicativo que la gente lo que más utiliza hoy en día es un celular, por lo que hoy es indispensable para la comunicación de un extremo a otro, y mañana sería necesario para la navegación por Internet a gran velocidad de conexión, y poder realizar una video llamada desde cualquier parte del mundo.

5.2.1.3 Planes y Prepago

La figura muestra la distribución del mercado de telefonía móvil, de acuerdo al tipo de modalidad de prestación del servicio; prepago y pos pago.

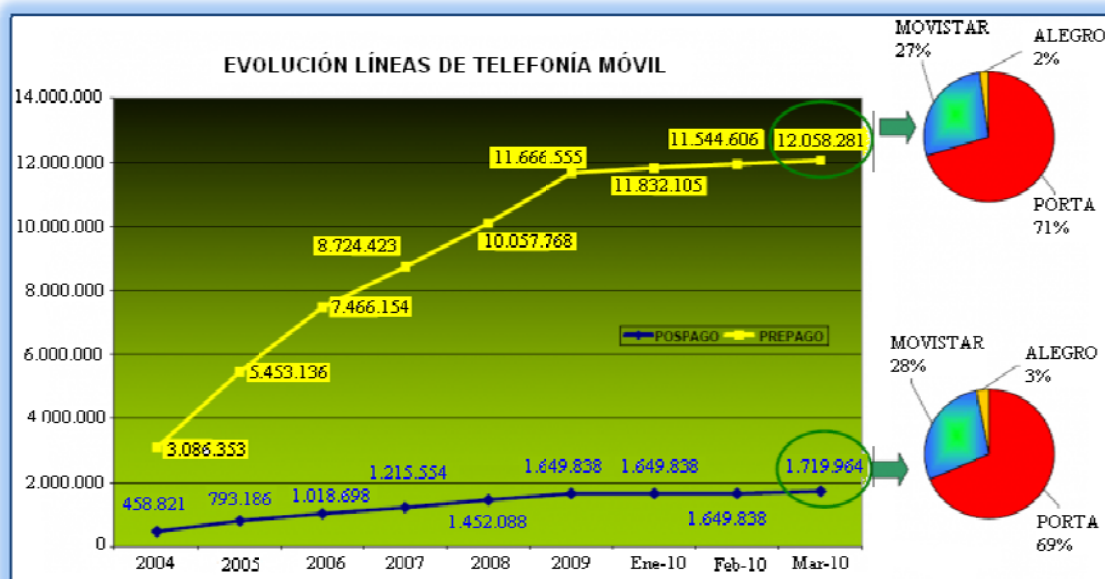


Figura 70: Evolución de Líneas de Telefonía Móvil en Ecuador.

Fuente SUPATEL

Las tendencias que se aspiran tener dentro del sector de las comunicaciones por medio del Internet móvil, es que la mitad de los ingresos provendrán de servicios de Banda Ancha para el año 2014.

5.2.1.4 Principales desafíos de la Industria

El desarrollo de nuevas tecnologías, es el factor clave para el desarrollo de la industria, y sobre todo para cada día tener más desafíos, en donde el hombre juega con la tecnología a tal punto de que hoy ya no hay límites de nada, y todo lo soñado sea una realidad al alcance de todos. Los principales desafíos se enumeran a continuación:

- Aumentar la penetración de servicios de Internet Móvil, ofreciendo servicios competitivos e innovadores.
- Contar con mayor espectro radioeléctrico para la óptima utilización de nuevas tecnologías manteniendo una calidad.
- Aumentar la cobertura hacia sectores que actualmente no tienen acceso a estas tecnologías.

- Procurar la alfabetización digital.
- Implementar nuevas redes de transmisión de datos móviles para ofrecer mejores servicios de banda ancha y servicios de valor agregado. Probar las nuevas aplicaciones 4G que se vayan generando.

5.3 Visión de la tecnología de un Operador Global (Telefónica S.A)

Telefónica es el resultado de una historia de 85 años de anticipación y transformación que le han proporcionado un crecimiento continuo, especialmente acelerado desde el comienzo del siglo XXI.

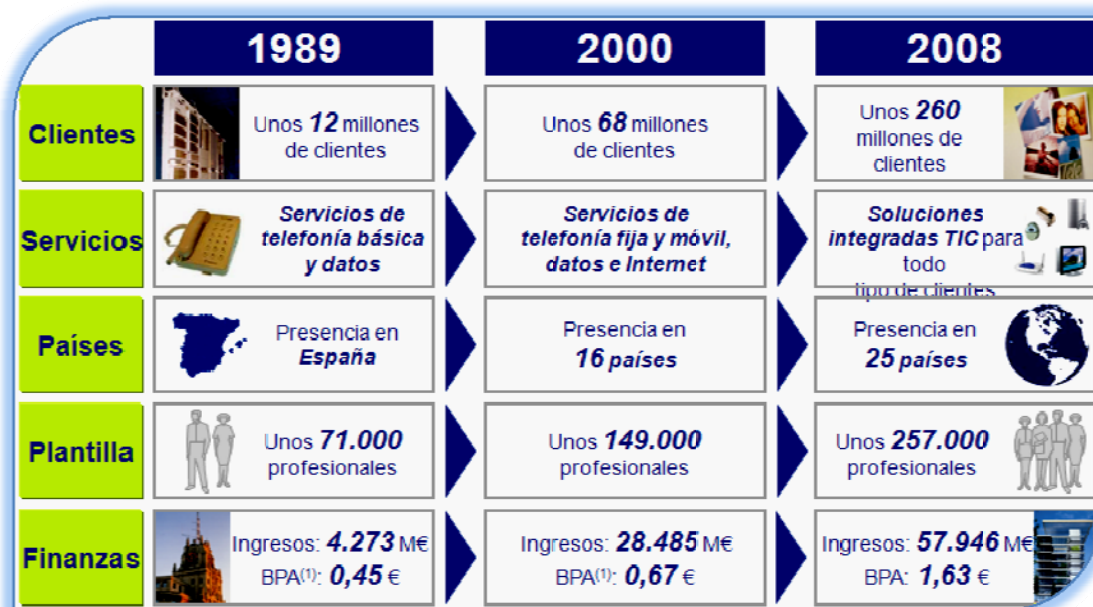


Figura 71: Situación de Mercado de una empresa de Telecomunicaciones. Fuente Telefónica S.A.

Los grandes cambios de los últimos años han sido la masificación de Internet, el ADSL y recientemente la banda ancha móvil, a continuación se presenta en la siguiente figura el impacto que la banda ancha móvil que hasta el día de hoy 3G ofrece, tanto en su crecimiento de velocidad y el tráfico de datos, lo que da también un crecimiento del throughput a lo largo de todo este tiempo de innovación y servicio.

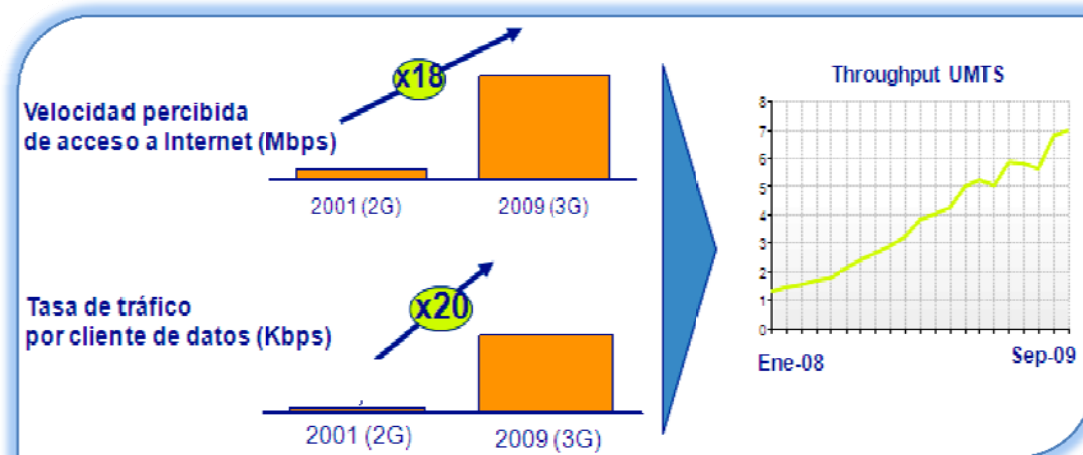


Figura 72: Impacto de la banda ancha móvil.

La capacidad y competitividad de una red de acceso móvil puede ser explicada mediante tres parámetros fundamentales:



Figura 73: Parámetros de Medida de una Red de Acceso Móvil

Es por eso, que en el capítulo 1, se explicó detalladamente el tipo de tecnología que LTE está utilizando, y el espectro que necesita para cubrir la gran demanda de banda ancha. Esta transformación ha sido posible gracias a la evolución tecnológica de la última década y a futuro las exigencias de los clientes serán cada vez mayores.

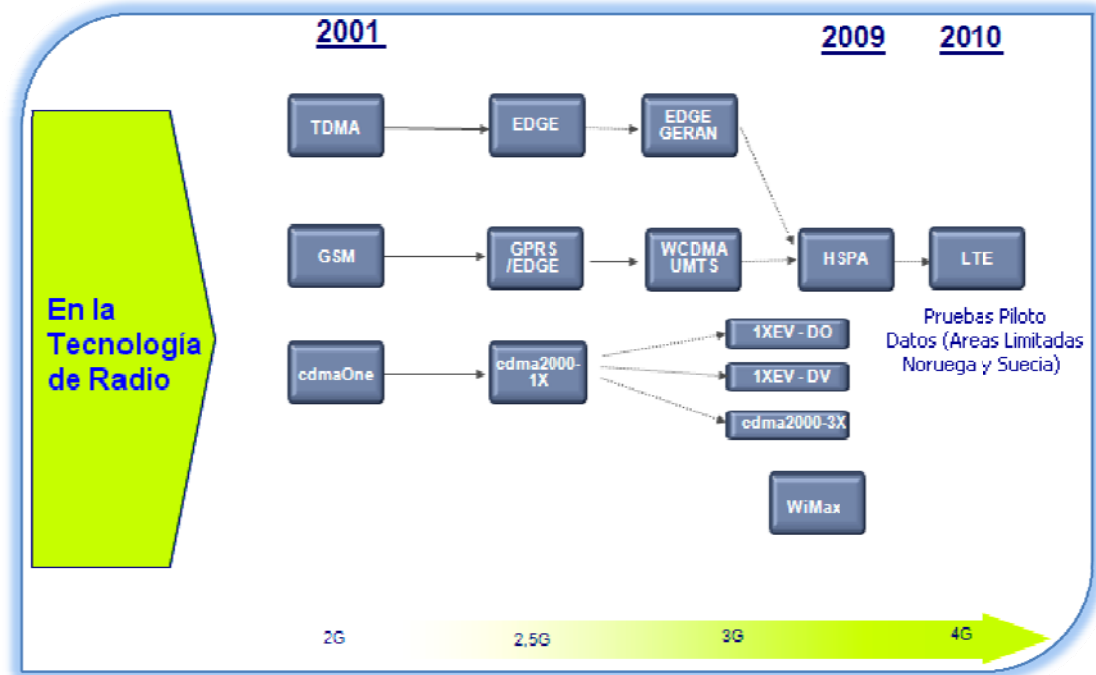


Figura 74: Evolución de Tecnologías de la Telefonía Móvil.

5.4 Situación del mercado actual

5.4.1 GSM/EDGE (2.5G)

- Más de 440 Redes EDGE instaladas globalmente
- 80% de los Radios GSM vendidos por Ericsson soportan EDGE
- Amplio soporte de terminales
- Complemento a la Banda Ancha Móvil, oportunidad única para disminuir la "Brecha Digital"
- EDGE Evolution permitirá introducir servicios de Banda Ancha Móvil sobre Redes GSM (1 Mbps de descarga de datos).
- Ericsson ha suministrado más de 250 redes GSM/EDGE en operación comercial.

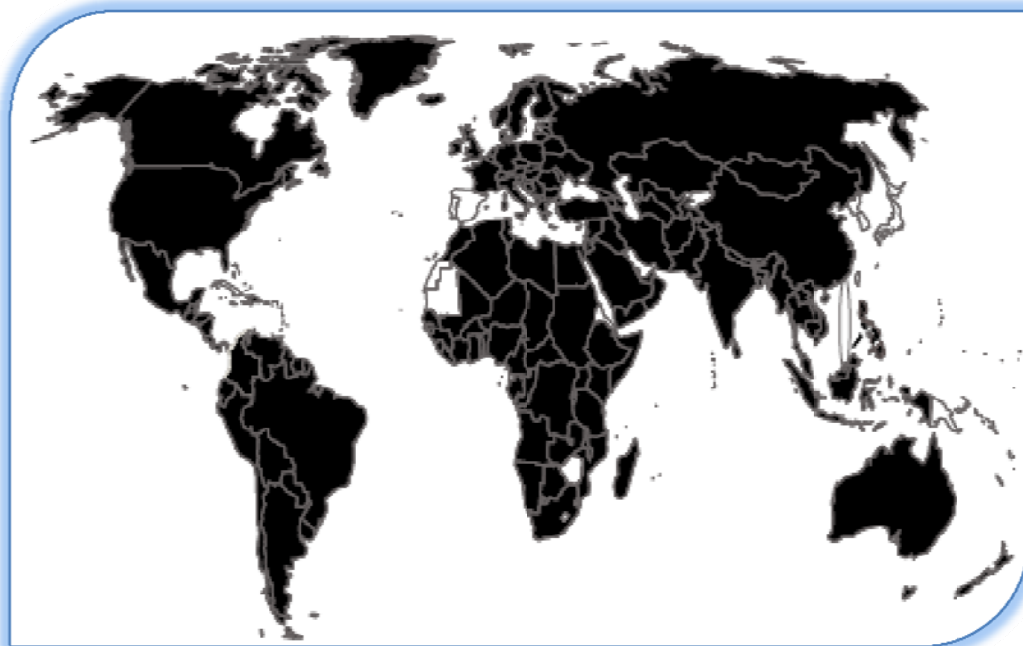


Figura 75: Países con servicios EDGE en operación comercial o en despliegue.

5.4.2 WCDMA/HSPA (3G)

- 247 Redes en operación comercial en 110 países
- 99 MN de subscriptores, crecimiento anual de 178%
- 5 millones de nuevos subscriptores/mes
- 85% del tráfico de Redes WCDMA/HSPA es Data

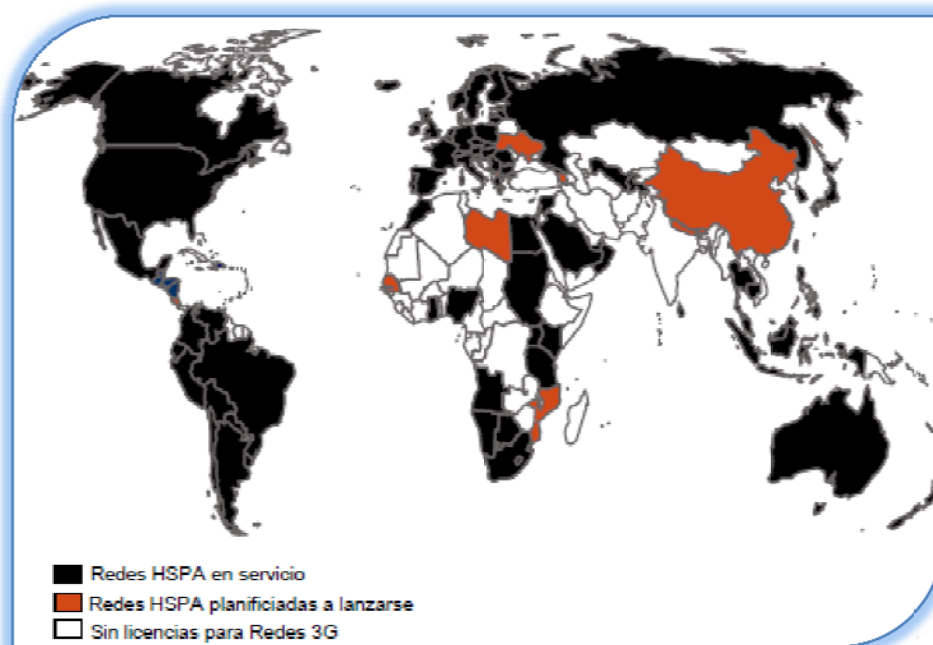


Figura 76: Países sin licencias para redes 3G.

