

EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES MOVILES Y POSIBILIDADES DE MIGRACIÓN A REDES

4G

SERGIO ANDRES SEPULVEDA LEIVA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTA
2014**

**EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES MOVILES Y POSIBILIDADES DE MIGRACIÓN A REDES
4G**

Presentado Por:

**SERGIO ANDRES SEPULVEDA LEIVA
CODIGO: 2050162**

Monografía para optar el Título de Ingeniero de Telecomunicaciones

Dirigido por:

**ING. JULIO ERNESTO SUAREZ PAEZ
Magister en ingeniería de telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTA
2014**

RECTOR GENERAL

Padre Carlos Mario Álzate Montes, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

Padre Jaime Monsalve Trujillo O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

Fray Eduardo González Gil

SECRETARIO GENERAL

Doctor Héctor Fabio Jaramillo Santamaría

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

Padre Pedro José Díaz Camacho, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

E. C. Myriam Gómez Colmenares

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

Ingeniero Miguel Eugenio Arias Flórez

Nota de aceptación.

Firma Ingeniero. Julio Ernesto Suárez Páez
Tutor Asignado

Firma del Jurado

Fecha

Advertencia

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados por el autor (es) del trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para dar un paso más en mi proyecto de vida alcanzando la primera meta de muchas, culminar mis estudios profesionales.

También doy gracias a todas las personas que han estado a mi lado durante este largo camino, a mis padres que han estado todo el tiempo apoyándome y no dejando que me rinda en los momentos difíciles, a todos mis profesores que me han aportado sus conocimientos ayudando a fortalecer todos los conocimientos y experiencias de vida que he adquirido durante todos estos años especialmente a los ingenieros Carlos Enrique Montenegro, Víctor Castro y Julio Cesar Pulido quienes en su momento me ayudaron a enfocar y centrar las metas que debía tener, a mis compañeros que fueron de gran ayuda y estuvieron en todas las experiencias de vida que han formado mi personalidad y el hombre que soy ahora.

Uno de los agradecimientos más grandes es a la Universidad Santo Tomas por permitirme ser parte de esta gran familia a la cual siempre dejare en alto a todo lugar donde vaya.

Finalmente doy gracias a Grupo Konecta por permitirme afianzar los conocimientos adquiridos durante la carrera y aportando una gran experiencia de vida que me ha permitido confirmar que esta es la profesión que quiero desarrollar durante mi vida.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	6
Índice de figuras	11
Índice de tablas.	13
PARTE 1	14
1 INTRODUCCIÓN A LA MONOGRAFIA.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN	16
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.4 OBEJTIVO GENERAL.....	19
1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
PARTE 2	20
2 MARCO TEORICO.....	20
2.1 GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILITY).....	21
2.1.1 Arquitectura de la red GSM.....	21
2.1.2 Protocolos e interfaces.....	24
2.1.3 Acceso al medio.....	26
2.1.4 Canales físicos y lógicos.....	27
2.2 UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM)	28
2.2.1 Desarrollo de UMTS	28
2.2.2 Servicios prestados por UMTS.....	28
2.2.3 Arquitectura	30
2.2.4 Interfaces.....	32
2.2.5 Controlador de la red de radio	33
2.2.6 Nodo B.....	33
2.2.7 Equipos de usuario UMTS	33
2.2.8 Movilidad.....	33
2.2.9 Arquitectura de los protocolos de la interfaz de radio	34
2.2.10 Acceso múltiple de radio.....	35
2.3 HSPA (HIGH SPEED PACKET ACCESS).....	36
2.4 LTE (Long Term Evolution).....	38
2.4.1 Impulsores de la demanda para LTE	39

2.4.1.1	<i>Crecimiento en el desarrollo de aplicaciones que requieren alto ancho de banda ...</i>	39
2.4.1.2	<i>Proliferación de dispositivos móviles inteligentes</i>	39
2.4.1.3	<i>La intensa competencia por ingresos</i>	40
2.4.2	Requisitos claves para el desarrollo de LTE.....	40
2.4.2.1	<i>Rendimiento a la par con el acceso a banda ancha por cable</i>	40
2.4.2.2	<i>Uso Flexible del espectro</i>	41
2.4.2.3	<i>Coexistencia e interoperabilidad con los sistemas 3G, así como con los sistemas que no pertenecen a 3GPP</i>	41
2.4.2.4	<i>Reducción de costo por Megabyte</i>	41
2.4.3	Claves tecnológicas y características de LTE	42
2.4.3.2	<i>Solución eficiente para la interferencia por trayectoria múltiple.....</i>	42
2.4.3.3