El panorama que se visualiza hoy en día con las redes 3G, es un aumento del tráfico de datos, ya que gran parte de la población utilizarán estas redes hasta que se comercialice LTE en todo el mundo, quizá no sea mucha la espera, y tampoco para nuestro país, y en algunos años veamos este mismo cuadro con velocidades de hasta 1Gbps y con una población con gran demanda por tener este servicio.

5.4.3 LTE (4G) – Pronósticos de clientes e ingresos

Los pronósticos que se manejan del crecimiento de subscriptores alrededor de todo el mundo oscilan entre los 400 y 500 millones de habitantes para el 2015, incrementando a la vez los ingresos económicos, con un valor aproximado a 2240 Billones de Dólares para la misma fecha; es decir que 4G va a causar una revolución mundial, empresarios y clientes invertirán por tener esta tecnología en sus manos.

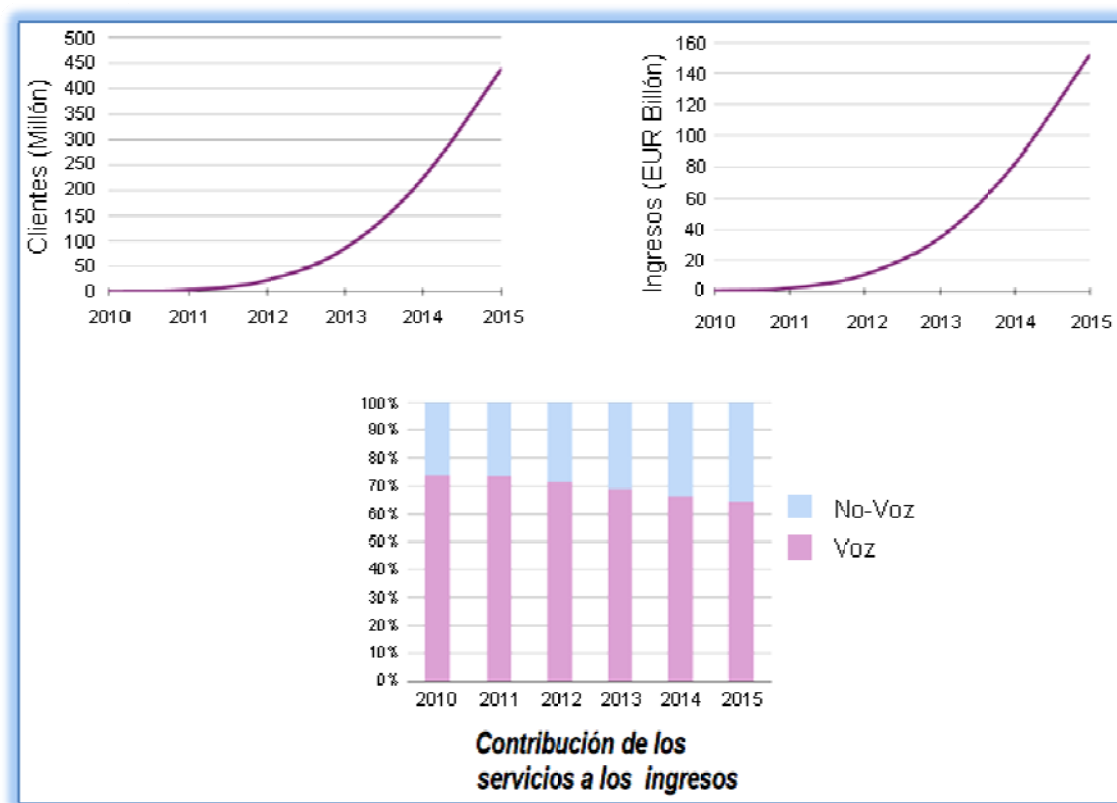


Figura 77: Pronósticos de LTE (4G).

Por otra parte de la figura 77 también se puede ver que se espera que en los servicios de telefonía móvil la voz, vaya disminuyendo como principal requerimiento, y los datos sea lo principal a usar.

5.4.3.1 Opinión de la Industria

La opinión de la industria, es fundamental para aclarar nuestro análisis, pues LTE es la herramienta de la convergencia fijo-móvil, y LTE actuará como el líder de la comunicación móvil, mantiene la habilidad competitiva de UMTS en los próximos 10 años.

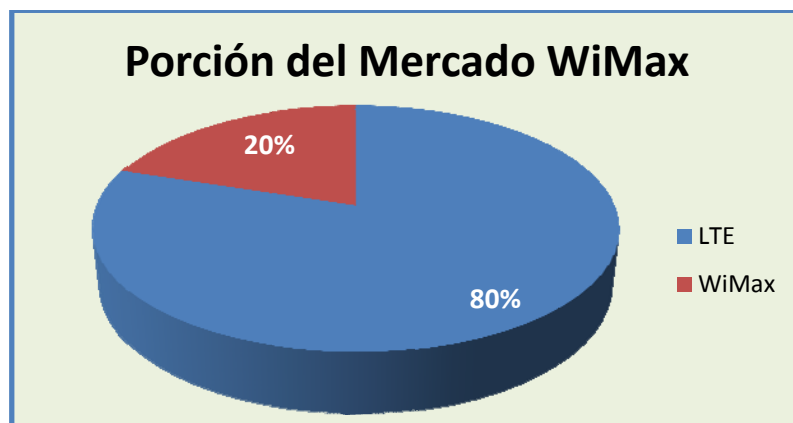


Figura 78: Pronóstico de un Escenario de 4G alrededor del Mundo para un periodo de 10 años. Fuente Telesemana

- Cerca de 300,000 estaciones base LTE se instalarán en el 2014, de acuerdo al informe de investigación de ABI en Julio 2007.
- Los operadores de redes invertirán cerca de \$18 billones capitales para la infraestructura LTE hasta el 2014.

5.4.3.2 Estrategia de despliegue

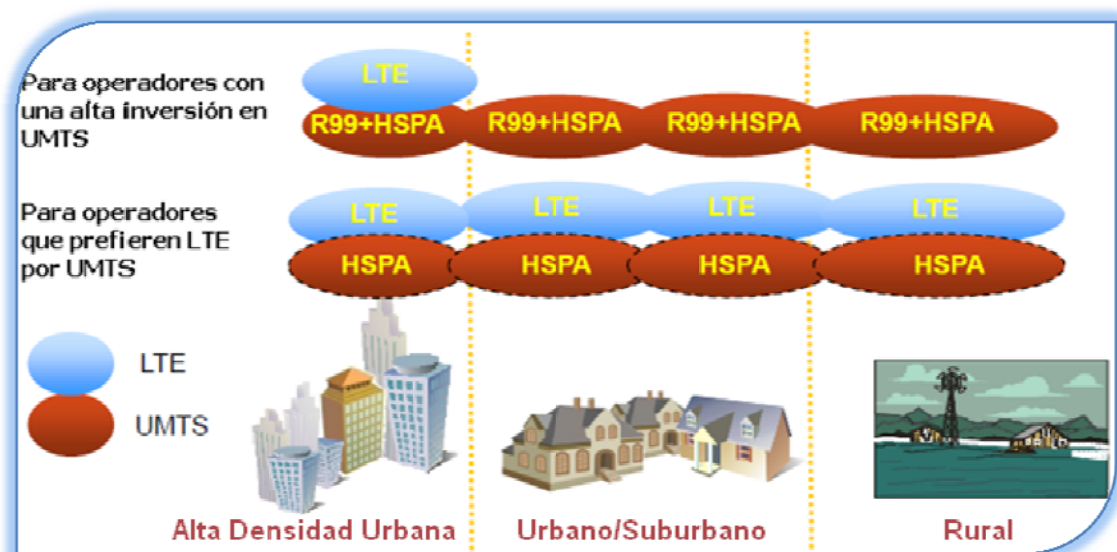


Figura 79: Estrategia de despliegue.



- Para aquellos operadores con fuertes inversiones de UMTS, LTE puede desplegarse como un complemento en *hot spots* para mayores capacidades y mejores experiencias de usuario.
- Para aquellos operadores con menos o ninguna inversión en UMTS; que prefieren LTE, LTE puede desplegarse en *amplias áreas* conjuntamente con la red UMTS.

5.5 Análisis Económico en base a encuestas para conocer el nivel de aceptación de LTE

Para la realización de un estudio de mercado, luego de haber establecido los objetivos del mismo, es necesario establecer el tamaño de la muestra (n), en el caso analizado, se utilizará un intervalo de confianza del 90% y un error aceptable del 7%, para evaluar el valor mínimo de n con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2}{4 \cdot e^2}$$

$$n = 137.22 \approx 138 \text{ encuestas.}$$

Estas encuestas nos servirán para verificar la posible aceptación de una red 4G, la situación del mercado de la telefonía móvil en nuestro medio, identificar posibles nichos de mercado para LTE y sus servicios, y además características que arrojen los resultados del estudio de mercado

Se realizaron 150 encuestas en diferentes partes de la ciudad de Cuenca. A continuación se muestran las respectivas gráficas donde se aprecian las respuestas a las preguntas realizadas en nuestra encuesta.

5.5.1 Datos Generales

Este es un punto muy importante, para definir el perfil de los usuarios y características comunes que permitan realizar un cluster de análisis con propiedades similares.

5.5.1.1 Niveles de Instrucción

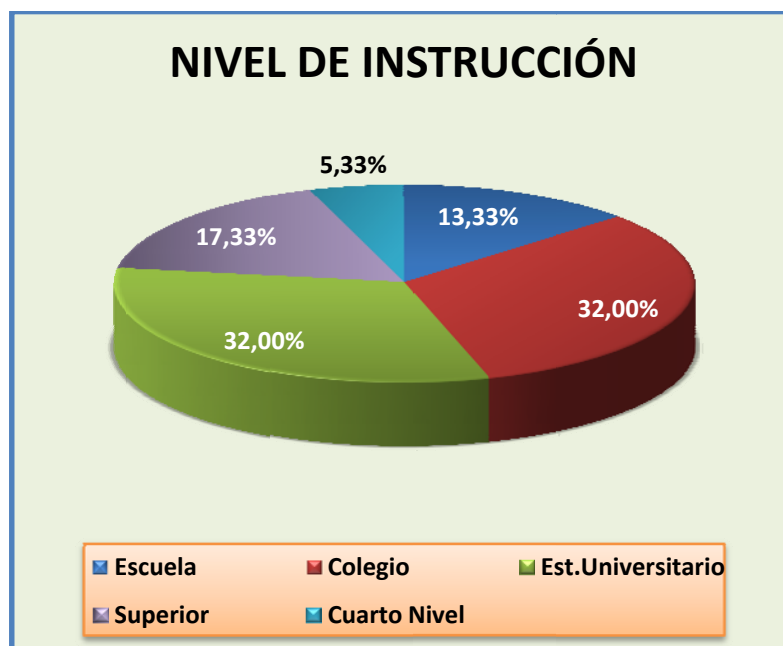


Figura 80: Niveles de instrucción de los encuestados.

5.5.1.2 Género



Figura 81: Mujeres y varones encuestados.

5.5.1.3 Grupo de edades Encuestadas

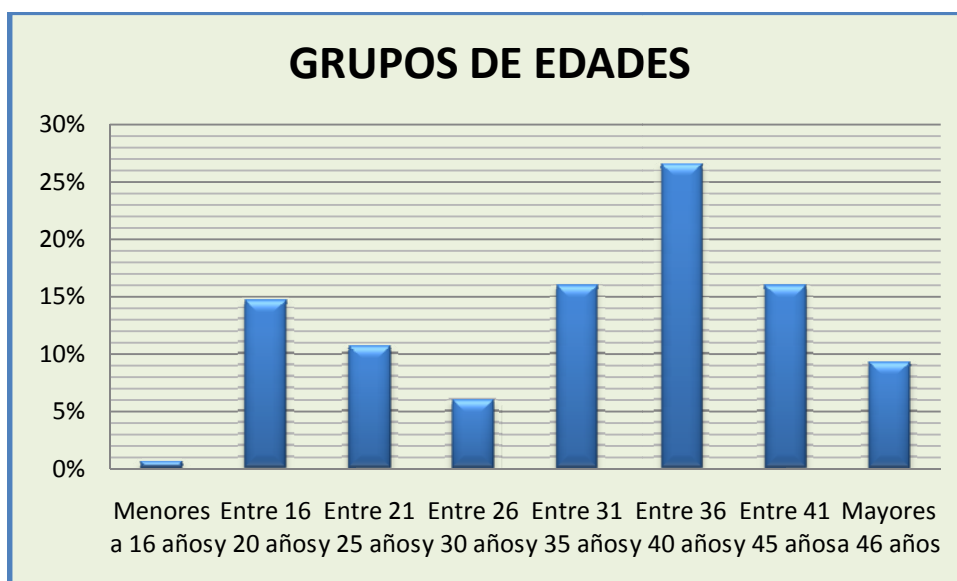


Figura 82: Grupos de edades de los encuestados.

5.5.1.4 Estado civil de los encuestados

El estado civil nos permite ver que del grupo encuestado más de la mitad está casado, el 35,33% son divorciados, 4% practica la unión libre y 1,33% ha perdido a su pareja.

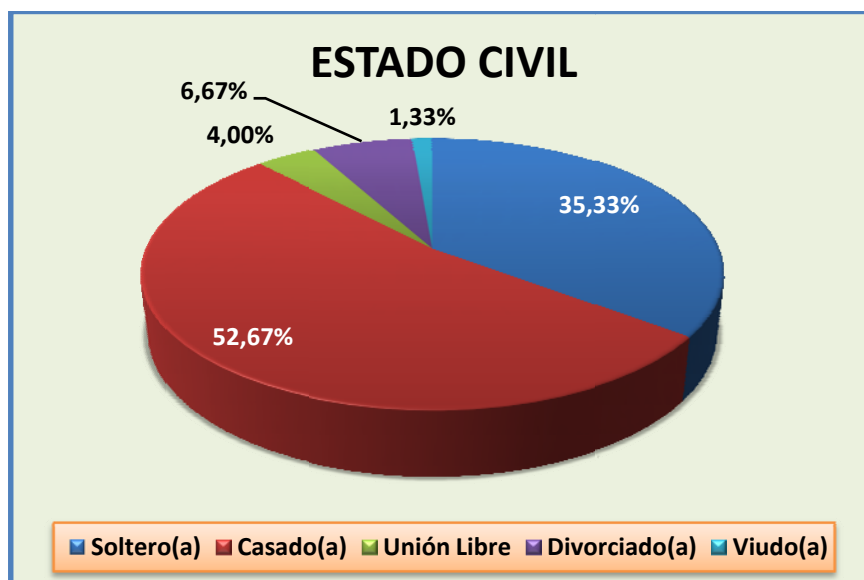


Figura 83: Estado civil de los encuestados.

5.5.1.5 Servicios Considerados Como Importantes Para un Móvil de 4G

Entre los atractivos más grandes es la descarga de los archivos de cualquier tipo, esto se puede lograr con gran facilidad ya que por la ventaja de LTE de conectarse a gran velocidad con una gran ancho de banda, se puede llegar a bajar películas en menos de un minuto, lo que implica que este servicio está destinado para los jóvenes que hacen de los videos un hobby.

Lo inigualable de LTE, es que se puede trabajar en tiempo real con cualquier aplicación, además se puede grabar un video de alta definición y transmitirlo a la vez a otro móvil en cualquier parte del mundo sin necesidad de espera; haciendo que las expectativas por los servicios de LTE aumenten notablemente en los clientes.

Además se puede apreciar que hoy en día el uso del Messenger y del correo electrónico es muy deseado, pues más del 50% desearía este servicio en sus móviles.

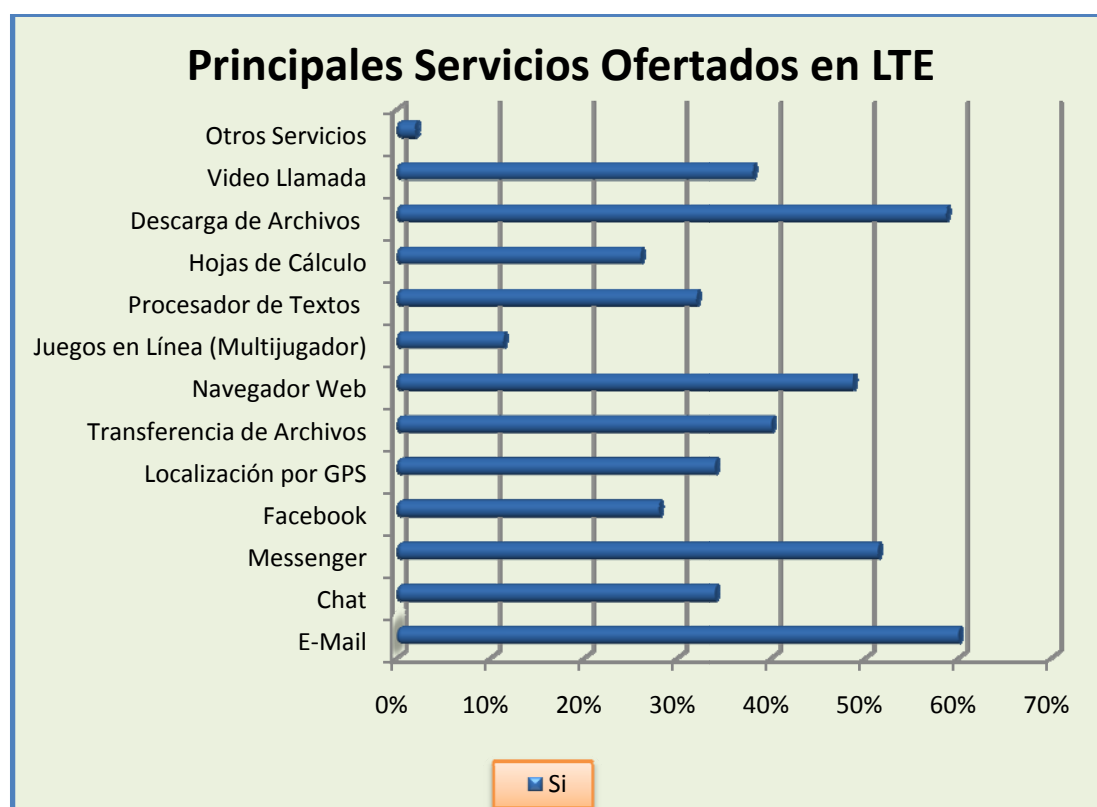


Figura 84: Porcentaje de aceptación de los servicios a ser más utilizados en 4G.

5.5.1.6 Rango de Valores del Equipo del Usuario

Como se muestra en la gráfica, existe un 18% de personas encuestadas que poseen celulares desde los \$300 en adelante, dando un gran indicativo que se puede llegar a un índice similar de penetración en el mercado, ya que con la aparición de los teléfonos 4G, es más probable que la mayoría de la gente que posee teléfonos de bajos costos se inclinen a la adquisición de un teléfono de última generación, además se debe tener en cuenta que el 26,67% de personas poseen un teléfono de \$100 a \$150, adquirirían más pronto un móvil 4G que el 1,33% de personas que poseen un teléfono superior a los \$750.

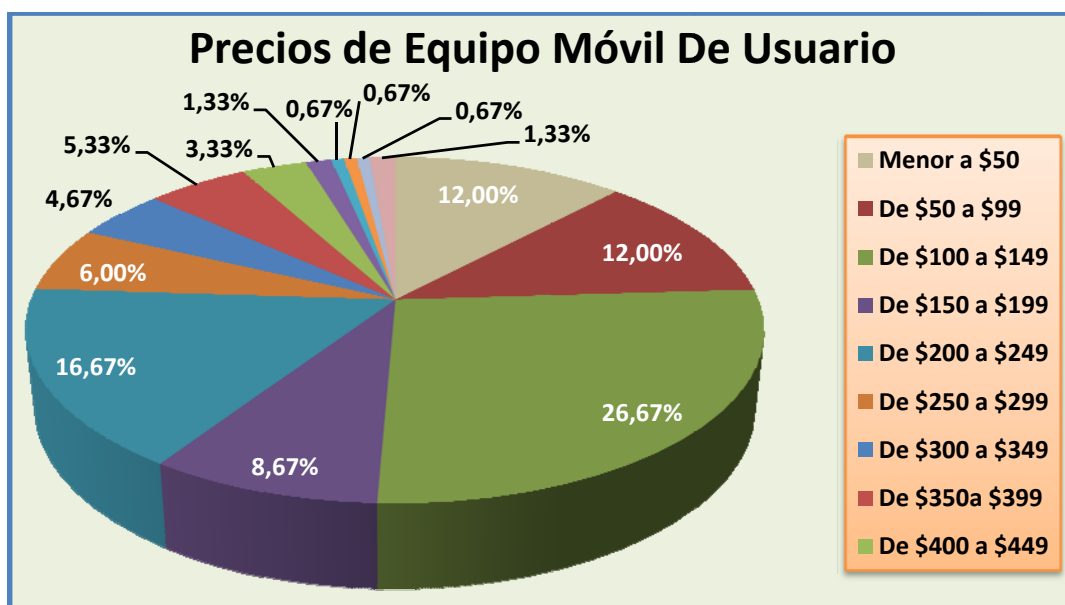


Figura 85: Rango de valores de los móviles actuales de los encuestados.

5.5.1.7 Disposición de Usuarios Para Adquirir un Equipo de Cuarta Generación

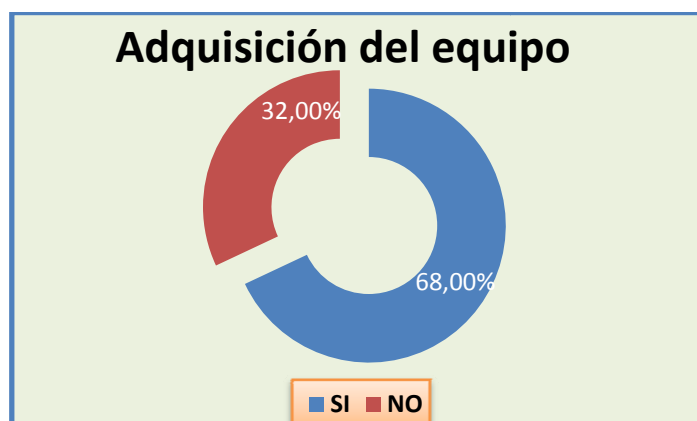


Figura 86: Porcentaje de adquisición de un móvil 4G.

Del grupo de estudio el 68% de ellas están dispuestas a adquirir un nuevo equipo de cuarta generación mientras que el 32% prefieren conservar su equipo actual, siendo así la estadística nos indica que más del 50% de la población encuestada estaría dispuesta a adquirir un equipo con la nueva tecnología.

A continuación se presentan los planes diseñados en la encuesta para la adquisición del nuevo equipo y su nivel de aceptación.

5.5.1.8 Preferencia de planes para la adquisición de un Móvil de 4G



Figura 87: Porcentaje de planes escogidos por los encuestados para un móvil 4G.

De las personas encuestadas y que están dispuestas en adquirir el nuevo equipo; el 36,67% de ellas optaría por adquirir el equipo más el primer plan de acuerdo a sus ingresos, y más que nada debido a que se terminaría de pagar el equipo

en menos tiempo (12 meses), mientras que el 17,33% optaría por el segundo plan y tan solo el 2,67% desearía obtener el 3er plan; siendo así el 6% optaría por el cuarto plan, el 2% pensaría en adquirir el equipo al contado y finalmente un 3,33% desea otro tipo de plan de telefonía, donde se piden planes con cuotas más pequeñas, debido a que este grupo de usuarios por lo general prefieren poseer el equipo más por moda antes que explotar las capacidades del equipo.

Si se considera **sólo** a las personas que aceptaron la adquisición de un nuevo equipo, es decir tomando como equivalencia del 68% al 100%, la división del grupo de estudio se presentaría de la siguiente manera.

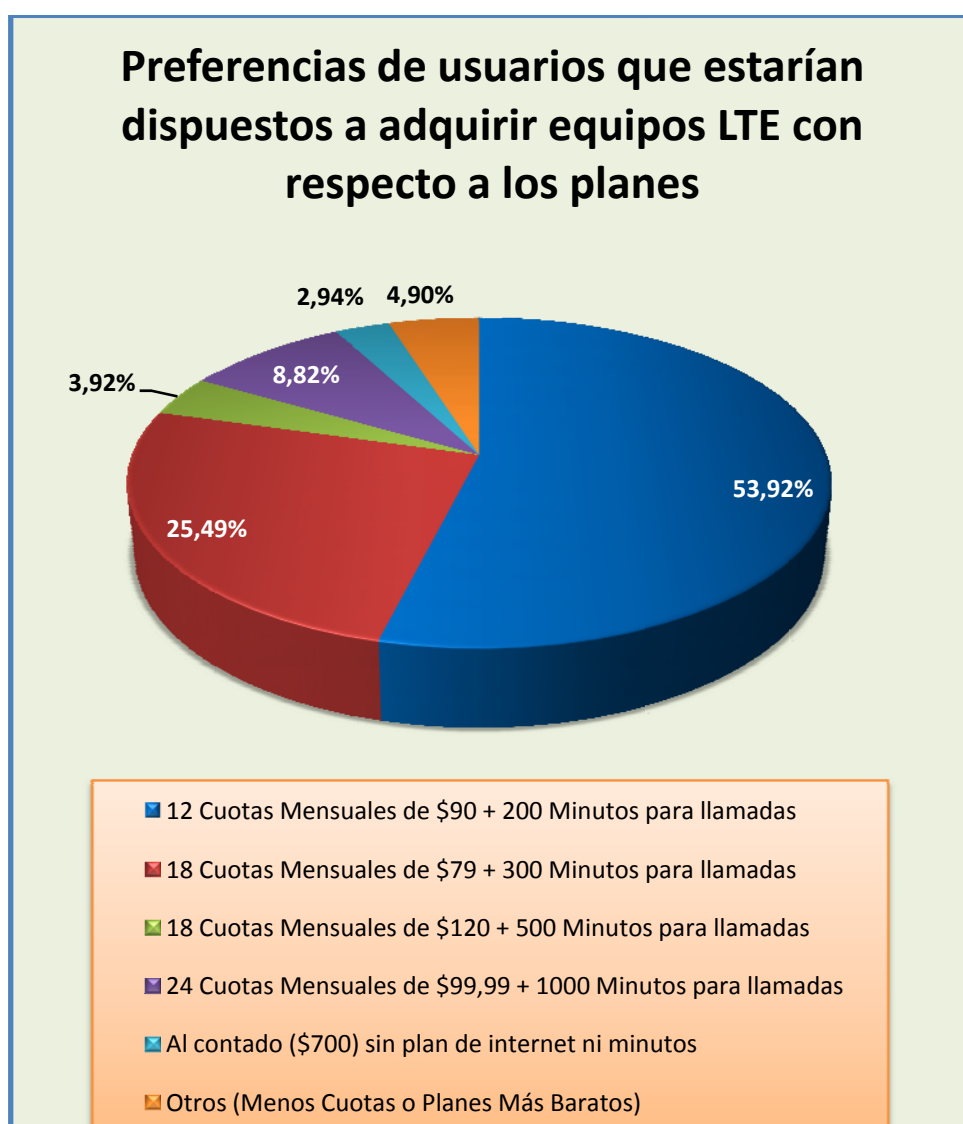


Figura 88: División del grupo de aceptación por un cambio de equipo.

5.5.1.9 Nivel de ingresos Promedio Mensual

El 50% tienen un ingreso menor a \$500, 30,67% tienen un ingreso dentro de un rango entre \$500 hasta \$999; 12% tienen un ingreso entre \$1000 y \$1499 y el 7,33% de personas restantes ganan más de \$1500 hasta \$3000.



Figura 89: Niveles de ingresos mensuales de los encuestados.

Hay que tomar en cuenta que muchas de las personas que presentan ingresos promedios por debajo de los \$500, son estudiantes (jóvenes) y/o no poseen un ingreso mensual, sin embargo de acuerdo al nivel en los precios de los equipos móviles que manejan se puede decir que este grupo de personas pueden ser una gran influencia para que en sus hogares deseen la adquisición de un equipo de cuarta generación, esta visión se verá mejorada al revisar los datos y gráficos que se presentan a continuación.

5.5.2 Datos con Respecto a Operadoras de Telefonía Móvil (TM)

5.5.2.1 Operadora de la mayoría de los contactos de los encuestados

Aquí se puede apreciar la situación de los contactos de los usuarios de TM

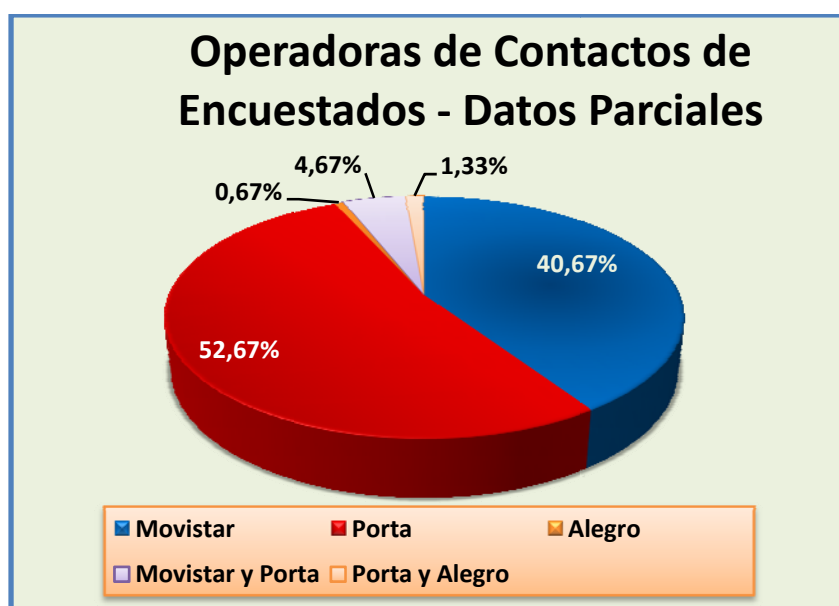


Figura 90: Datos parciales de las operadoras de los contactos de los encuestados.

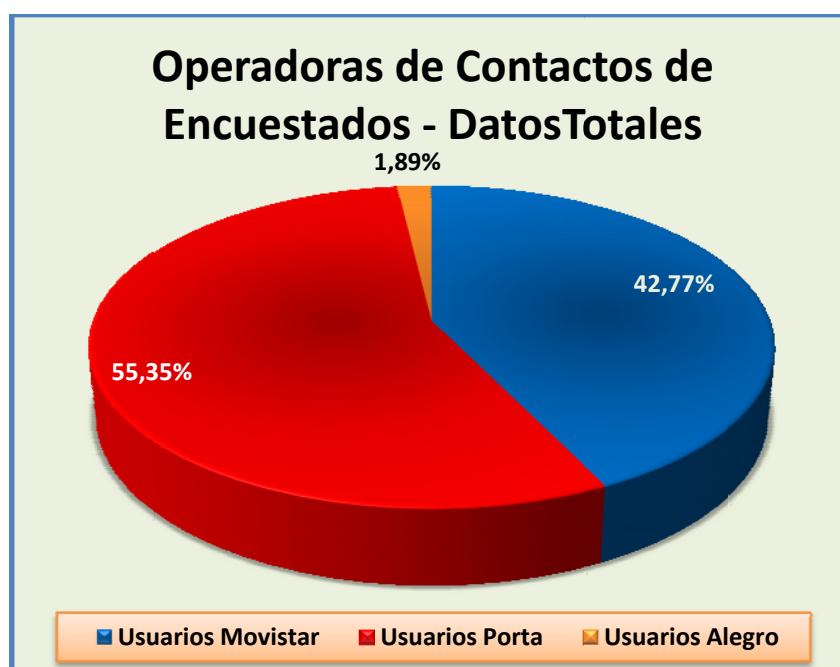


Figura 91: Datos Totales de las operadoras de los contactos de los encuestados.

5.5.2.2 Preferencias de las operadoras en los usuarios

En las siguientes gráficas se puede ver que un grupo reducido manejan equipos de dos operadoras diferentes y mucho menos de las tres operadoras. En la figura 87 se aprecia ya globalmente los porcentajes de usuarios por operadora, donde se puede apreciar que en lo que respecta solamente a voz y en el cantón Cuenca, actualmente Movistar está dando alcance a Porta.

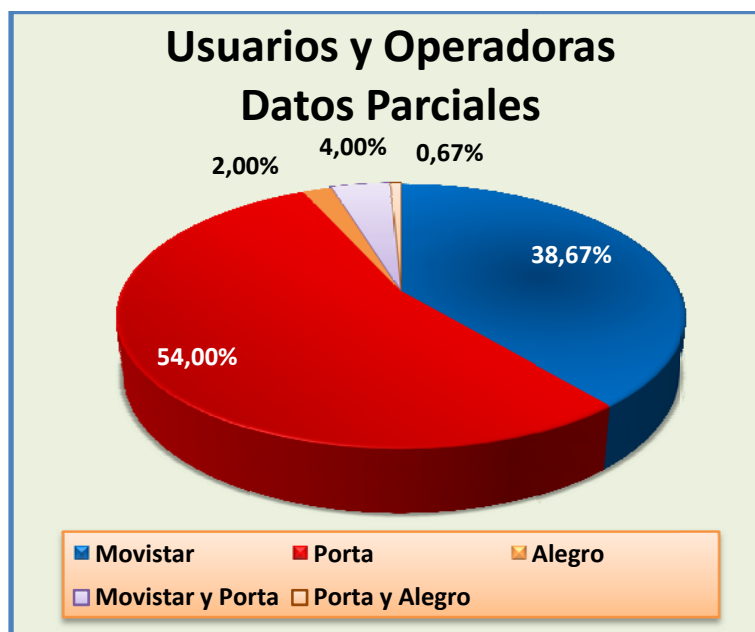


Figura 92: Datos parciales de las operadoras de los encuestados.



Figura 93: Datos totales de las operadoras de los encuestados.

Como podemos observar se conserva la mayoría de abonados manejan Porta, tanto para los contactos de los encuestados como para los mismos encuestados, principalmente debido a que fue la pionera en el país en TM; los datos que las operadoras presentan son diferentes (especialmente lo que muestran Porta y Movistar) principalmente porque muchos usuarios prefieren adquirir equipos en una operadora debido a los precios, para luego seguir usando su línea u operadora favorita, lo que de cierta manera alteran los datos que incluso maneja la Superintendencia de Telecomunicaciones.

5.5.3 Tablas Cruzadas

5.5.3.1 Grupos de edades por género

Uno de los puntos más importantes, es saber que grupos de edades son los que muestran mayor interés por los servicios ofertados por LTE, y como se da hoy en la actualidad son los jóvenes, pero en realidad son los consumistas pero no los que pagan por los servicios, pues siempre dependen de las personas que están a su responsabilidad, es decir hablamos de los padres que oscilan en edades entre 30 a 45 años, como usuarios activos o llamados clientes potenciales; es decir con la gráfica nos podemos dar en cuenta de que las personas encuestadas son las personas que manejan la economía en el hogar y los que podrían pagar por el servicio, y esta gráfica se concatena luego con el nivel de ingresos y con la adquisición del nuevo equipo móvil 4G de cada encuestado, para saber si vamos a tener o no aceptación de esta tecnología en nuestro medio.

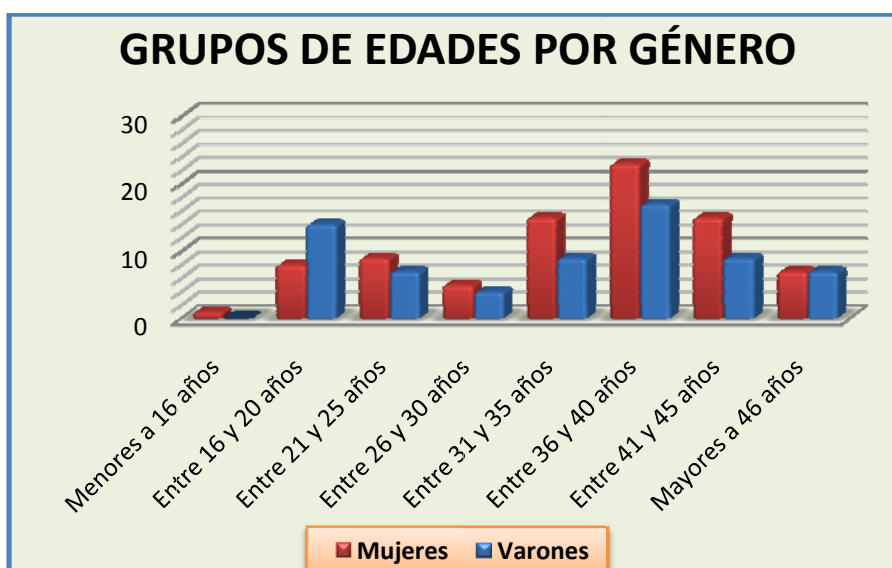


Figura 94: Porcentaje de edades según el género.

5.5.3.2 Estado Civil Por Género

De igual forma la figura 95, muestra la distribución por Estado Civil y Género, donde los grupos de solteros y casados conforman más del cincuenta por ciento.



Figura 95: Estado Civil según el Género.

5.5.3.3 Operadoras de Acuerdo al Género

Este indicativo que se muestra en la gráfica siguiente, es muy importante porque de todos los encuestados, se puede estimar el porcentaje del uso de las operadoras según el género, donde la empresa que predomina es PORTA tanto en varones como en mujeres.

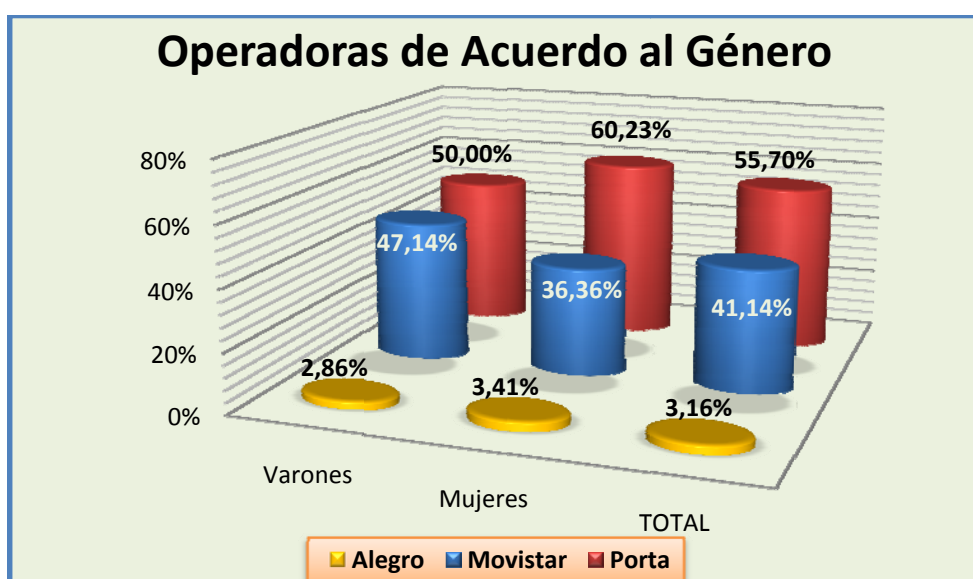


Figura 96: Consumo de operadoras según el género.

5.5.3.4 Operadora Preferida por el Grupo de Edades

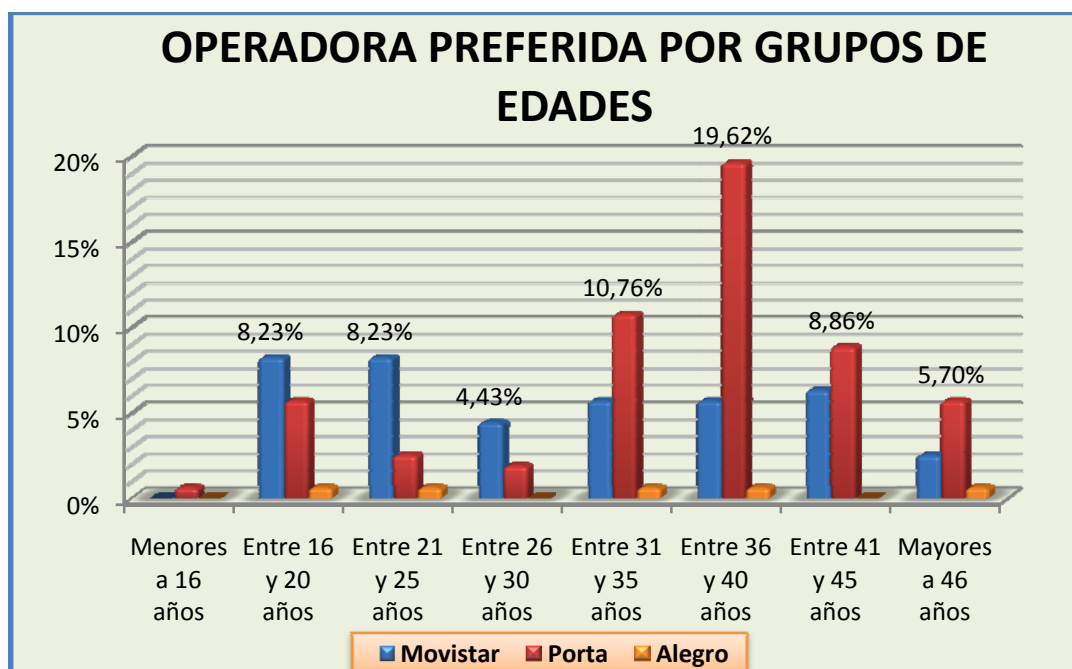


Figura 96: Operadora preferida según las edades.

La gráfica anterior muestra que la operadora Movistar es muy popular entre personas de 16 a 30 años, es decir entre los jóvenes principalmente debido a las promociones que esta empresa hace, además se puede apreciar que Porta es más usada en el sector laboral, a través de planes con esta empresa por el mismo hecho de haber sido la primera operadora de Telefonía Móvil en el Ecuador, y justamente esto fue lo que los encuestados muchas veces manifestaban cuando de cierta manera espontánea explicaban la razón del porque usan la operadora móvil.

5.5.3.5 Operadora Preferida por el Nivel de Instrucción

Las estadísticas muestran que el mayor porcentaje de clientes de PORTA están en la educación de segundo nivel, con 22,78% vale recalcar que gran parte de éste grupo son personas que superan los 36 años, encambio para Movistar su grupo más fuerte son los estudiantes universitarios con un aproximado del 20% de clientes, en resumen estos dos grupos son los que tienen mayor cantidad de usuarios, y paradójicamente, un grupo consume Porta y el otro Movistar, indicando que la competencia entre las dos operadoras se acrecentará aún más con la llegada de LTE en nuestro medio.

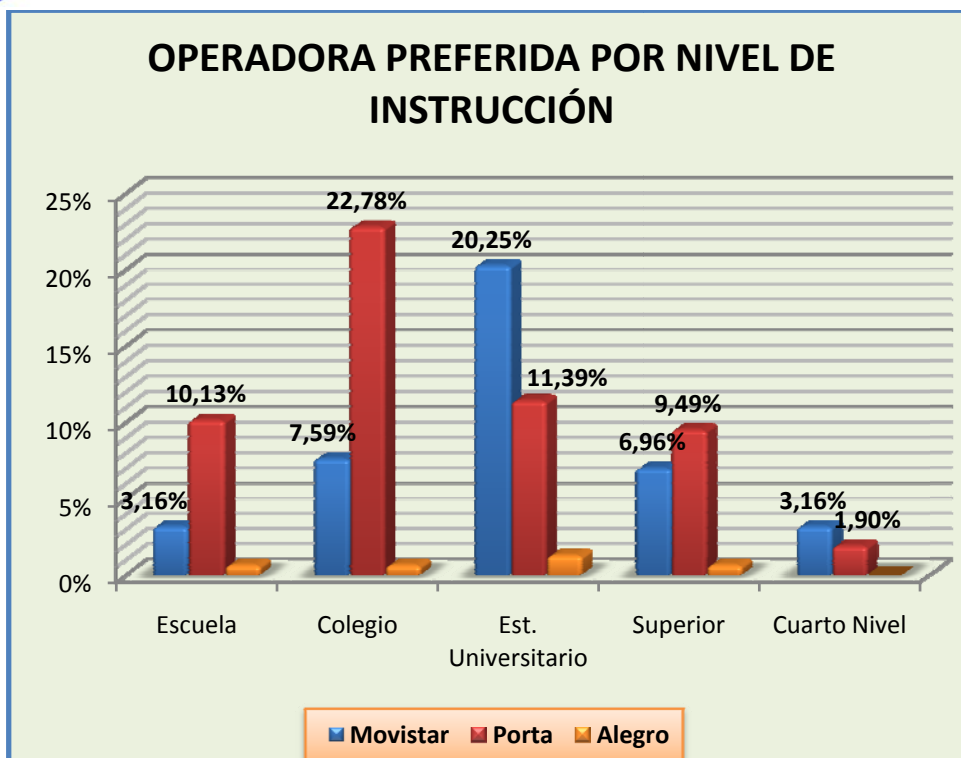


Figura 97: Operadora preferida según el nivel de instrucción.

5.5.3.6 Servicios Adicionales Ofertados por LTE Según las Edades

Este parámetro se convierte en un punto central de nuestro análisis ya que según las encuestas existe una relación entre el tipo de servicio ofertado por LTE y la edad del usuario, lo que indica que cada servicio está destinado para edades diferentes, como por ejemplo lo que son juegos en línea o descarga de archivos de música o video a grandes velocidades, son apetecidos por los jóvenes, y lo que son video llamadas son para edades de 30 a 40.

Servicios Adicionales	Menores a 16 años	Entre 16 y 20 años	Entre 21 y 25 años	Entre 26 y 30 años	Entre 31 y 35 años	Entre 36 y 40 años	Entre 41 y 45 años	Mayores a 46 años	TOTAL SI
	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
E-Mail	0,00%	10,00%	7,33%	4,00%	10,00%	14,67%	8,00%	6,00%	60,00%
Chat	0,67%	6,00%	4,00%	2,00%	6,00%	9,33%	4,67%	1,33%	34,00%
Messenger	0,00%	9,33%	6,67%	2,00%	8,67%	14,00%	5,33%	5,33%	51,33%
Facebook	0,00%	8,67%	2,67%	1,33%	4,67%	7,33%	2,00%	1,33%	28,00%
Localización por GPS	0,00%	3,33%	5,33%	2,67%	4,67%	8,67%	6,00%	3,33%	34,00%
Transferencia de Archivos	0,00%	7,33%	6,67%	2,00%	6,00%	10,67%	4,00%	3,33%	40,00%
Navegador Web	0,00%	8,67%	6,67%	4,00%	9,33%	12,67%	4,00%	3,33%	48,67%
Juegos en Línea (Multijugador)	0,00%	2,00%	2,00%	0,67%	0,67%	4,67%	0,67%	0,67%	11,33%
Procesador de Textos	0,00%	7,33%	6,00%	2,00%	4,67%	7,33%	3,33%	1,33%	32,00%
Hojas de Cálculo	0,00%	5,33%	3,33%	2,67%	4,00%	8,00%	2,00%	0,67%	26,00%
Descarga de Archivos	0,00%	10,00%	8,00%	4,00%	7,33%	12,67%	12,00%	4,67%	58,67%
Video Llamada	0,00%	4,00%	4,67%	3,33%	5,33%	11,33%	6,00%	3,33%	38,00%
Otros Servicios	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,67%	1,33%	0,00%	2,00%

Tabla 15: Aceptación de los diferentes tipos de servicios adicionales de LTE según grupos de edad.



Figura 98: Porcentajes de los Servicios Adicionales aceptados según las edades.

El Messenger, el e-mail, y la descarga de archivos a grandes velocidades, son los servicios más apetecidos por las edades comprendidas entre 20 a 40 años, con un porcentaje del 10 al 40%, es decir, lo cual puede tomarse en cuenta como servicios ya no adicionales si básicos dentro de un plan.

5.5.3.7 Servicios Adicionales Ofertados por LTE Según el Nivel de Ingresos

Los servicios adicionales que oferta LTE depende directamente del nivel de ingresos que posean las personas, por ejemplo el 20% de personas con ingresos menores a \$500, están dispuestos a pagar por los servicios; pero las personas con mayores ingresos, no registran mucho interés en pagar por los nuevos servicios, pues estamos hablando de un 1% a un 8% en uno de los servicios más apetecidos como lo es el e-mail, esto muestra que el factor económico no es una barrera para adquirir los servicios, es decir se puede asegurar que tarde o temprano ellos pueden entrar en el mercado de LTE.

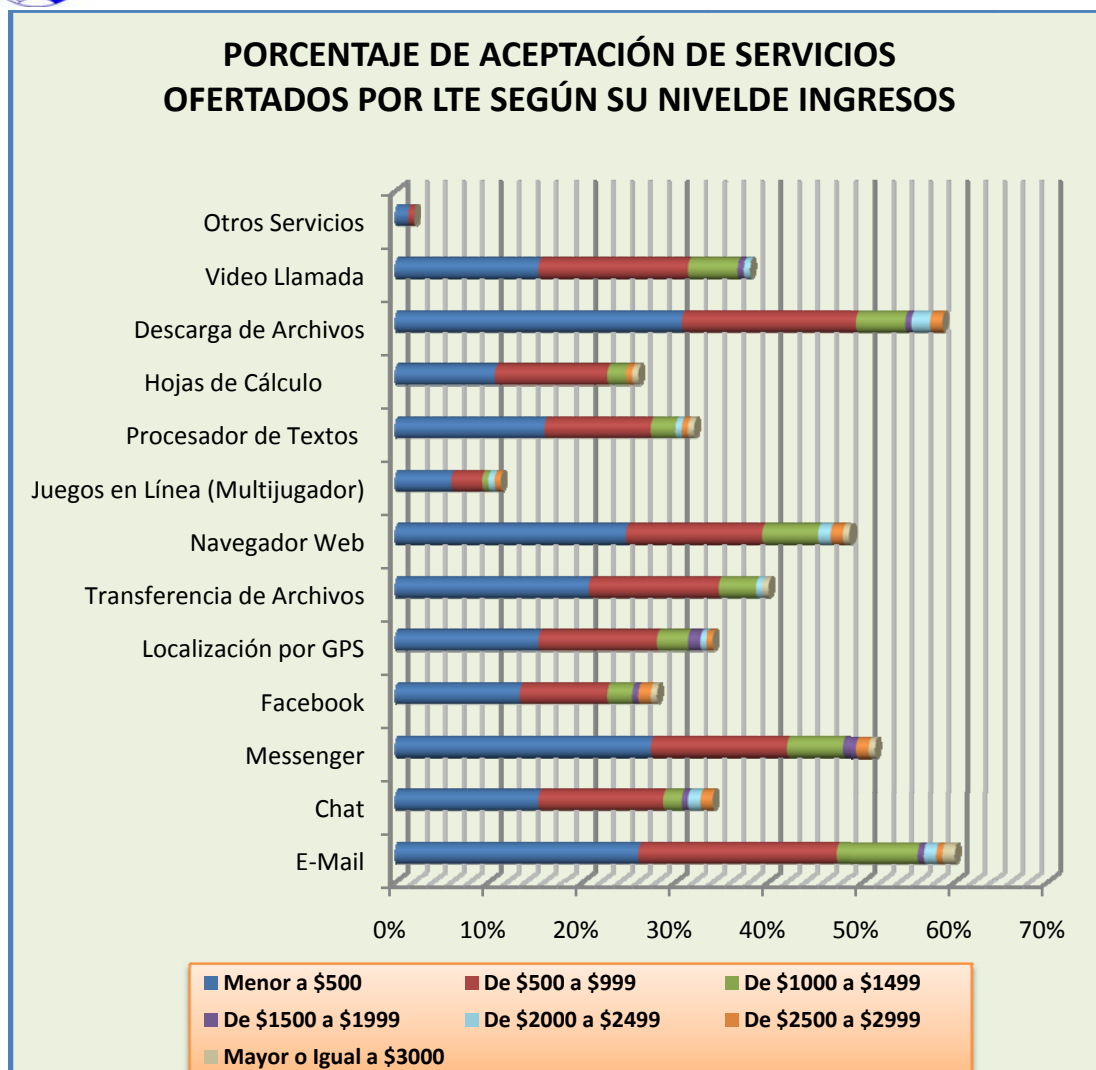


Figura 99: Porcentajes de los Servicios Adicionales según el nivel de ingresos.

Aquí se puede notar que precisamente no por tener mayores ganancias, se desea más un servicio u otro, esto principalmente es un aspecto generacional, es decir que los jóvenes son aquellos más interesados en consumir los nuevos servicios, pues van creciendo con los avances tecnológicos y normalmente en nuestra sociedad, a la mayoría de personas adultas y que aportan con mayores ingresos al hogar, no les interesa ya que solamente son usuarios de los servicios de voz.

5.5.3.8 Precios de Equipos Actuales de Usuarios Según el Nivel de Ingresos

Lo mencionado en el párrafo anterior se ve confirmado con los siguientes datos, donde se muestra que no precisamente por tener mayores sueldos, sus equipos móviles son los más caros, y que más bien el sector de 15 a 30 años ha tomado como

necesidad apoyado con la fuerza del consumismo que alienta a este sector optar por equipos con mayores funcionalidades y de mayores costos.

Por otra parte los equipos móviles son un fenómeno social y muchas veces un indicativo de estatus lo que lleva a que todos adquieran un móvil a “la moda”, sin importar muchas veces las necesidades básicas del ser humano, las encuestas nos indica que las personas hacen lo posible por poseer teléfonos costosos superiores a los \$200. Esto es un indicativo de un nicho de mercado, donde la gente está dispuesta a pagar por un equipo de última generación con los servicios adicionales de LTE.

Precios de Equipo /Nivel de Ingresos	Menor a \$500	De \$500 a \$999	De \$1000 a \$1499	De \$1500 a \$1999	De \$2000 a \$2499	De \$2500 a \$2999	Mayor o Igual a \$3000	Total
Menor a \$50	8,67%	2,00%	1,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,00%
De \$50 a \$99	6,67%	3,33%	2,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,00%
De \$100 a \$149	14,00%	8,00%	2,67%	0,67%	0,00%	0,00%	1,33%	26,67%
De \$150 a \$199	4,67%	2,67%	0,00%	0,00%	1,33%	0,00%	0,00%	8,67%
De \$200 a \$249	6,67%	6,67%	2,67%	0,00%	0,67%	0,00%	0,00%	16,67%
De \$250 a \$299	2,67%	1,33%	0,67%	0,67%	0,00%	0,67%	0,00%	6,00%
De \$300 a \$349	4,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,67%	0,00%	0,00%	4,67%
De \$350a \$399	1,33%	2,67%	0,00%	0,67%	0,00%	0,67%	0,00%	5,33%
De \$400 a \$449	0,00%	2,67%	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,33%
De \$450 a \$499	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
De \$500 a \$549	0,00%	0,00%	1,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,33%
De \$550 a \$599	0,00%	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,67%
De \$600 a \$649	0,00%	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,67%
De \$650 a \$699	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
De \$700 a \$749	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,67%
Mayor o Igual a \$750	0,67%	0,00%	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,33%
Total	50,00%	30,67%	12,00%	2,00%	2,67%	1,33%	1,33%	100,00%

Tabla 16: Precios de los móviles actuales de los encuestados, según su nivel de ingresos.

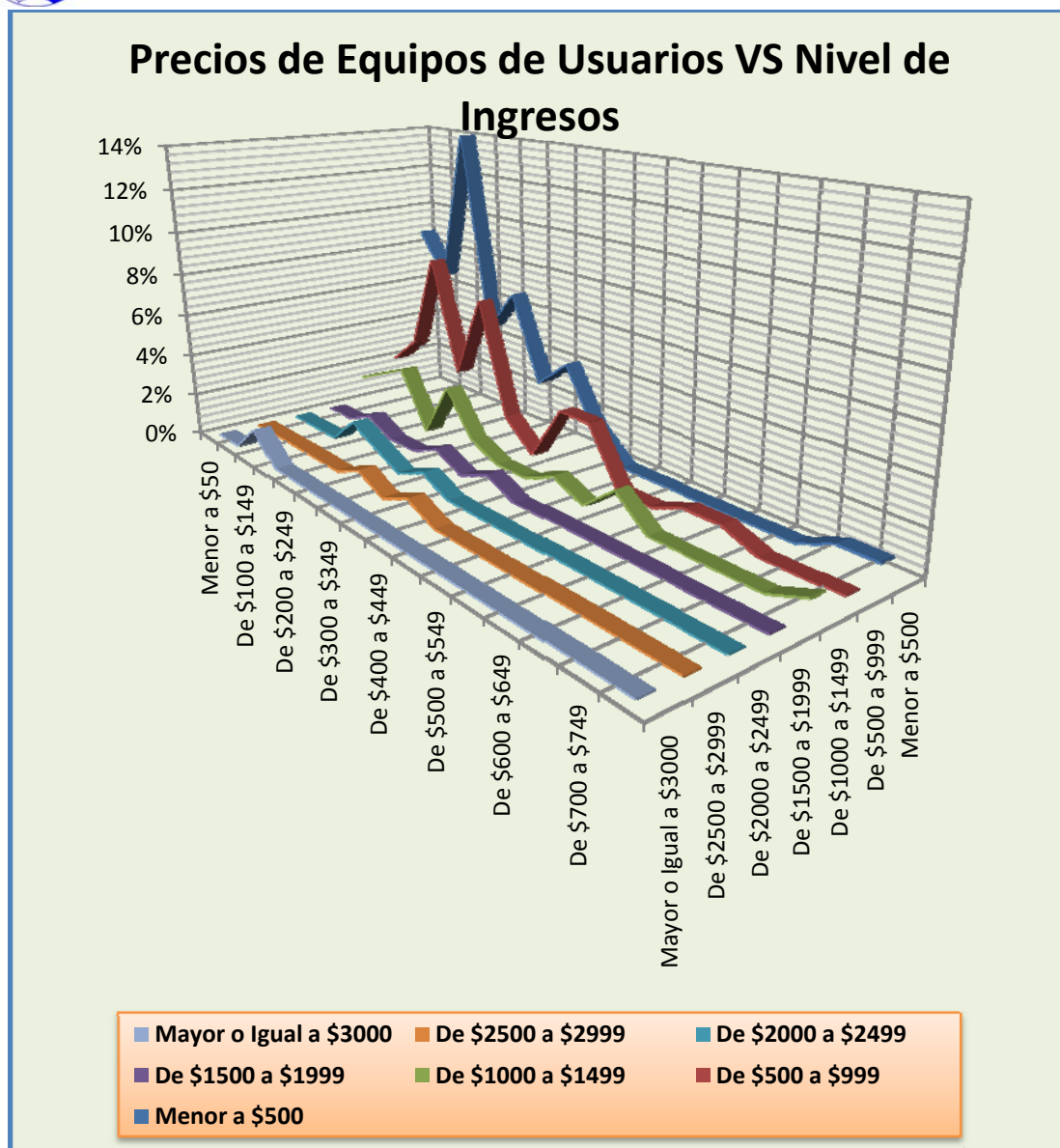


Figura 100: Porcentaje de los precios de móviles actuales de encuestados, según el nivel de ingresos.

Como se ha dicho, muchas de las personas que poseen ingresos económicos por debajo de los \$500, son las personas que poseen teléfonos con precios que oscilan entre los \$100 a \$400, esto es muy contradictorio, puesto que lo lógico sería que las personas que posean mayores ingresos deberían ser quienes posean teléfonos costosos.

5.5.3.9 Disponibilidad para Adquirir Equipos LTE Según el Nivel de Ingresos

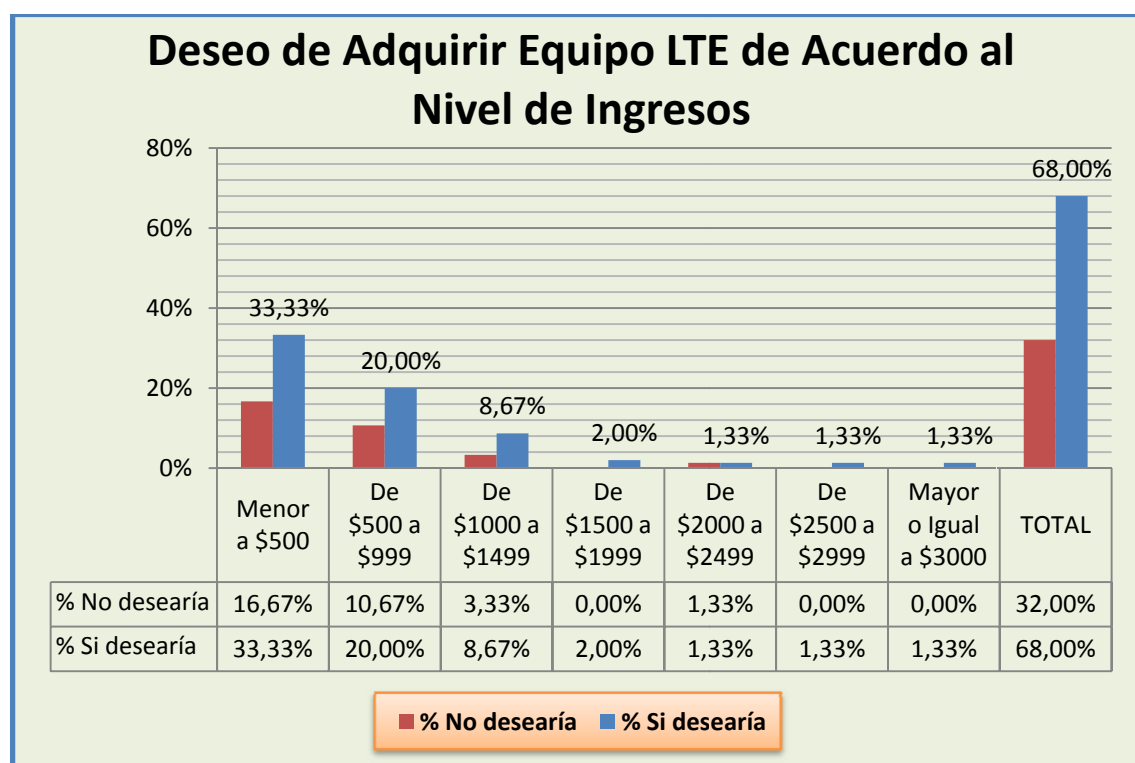


Figura 101: Porcentajes de la adquisición de un móvil 4G, según el nivel de ingresos.

De acuerdo a los ingresos mensuales de la muestra da como resultado que el 68% si está dispuesto en adquirir el nuevo equipo LTE mientras que el 32% no desearía todavía una nueva adquisición.

Además, el mayor porcentaje que está dispuesto a adquirir los nuevos equipos pertenecen al sector juvenil, demostrando ser un punto fuerte para establecer un nicho de mercado importante en este sector, por lo que las estrategias de marketing deberían tener una buena orientación hacia esta porción de mercado

5.5.3.10 Tipo de Plan a Escoger Según el Nivel de Ingresos

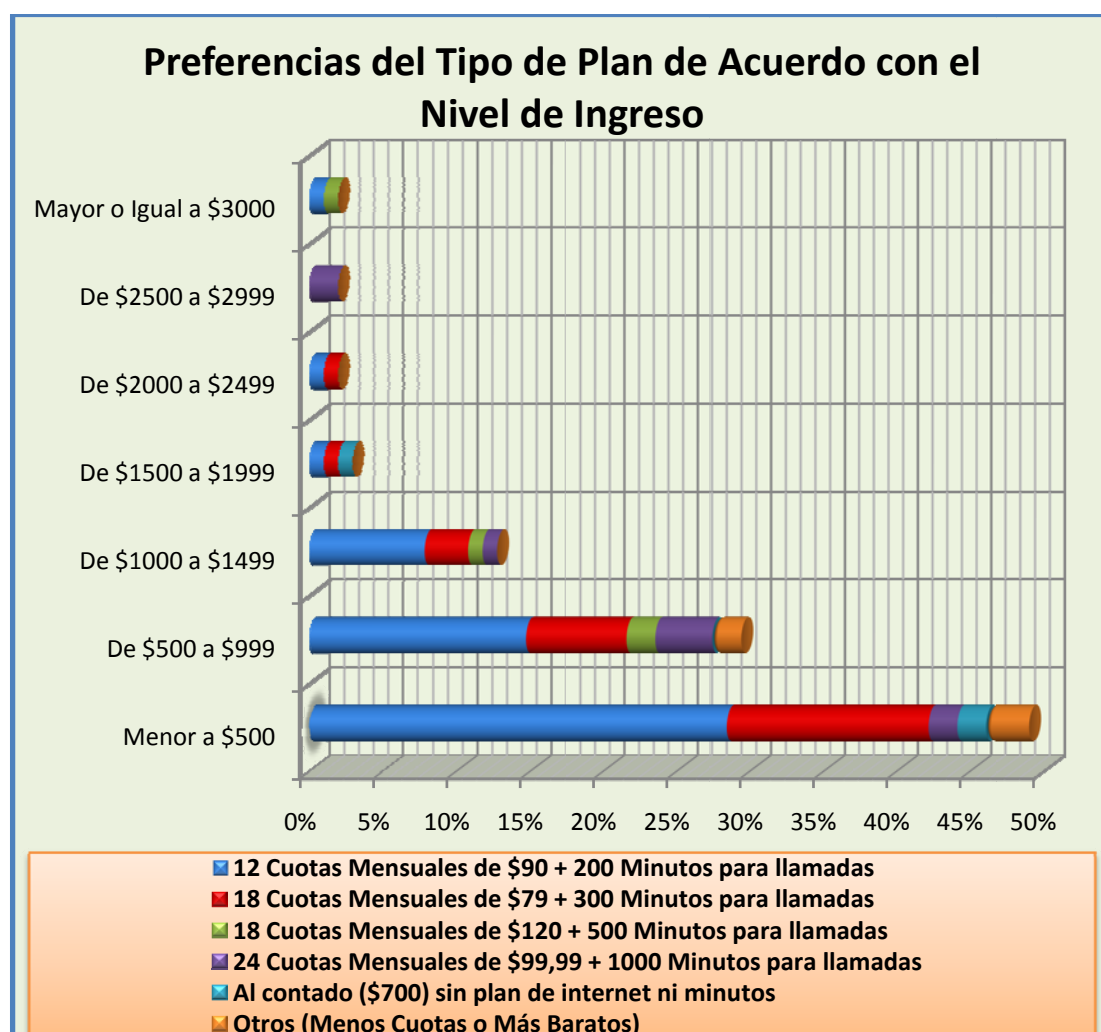


Figura 102: Preferencia del tipo de plan LTE, según el nivel de ingresos.

En conclusión: La adquisición de un nuevo equipo LTE, de la población de personas encuestadas, las estadísticas demuestran que este proyecto al ser pionero, tendrá un gran nivel de aceptación siempre y cuando exista la suficiente facilidad de pago para la adquisición de dicho producto dentro de las promociones de planes de telefonía celular.

5.6 Cálculo de Ingresos Estimados

Para estimar los posibles ingresos que se podrían tener al implementar LTE, en primer lugar se delimita el tamaño de la población y tenemos:

Población del Ecuador Proyectada para el 2010	14.204.900
Población del Ecuador Menor de 10 años	2.865.682
Población del Ecuador Mayor a 65 años	896.507
Número de habitantes que son potenciales clientes de la Telefonía Móvil	10.442.711

Tabla 17: Datos poblacionales del Ecuador. Fuente INEC

Tomando en cuenta que según las encuestas el 68% aceptaría cambiar de equipo y que la SUPERTEL (figura 70), en su página oficial muestra aproximadamente que el 12.11% de las líneas móviles (voz y datos) son pos pago, si se aplican estos porcentajes a la cantidad de habitantes tenemos:

Decisiones	% usuarios de Operador	Usuarios de Operador
Usuarios que desearía cambiar su equipo por uno con LTE	68,00%	7.101.043
El 12,11% Usuarios de telefonía Móvil son Pospago (SUPERTEL - Mar 2010)	12,11%	859.937

Tabla 18: Cantidad de usuarios Pos Pago.

En resumen existen 859.937 clientes potenciales de pos pago, estos corresponderían al total de los operados, por lo que si se distribuyen como se encuentra en la actualidad se estiman los usuarios como se indica en la columna 2 de la tabla 19.

Ahora se obtiene el número de posibles usuarios por operadora tomando un 20% de usuarios potenciales como punto de partida para el 1er año, siendo el 20 % el promedio anual durante el periodo de los 5 años. Datos en la Tabla 19.

División por Operadora de Acuerdo con Porcentajes de Obtenidos de Usuarios	% usuarios por Operador	Usuarios por Operador	Usuarios Año1	Usuarios Año2	Usuarios Año3	Usuarios Año4	Usuarios Año 5
Movistar	41,14%	353.778	70.755,00	141.510,00	212.266,00	283.022,00	353.778,00
Porta	55,70%	478.985	95.797	191.594	287.391	383.188	478.985
Alegro	3,16%	27.174	5.435	10.869	16.304	21.739	27.174
TOTAL	100,00%	859.937	171.987	343.973	515.961	687.949	859.937

Tabla 19: Proyección de Usuarios para 5 años.

De acuerdo con esto los y con los valores de los planes aquí plantados, se tiene el valor de de cada uno de los planes plantados al año y en un mes, lo mismo que se puede ver en la tabla 21.

Planes	Precio	Precio Anual
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	\$ 90,00	\$ 1.080,00
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	\$ 79,00	\$ 948,00
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	\$ 120,00	\$ 1.440,00
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para llamadas	\$ 99,99	\$ 1.199,88
Al contado (\$700) sin plan de internet ni minutos	\$ 700,00	\$ 700,00

Tabla 20: Precios de los Planes.

Se ha tomado en cuenta también el dato de la tasa de crecimiento anual de la población del Ecuador, tomado como fuente al INEC, cuyo valor corresponde al 2%, utilizado para estimar el porcentaje de crecimiento de los usuarios para dentro de 5 años, y así saber quiénes serán nuestros clientes potenciales en cada una de las operadoras.

5.6.1 Estimación de Ingresos Movistar

Debido a que el 4.90% no deseaba ninguno de los planes previamente plantados, son ignorados a la hora de calcular los ingresos por año.

MOVISTAR	% de Aceptación	Usuarios Año 1	Usuarios Año 2	Usuarios Año 3	Usuarios Año 4	Usuarios Año 5
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	53,92%	38.152	77.067	116.761	157.249	198.546
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	25,49%	18.036	36.432	55.196	74.336	93.858
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	3,92%	2.775	5.605	8.492	11.436	14.440
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para llamadas	8,82%	6.243	12.611	19.106	25.732	32.489
Al contado (\$700) sin plan de internet ni minutos	2,94%	2.081	4.204	6.369	8.577	10.830
Otros (Menos Cuotas o Planes Más Baratos)	4,90%	3.468	7.006	10.615	14.295	18.050
TOTAL	100,00%	70.755	142.925	216.539	291.625	368.213

Tabla 21: Usuarios por Tipo de Plan para MOVISTAR.

MOVISTAR	Ingresos en el Año 1	Ingresos en el Año 2	Ingresos en el Año 3	Ingresos en el Año 4	Ingresos en el Año 5
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	\$ 41.204.160,00	\$ 83.232.360,00	\$ 126.101.880,00	\$ 169.828.920,00	\$ 214.429.680,00
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	\$ 17.098.128,00	\$ 34.537.536,00	\$ 52.325.808,00	\$ 70.470.528,00	\$ 88.977.384,00
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	\$ 3.996.000,00	\$ 8.071.200,00	\$ 12.228.480,00	\$ 16.467.840,00	\$ 20.793.600,00
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para llamadas	\$ 7.490.850,84	\$ 15.131.686,68	\$ 22.924.907,28	\$ 30.875.312,16	\$ 38.982.901,32
Al contado (\$700) sin plan de internet ni minutos	\$ 1.456.700,00	\$ 2.942.800,00	\$ 4.458.300,00	\$ 6.003.900,00	\$ 7.581.000,00
TOTAL	\$ 71.245.838,84	\$ 143.915.582,68	\$ 218.039.375,28	\$ 293.646.500,16	\$ 370.764.565,32

Tabla 22: Ingresos Para 5 Años. Movistar.

5.6.2 Estimación de Ingresos Porta

PORTA	% de Aceptación	Usuarios Año 1	Usuarios Año 2	Usuarios Año 3	Usuarios Año 4	Usuarios Año 5
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	53,92%	51.655	104.343	158.085	212.902	268.815
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	25,49%	24.419	49.326	74.731	100.644	127.076
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	3,92%	3.757	7.589	11.497	15.484	19.550
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para llamadas	8,82%	8.453	17.074	25.868	34.838	43.988
Al contado (\$700) sin plan de internet ni minutos	2,94%	2.818	5.691	8.623	11.613	14.663
Otros (Menos Cuotas o Planes Más Baratos)	4,90%	4.695	9.486	14.372	19.355	24.437
TOTAL	100,00%	95.797	193.509	293.176	394.836	498.529

Tabla 23: Usuarios por Tipo de Plan para PORTA

PORTA	Ingresos en el Año 1	Ingresos en el Año 2	Ingresos en el Año 3	Ingresos en el Año 4	Ingresos en el Año 5
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	\$ 55.787.400,00	\$ 112.690.440,00	\$ 170.731.800,00	\$ 229.934.160,00	\$ 290.320.200,00
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	\$ 23.149.212,00	\$ 46.761.048,00	\$ 70.844.988,00	\$ 95.410.512,00	\$ 120.468.048,00
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	\$ 5.410.080,00	\$ 10.928.160,00	\$ 16.555.680,00	\$ 22.296.960,00	\$ 28.152.000,00
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para llamadas	\$ 10.142.585,64	\$ 20.486.751,12	\$ 31.038.495,84	\$ 41.801.419,44	\$ 52.780.321,44
Al contado (\$700) sin plan de internet ni minutos	\$ 1.972.600,00	\$ 3.983.700,00	\$ 6.036.100,00	\$ 8.129.100,00	\$ 10.264.100,00
TOTAL	\$ 96.461.877,64	\$ 194.850.099,12	\$ 295.207.063,84	\$ 397.572.151,44	\$ 501.984.669,44

Tabla 24: Ingresos Para 5 Años. PORTA.

5.6.3 Estimación de Ingresos Alegro

ALEGRO	% de Aceptación	Usuarios Año 1	Usuarios Año 2	Usuarios Año 3	Usuarios Año 4	Usuarios Año 5
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	53,92%	2.931	5.919	8.968	12.078	15.187
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	25,49%	1.385	2.798	4.239	5.709	7.179
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	3,92%	213	430	652	878	1.105
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para llamadas	8,82%	480	969	1.467	1.976	2.485
Al contado (\$700) sin plan de internet ni minutos	2,94%	160	323	489	659	828
Otros (Menos Cuotas o Planes Más Baratos)	4,90%	266	538	816	1.098	1.381
TOTAL	100,00%	5.435	10.977	16.631	22.398	28.165

Tabla 25: Usuarios por Tipo de Plan para ALEGRO

ALEGRO	Ingresos en el Año 1	Ingresos en el Año 2	Ingresos en el Año 3	Ingresos en el Año 4	Ingresos en el Año 5
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	\$ 3.165.480,00	\$ 6.392.520,00	\$ 9.685.440,00	\$ 13.044.240,00	\$ 16.401.960,00
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	\$ 1.312.980,00	\$ 2.652.504,00	\$ 4.018.572,00	\$ 5.412.132,00	\$ 6.805.692,00
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	\$ 306.720,00	\$ 619.200,00	\$ 938.880,00	\$ 1.264.320,00	\$ 1.591.200,00
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para llamadas	\$ 575.942,40	\$ 1.162.683,72	\$ 1.760.223,96	\$ 2.370.962,88	\$ 2.981.701,80
Al contado (\$700) sin plan de internet ni minutos	\$ 112.000,00	\$ 226.100,00	\$ 342.300,00	\$ 461.300,00	\$ 579.600,00
TOTAL	\$ 5.473.122,40	\$ 11.053.007,72	\$ 16.745.415,96	\$ 22.552.954,88	\$ 28.360.153,80

Tabla 26: Ingresos Para 5 Años. ALEGRO.



5.7 ¿Puede LTE Generar Ganancias?

Para poder estimar si LTE puede dejar alguna clase de ganancia o utilidad, hemos tomado en cuenta algunos aspectos teóricos, como es el hecho del costo de un equipo móvil LTE, por lo que, para las encuestas se estimó un valor promedio por equipo de \$700 con el plan adicional del servicio. Este dato aún no es de conocimiento público pues como se ha mencionado aún se encuentran en pruebas.

De igual Forma para los equipos de las estaciones base, no fue posible conseguir la información de costos de este tipo de equipos se intento con las operadoras de nuestro país pero son datos que manejan con mucho recelo, sin embargo se va a considerar una inversión de 200 millones de dólares, siendo en el primer año de 120 Millones de dólares y en los cuatro siguientes de 20 Millones anuales.

En lo que respecta al Módem USB que comercializa TeliaSonea en los países donde ya ha empezado a introducir LTE, lo hemos ignorado pues nuestro propósito es mostrar el nivel de aceptación más que nada en equipos de teléfonos celulares.

Es necesario aclarar que para el cálculo de los siguientes datos hemos tomado en cuenta que sin importar la marca del equipo LTE que se pudiese adquirir por operadora, su costo sería un valor promedio constante, ahora si se toma un valor de \$650 como costo de cada equipo para la empresa en cuestión, se puede obtener las siguientes tablas por operadora.



- **Reporte para Movistar**

MOVISTAR	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
USUARIOS	70.755	142.925	216.539	291.625	368.213
INGRESOS	\$ 71.245.838,84	\$ 143.915.582,68	\$ 218.039.375,28	\$ 293.646.500,16	\$ 370.764.565,32
COSTO DE VENTA	\$ 45.990.750,00	\$ 46.910.500,00	\$ 47.849.100,00	\$ 48.805.900,00	\$ 49.782.200,00
UTILIDAD BRUTA	\$ 25.255.088,84	\$ 97.005.082,68	\$ 170.190.275,28	\$ 244.840.600,16	\$ 320.982.365,32
GASTOS DE VENTA Y DE OPERACIONES	-\$ 3.562.291,94	-\$ 7.195.779,13	-\$ 10.901.968,76	-\$ 14.682.325,01	-\$ 18.538.228,27
INVERSIÓN	-\$ 120.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-\$ 98.307.203,10	\$ 69.809.303,55	\$ 139.288.306,52	\$ 210.158.275,15	\$ 282.444.137,05
15% PARTICIPACION TRABAJADORES		\$ 14.550.762,40	\$ 25.528.541,29	\$ 36.726.090,02	\$ 48.147.354,80
UTILIDAD ANTES I.R.	-\$ 98.307.203,10	\$ 55.258.541,14	\$ 113.759.765,22	\$ 173.432.185,13	\$ 234.296.782,26
IMPUESTO A LA RENTA 25%		-\$ 13.814.635,29	-\$ 28.439.941,31	-\$ 43.358.046,28	-\$ 58.574.195,56
UTILIDAD NETA	-\$ 98.307.203,10	\$ 41.443.905,86	\$ 85.319.823,92	\$ 130.074.138,85	\$ 175.722.586,69

Tabla 27: Generación de utilidades para MOVISTAR.

El TIR y el VAN se podrían estimar en:

Inflación	12%
TIR	22%
VAN	\$ 61.042.577,28

- **Reporte para Porta**

PORTA	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
USUARIOS	95.797	193.509	293.176	394.836	498.529
INGRESOS	\$ 96.461.877,64	\$ 194.850.099,12	\$ 295.207.063,84	\$ 397.572.151,44	\$ 501.984.669,44
COSTO DE VENTA	\$ 62.268.050,00	\$ 63.512.800,00	\$ 64.783.550,00	\$ 66.079.000,00	\$ 67.400.450,00
UTILIDAD BRUTA	\$ 34.193.827,64	\$ 131.337.299,12	\$ 230.423.513,84	\$ 331.493.151,44	\$ 434.584.219,44
GASTOS DE VENTA Y DE OPERACIONES	-\$ 4.823.093,88	-\$ 9.742.504,96	-\$ 14.760.353,19	-\$ 19.878.607,57	-\$ 25.099.233,47
INVERSIÓN	-\$ 120.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-\$ 90.629.266,24	\$ 101.594.794,16	\$ 195.663.160,65	\$ 291.614.543,87	\$ 389.484.985,97
15% PARTICIPACION TRABAJADORES		\$ 19.700.594,87	\$ 34.563.527,08	\$ 49.723.972,72	\$ 65.187.632,92
UTILIDAD ANTES I.R.	-\$ 90.629.266,24	\$ 81.894.199,30	\$ 161.099.633,57	\$ 241.890.571,15	\$ 324.297.353,05
IMPUESTO A LA RENTA 25%		-\$ 20.473.549,82	-\$ 40.274.908,39	-\$ 60.472.642,79	-\$ 81.074.338,26
UTILIDAD NETA	-\$ 90.629.266,24	\$ 61.420.649,47	\$ 120.824.725,18	\$ 181.417.928,36	\$ 243.223.014,79

Tabla 28: Generación de utilidades para PORTA.

De aquí se puede obtener el TIR y el VAN para esta operadora sería:

Inflación	12%
TIR	36%
VAN	\$ 167.278.102,29

• Reporte para Alegro

ALEGRO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
USUARIOS	5.435	10.977	16.631	22.398	28.165
INGRESOS	\$ 5.473.122,40	\$ 11.053.007,72	\$ 16.745.415,96	\$ 22.552.954,88	\$ 28.360.153,80
COSTO DE VENTA	\$ 3.532.750,00	\$ 3.602.300,00	\$ 3.675.100,00	\$ 3.748.550,00	\$ 3.748.550,00
UTILIDAD BRUTA	\$ 1.940.372,40	\$ 7.450.707,72	\$ 13.070.315,96	\$ 18.804.404,88	\$ 24.611.603,80
GASTOS DE VENTA Y DE OPERACIONES	-\$ 273.656,12	-\$ 552.650,39	-\$ 837.270,80	-\$ 1.127.647,74	-\$ 1.418.007,69
INVERSIÓN	-\$ 120.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00	-\$ 20.000.000,00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-\$ 118.333.283,72	-\$ 13.101.942,67	-\$ 7.766.954,84	-\$ 2.323.242,86	\$ 3.193.596,11
15% PARTICIPACION TRABAJADORES		\$ 1.117.606,16	\$ 1.960.547,39	\$ 2.820.660,73	\$ 3.691.740,57
UTILIDAD ANTES I.R.	-\$ 118.333.283,72	-\$ 14.219.548,82	-\$ 9.727.502,23	-\$ 5.143.903,60	-\$ 498.144,46
IMPUESTO A LA RENTA 25%		-\$ 3.554.887,21	-\$ 2.431.875,56	-\$ 1.285.975,90	-\$ 124.536,12
UTILIDAD NETA	-\$ 118.333.283,72	-\$ 17.774.436,03	-\$ 12.159.377,79	-\$ 6.429.879,50	-\$ 622.680,58

Tabla 29: Generación de utilidades para ALEGRO.

De aquí se puede obtener el TIR y el VAN

Inflación	12%
TIR	#iNUM!
VAN	-\$ 225.820.378,99

De todos estos datos se puede comprender como la cantidad de usuarios es un factor muy determinante a la hora de determinar si es rentable que una empresa operadora de TM opte por la migración de una tecnología a otra. Así PORTA sería la primera empresa en tomar la decisión de la migración hacia LTE, mientras que la existencia de ALEGRO se vería comprometida con la quiebra de la empresa puesto que maneja una porción pequeña del mercado de TM en el Ecuador.

Por otra parte, considerando los datos de las encuestas y junto con los datos estimados de rentabilidad, MOVISTAR podría mejorar su rentabilidad con respecto de LTE al explotar el sector más influyente a la hora de cambiar un equipo móvil, la juventud, y donde MOVISTAR muestra poseer cierta superioridad en la cantidad de usuarios, al menos en la ciudad de Cuenca.

También se puede estimar el punto de equilibrio si consideramos el margen de contribución promedio anual, como se indica en la tabla siguiente según los porcentajes de las encuestas se estima el margen promedio ponderado de contribución anual por cliente, lo que da un valor de \$440,70; si se considera solamente la inversión de \$200'000.000,00 resulta que se debería alcanzar los 435.821 clientes, es decir que si se considera a un plan a cinco años, en promedio deberían ser 90.764 clientes por año mínimo para alcanzar a cubrir solamente la inversión sin incluir otros gastos como publicidad, licencia, etc.

	Porcentaje	Valor Anual	Costo equipo en el año	Margen de contribución
12 Cuotas Mensuales de \$90 + 200 Minutos para llamadas	53.92%	\$ 1,080.00	\$ 700.00	\$ 380.00
18 Cuotas Mensuales de \$79 + 300 Minutos para llamadas	25.49%	\$ 948.00	\$ 466.67	\$ 481.33
18 Cuotas Mensuales de \$120 + 500 Minutos para llamadas	3.92%	\$ 1,440.00	\$ 466.67	\$ 973.33
24 Cuotas Mensuales de \$99,99 + 1000 Minutos para	8.82%	\$ 1,199.88	\$ 350.00	\$ 849.88
Al contado (\$700) sin plan de Internet ni minutos	2.94%	\$ 700.00	\$ 700.00	\$ -
Valor ponderado		\$ 1,006.84	\$ 566.14	\$ 440.70

Tabla 30: Punto de equilibrio según el margen de contribución.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de LTE, se ha visto que esta tecnología proporciona servicios de grandes anchos de Banda además soporta el uso para clientes en movimiento. Donde las experiencias de los usuarios serían excepcionales, pues en conjunto con las rápidas velocidades de subida y bajada se espera una larga duración de la batería, todo ello en un formato reducido.

LTE ofrece velocidades de descarga de 100Mb/s y de subida de 50 Mb/s por cada 20 MHz de espectro asignado; situaciones que permiten a los consumidores lo que están buscando con la eficiencia espectral que necesitan los operadores. Incluso con velocidades de datos más elevadas, como un máximo de 326,3 Mb/s en descarga si se utilizan múltiples antenas. Dado que los clientes de móviles esperan que su servicio trabaje en cualquier lugar, es importante que, pese a haberse optimizado a velocidades de 0-15 km/h, LTE puede ofrecer soporte a unas elevadas prestaciones de gran movilidad incluso cuando el dispositivo se desplaza a 120-250 km/h.

LTE tiene como propósito manejar altas tasas de velocidades en las transmisiones de datos, esto implica que necesariamente la modulación sea más compleja, razón por la cual usa OFDM, y para esto también se necesita de que los arreglos de antenas o sistemas de antenas sean también más complejos, por esto el uso de MIMO en sus diversas formas de presentación por así llamarlo, donde existe un ambiente multitrayecto, y cuando existe aumentos en las tasas de transmisiones, se puede dar altas interferencias, degradando mucho la señal, entonces para poder



solucionar la presencia de ISI, lo más usual es usar ecualizadores que sin embargo a velocidades superiores a 1Mbps, la complejidad en el ecualizador también aumenta, para lo cual existe una solución alternativa como los el MCM o Modulación Multi Portador (Multi-Carrier Modulation), donde el canal se parte en sub-bandas de tal manera que la interferencia sobre cada sub-canal se desvanece, eliminando el problema del ISI en la transmisión.

Aunque sin el detalle completo, las especificaciones de LTE contienen mucha información útil. Es completamente posible construir un cuadro bastante exacto de la capa física de LTE en este momento, sin embargo en algunos puntos críticos omiten información, es por eso que dichas publicaciones piden trabajar solo con la especificación 3GPP de LTE.

Adicionalmente hay que tomar en cuenta que MIMO tiene la capacidad de incrementar las tasas de transmisión por el mismo hecho de que se usan multitrayectos permitiendo que disminuya la probabilidad de error, puesto que tanto antenas transmisoras como receptoras trabajan en coordinación para optimizar el rendimiento del canal, por ejemplo mediante multiplexación espacial donde la señal a transmitir se divide en varios flujos de datos de menor velocidad que se transmiten a la misma frecuencia por medio de cada una de las antenas transmisoras.

Esta multiplexación es necesaria para lograr la mayor tasa de datos en el downlink de 100Mbps y poder incrementar la cantidad de datos o volumen de información que son transmitidos hacia o desde algún punto de la red.

LTE y WIMAX con su versión móvil 802.16e, son consideradas como las tecnologías de cuarta generación para las comunicaciones móviles debido a las altas tasas binarias que pueden manejar y a latencias reducidas con costos de terminales razonables, sin embargo LTE ha sido la elegida por la mayoría, por no decir que toda la industria de comunicación móvil, como la más adecuada para ser implementada debido a aspectos como que LTE puede operar a 5bits/Hz, es decir que puede manejar arriba de los 100Mbps por sector para un canal de 20MHz, además que para poder acelerar su implementación, LTE ha implementado para el enlace ascendente la modulación SC-FDMA, que mantiene las ventajas de la modulación OFDM, pero



que además permite que los requerimientos de los amplificadores de potencia se reduzcan. En si se puede que este hecho se da porque LTE fue diseñado desde un comienzo para que el uso de comunicaciones móviles, mientras que WIMAX ha sido modificada para tratar de ser implementada en el mismo mercado. Al usar esta modulación ascendente se tienen canales tanto para el uplink como para el downlink, tanto físicos como los lógicos que se encargan de comunicarse con la capa físico con la lógica que es la que maneja el sistema celular.

Es necesario recalcar que algunos dispositivos móviles LTE que no precisamente manejen solo datos podrían dar soporte a técnicas de duplexación FDD y TDD para permitir al usuario la adaptación dinámica a sistemas entre países. Lo que en conjunto con el trabajo sobre un ancho de banda escalable de 1,4 a 20 MHz tanto en subida como en bajada, tienen soporte a bandas de frecuencia móviles existentes.

Junto a las señales físicas están los canales físicos que llevan la información entre el usuario y el sistema. No existen canales especializados pues son una característica de sistemas que manejan solo paquetes. LTE al ser una red paquetizada, es orientada a trabajar sobre el protocolo IP, y de cierta forma se puede decir que es la versión móvil de las redes de nueva generación fijas o redes NGN, que hoy en día tanto luchan por llegar a ser implementadas en nuestro país Ecuador.

Por otra parte se ha podido analizar la realidad en la que el país se encuentra con la tecnología actual y los escenarios que tendríamos con la tecnología 4G, dando como resultado que no estamos preparados aún ni para 3.5G, pues los terminales móviles ya se encuentran presentes en el medio, y de acuerdo a las encuestas aproximadamente el 8% de las personas poseen teléfonos por encima de los \$400, eso implica que en nuestro medio ya se encuentran presentes los smartphones o teléfonos inteligentes en uso, lo que no existe es la suficiente infraestructura de red por parte de las operadoras para soportar esta tecnología, pues esto es un marketing de publicidad como la descarga de información a 50Mbps, pero la conexión móvil se vuelve tan lenta que muchas de las veces llegamos hasta el punto de perder dicha conexión, entonces quiere decir que no estamos navegando en una red 3G, sino en 2G; puesto que las operadoras saben que la mayoría de abonados aún poseen dicha

tecnología que también permite navegación a internet pero a velocidades bajas con una calidad de servicio degradada; situación que para bajar un video con alta definición o realizar una video llamada a tiempo real, se vuelve casi imposible; pero estos servicios adicionales y muchos más, si los posee Long Term Evolution (4G), que viene con tal potencia que ya operadoras de todo el mundo como la misma Telefónica en España apuestan ya a la incorporación de dicha tecnología en su mercado, no solo porque las exigencias del cliente son muy estrictas, sino porque saben que las ganancias van a ser muchas, y se ha comprobado a través del proyecto de tesis con el análisis económico, que aquí las operadoras deben apostar también a esta migración; y lo excepcional es que esta tecnología permite pasar de 2G a 4G sin la necesidad de pasar antes por 3G.

Es tan grande como ha crecido este otro mundo que se llama Internet, que ahora se vuelve completamente móvil, y la cantidad de datos que se manejan hoy en día contribuirán a su crecimiento; la velocidad, el desempeño y la eficiencia de LTE supera a todas las tecnologías existentes ya que sus prestaciones rompen los esquemas y los límites que hoy en día vemos y hasta manejamos en lo que se refiere a descarga y subida de información por la web, aplicaciones de entretenimiento para los amantes de los juegos y cine; en fin hay un sinnúmero de motivos por el cual LTE se convierte en una herramienta para la convergencia fijo-móvil en donde como se dijo con anterioridad las operadoras se estarían inclinando por LTE.

Para aquellas operadoras que desean implementar LTE como su infraestructura celular, deben tomar mucho en cuenta el método de migración, donde lo más normal y rentable es lo que hoy en día se hace en el país pero con el paso de 2G a 3G, que es manejar primero la implementación de una red de datos, luego usar las tecnologías anteriores para dar el servicio de voz, mientras usan la actual solo para datos, permitiendo a los clientes el uso de voz y datos al mismo tiempo, y finalmente permitir el uso de la nueva tecnología tanto para voz como para datos.

Debido a que aún hay tiempo, diferentes alternativas siguen posicionándose a la espera de que algún operador decida presionar a algún fabricante de terminales para lanzar un dispositivo con LTE con los servicios de voz y SMS.

Hay que tomar en cuenta que recientemente se está implementado la 3G en el Ecuador, y que para cuando se haya recuperado la inversión por implementar la red, actualmente UMTS y para que esta sea completamente difundida, posiblemente luego se busque el paso a la 3.5G o HSPA, sin embargo creemos que lo mejor sería saltarse de la 3G a la 4G de manera directa pues para entonces LTE ya tendría completamente desarrollado la forma de implementar la voz en la misma arquitectura, ya sea usando el protocolo VOLGA u otro que permita que este hecho se dé, además de que se debe denotar que la arquitectura es diferente, lo que de cierta manera implicaría un gasto grande por optar pasarse a 4G sin la necesidad de pasar por la generación intermedia. Esto incluso se ha dado ya pues en muchos lugares decidieron no pasar por UMTS sino directamente dar uso a HSPA que fue la evolución de la anterior.

Tomando en cuenta los datos de las encuestas realizadas y de cómo la sociedad se entusiasma por el uso de la tecnología (fenómeno no precisamente propio del país sino del mundo), la aceptación por la cuarta generación de comunicaciones móviles y más exactamente de la telefonía móvil sería muy grande sobre todo entre los jóvenes, además de que el uso de herramientas de comunicación como el correo electrónico o el chat son tan difundidos que ya no es un lujo sino una necesidad en cualquier punto del planeta (lo que es muestra del mundo globalizado en el que vivimos).

El consumismo es tan grande, que existe ciegamente un respaldo en lo que el mercadeo plantea las operadoras ponen a consideración como es la llamada 3.5G que ya está presente en Ecuador, cuando en realidad todavía está en levantamiento tan solo el inicio de la tercera generación, y ya muchos principalmente los adolescentes buscan la adquisición de un equipo de grandes funcionalidades por el hecho de estar a la moda, aspecto muy bien explotado por las operadoras. Con este análisis económico realizado para la introducción de esta nueva tecnología en el medio, según los valores obtenidos, se ha comprobado que no solo va a ser rentable por todos los servicios expuestos para los consumidores, sino beneficiará también a las operadoras, y según estas encuestas realizadas, PORTA superaría el punto de equilibrio y también sería la que obtendría los mayores ingresos en un tiempo estimado en 5 años, por el hecho que la mayoría de la población maneja esta

operadora. El otro lado de la moneda, es la operadora ALEGRO, que sí mantiene su porcentaje de participación en el mercado, no le resultaría rentable, es decir que presentaría pérdidas muy grandes; este indicativo solo muestra que las dos operadoras con mayor penetración (PORTA y MOVISTAR), competirán por brindar esta tecnología a la gente, y la diferencia de ganancias, solo se plasmará en los servicios que oferten cada una de estas operadoras y los costos que impongan cada uno de sus proveedores.

De acuerdo con los datos obtenidos al final del análisis financiero, es posible determinar como el número de usuarios puede llegar a ser un factor determinante a la hora de verificar que tan rentable puede llegar a ser la migración hacia una nueva tecnología en los que respecta de la telefonía móvil, así se pudo ver que PORTA sería la más beneficiada ya que puede alcanzar mejores réditos económicos y enfrentarse de una mejor manera a lo que implica gastos por migración de tecnología.

Así ALEGRO se vería comprometida con la quiebra de la empresa puesto que maneja una porción pequeña del mercado de TM en el Ecuador. Por otra parte, considerando los datos de las encuestas y junto con los datos estimados de rentabilidad, MOVISTAR podría mejorar su rentabilidad con la migración LTE al explotar el sector más influyente a la hora de cambiar un equipo móvil, la juventud, y donde MOVISTAR muestra poseer cierta superioridad en la cantidad de usuarios, al menos en la ciudad de Cuenca, siendo un nicho de mercado a explotar con las estrategias de Marketing.

Un punto importante a considerar es la financiación del equipo LTE, ya que menos del 2% lo pagaría de contado, esto implica que las empresas deben manejar sus estrategias comerciales para brindar el servicio, en conjunto con la financiación de los equipos.

Otro factor que se ha considerado dentro de las estimaciones realizadas, es que no se toma en cuenta los costos fijos, como los que están inmersos los gastos de publicidad, los costos por implementación de equipos para la red, los salarios mensuales de los trabajadores etc., ya que todo esto se considera dentro de la

inversión para la implementación de Long Term Evolution. En lo que respecta a la publicidad, se puede tomar un porcentaje del gasto anual de una operadora de telefonía móvil para destinarlo a la campaña publicitaria de LTE; y costos fijos como lo es el arriendo de sitios para las estaciones base, o los salarios de los trabajadores, no se considera, ya que la operadora cubre estos costos a través de las ganancias de los servicios que ya están brindando. Otro punto a no considerar los costos fijos es que al introducir una tecnología nueva, en este caso LTE, no quiere decir que se tiene que contratar a gente nueva o se va a arrendar sitios nuevos para las estaciones, ya que no se vislumbraría las ganancias netas de la operadora a lo largo del tiempo estimado.

Una consideración que se puede poner a priori, es el hecho que ALEGRO, siendo una operadora nacional, adquiriría nuevos clientes, si invirtiera en esta tecnología nueva. Como se pudo ver en el análisis, existe pérdidas totales por la falta de penetración de mercado, pero el apoyo del Estado en su totalidad sería muy importante para ganar sitio en el mercado de las telecomunicaciones, sin necesidad de lograrlo por medio de la corrupción, al implementar LTE para ALEGRO. Sería excelente que esto se diera en nuestro medio, para competir con las demás operadoras, pero si bien es cierto, no existirá ganancias en 5 años o menos, pues las ganancias se daría en un largo tiempo, pero la clave está en que esta operadora debe innovar al 100%, arriesgando todo, porque en un par de años, esta operadora está al borde de dejar de existir en el mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

- GSM-UMTS Networks Migration to LTE, 3G AMERICAS, Febrero 2010
- Release 9, Release 10 and Beyond: HSPA+, LTE/SAE and LTE Advanced, 3GPP Mobile Broadband Innovation Path To 4G, 3G AMERICAS, Febrero 2010.
- Radio Systems for Radio Rural Communications: 3G, ITU/BDT Arab Regional Workshop on, 14 de Julio del 2009.
- 3GPP LTE Channels and MAC Layer, EventHelix.com Inc, 2009
- KELLY Dylan y SCHREPFERMAN Mark, Peregrine Semiconductor Corp. Artículo: Cubrir los retos Del cabezal LTE con RF CMOS, 2009
- 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges; Application Note, AGILENT TECHNOLOGIES, 19 de Mayo del 2008
- Long-Term Evolution (LTE): The vision beyond 3G, NORTEL NETWORKS, 2008
- SUMAN Subrat, 4G MOBILE COMMUNICATION SYSTEM, Cochin University of Science and Technology, Agosto 2008



- BARTH, Ulrich, 3GPP Long-Term Evolution/System Architecture Evolution Overview, ALCATEL, Septiembre 2006
- Positioning Paper: Driving 4G: WiMAX & LTE, MOTOROLA, 2007
- Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview, MOTOROLA, 2007
- AT&T Wireless Launches Commercial 3G Services Powered, NORTEL NETWORKS, UMTS Forum, 20 de Julio del 2004
- GANAPATHY Harish, “Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) Systems”
- An Overview of MIMO Communications – A Key to Gigabit Wireless”, A.J Paulraj, Gore, Nabar and Bolcskei, IEEE Trans Comm, 2003
- BARBADILLO Martínez, Juan Jesús, Evolución de la Banda Ancha Móvil.
- RAMOS Pascual, Sistemas MIMO, Francisco, Universidad Politécnica de Valencia.
- JUNQUERA Rafael, Artículo Web: Nuevo Síntoma de que LTE está más Fuerte que WIMAX, TELESEMANA.COM, Julio 2008
- CASTAÑO Omar Alfredo, Estudio de Factibilidad para la Adopción del sistema de Televisión en Colores en Argentina, pág. 8
- Telefonica conducts 1st tests of LTE in Spain <http://www.cellular-news.com/story/36835.php>
- Estadísticas sobre Situación de Telefonía Móvil, Superintendencia de Telecomunicaciones (2001,2002: CONECEL S.A.) y (2001, 2002 y 2003: OTECEL S.A.)



- ARIJIT UKIL, 4G Networks and Long Term Evolution, TATA Consultancy Services
- HONTZEAS Antonis, Long Term Evolution, 2009
- <http://www.conelectronica.com/rf-wireless/cubrir-los-retos-del-cabezal-lte-con-rf-cmos>
- <http://www.conelectronica.com/redes-wireless/soluciones-spinner-gmbh-para-lte>
- http://www.mobileinfo.com/3G/Beyond3G_FlashOFDM.html
- <http://gigaom.com/2008/03/05/a-little-4g-sibling-rivalry/>
- <http://mobile-voip.tmcnet.com/topics/mobile-communications/articles/21917-wimax-vs-lte.htm>
- <http://mmadan.wordpress.com/2008/02/13/wimax-vs-lte-the-battle-for-wireless-domination/>
- www.itu.int/ITU-D/treg/
- <http://www.4g.co.uk/Archive.html>
- [http://www.idg.es/pcworldtech/Promesas_\(y_futuras_realidades\)_de_4G/art185167-movilidad.htm](http://www.idg.es/pcworldtech/Promesas_(y_futuras_realidades)_de_4G/art185167-movilidad.htm)



ANEXOS

ENCUESTA PARA CONOCER LA DISPOSICIÓN DEL PÚBLICO PARA CON EL SERVICIO DE INTERNET MÓVIL BANDA ANCHA CON LA CUARTA GENERACION (4G-LTE)

Debido a los constantes cambios tecnológicos a la acogida creciente que se va dando a los teléfonos inteligentes (smart phones) como el iPhone o el Blackberry y sobre todo a la necesidad de mantenerse “conectados con el mundo” un grupo de estudiantes de la **Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca**, ha decidido realizar la presente encuesta con el fin de determinar el comportamiento del mercado de telefonía móvil con respecto a estos sucesos.

De antemano gracias por su ayuda.

1. Edad (años cumplidos)

2. Indique su nivel de Instrucción

Escuela

Colegio

Estudiante Univ.

Años aprobados: _____

Superior

Título: _____

Cuarto Nivel

Título: _____

3. Marque su Género

Masculino

Femenino

4. Indique su estado civil:

Soltero

Casado

Unión Libre

Divorciado

Viudo

5. ¿Los celulares ó móviles que utilizan sus amistades, a que operadora pertenece la mayoría?

Movistar

Porta

Alegro

6. Y usted, ¿a qué operadora pertenece?

Movistar

Porta

Alegro

7. ¿Qué servicios considera importantes para su equipo portátil celular (4G)?

E-mail

Chat

Messenger

Facebook

Localización por GPS

Transferencia de Archivos

Navegador Web

Juegos en línea (Multijugador)

Procesador de textos (ej. Word)

Hojas de cálculo (ej. Excel)

Descarga de Archivos de todo tipo (Música, Videos, etc.)

Mantener la conexión a Internet mientras viaja a velocidades superiores a los 150km/h ☐

Otros, Especifique: _____

8. ¿En qué rango de valores aproximadamente se encuentra su equipo móvil?

Menor a \$50	☐	De \$50 a \$99	☐
De \$100 a \$149	☐	De \$150 a \$ 199	☐
De \$200 a \$249	☐	De \$250 a \$ 299	☐
De \$300 a \$349	☐	De \$350 a \$ 399	☐
De \$400 a \$449	☐	De \$450 a \$ 499	☐
De \$500 a \$549	☐	De \$550 a \$ 599	☐
De \$600 a \$649	☐	De \$650 a \$ 699	☐
De \$700 a \$749	☐	Mayor o Igual a \$750	☐

9. ¿Usted estaría dispuesto a adquirir un equipo móvil de cuarta generación, que contenga todas las ventajas y servicios de un iPhone, Blackberry, Palm y computador personal en un solo dispositivo?

SI ☐ NO ☐

- En caso de ser afirmativo, Seleccione el plan que sea el más acorde a su situación, caso contrario pase a la pregunta diez.

• **Nota: incluye plan Internet de 1Gb**

12 Cuotas mensuales \$90 ☐	24 Cuotas mensuales \$99.99 ☐
+ 200 Minutos para llamadas	+ 1000 Minutos para llamadas
18 Cuotas mensuales \$79 ☐	18 Cuotas mensuales \$120 ☐
+ 300 Minutos para llamadas	+ 500 Minutos para llamadas
Al contado (\$700.00) sin plan de Internet ni minutos	☐

Otros, especifique: _____

10. ¿Cuál es su nivel de ingresos promedio mensual?

Menor a \$ 500	☐	De \$500 a \$ 999	☐
De \$1.000 a \$1.499	☐	De \$1.500 a \$ 1.999	☐
De \$2.000 a \$2.499	☐	De \$2.500 a \$ 2.999	☐
Mayor o igual a \$3.000	☐		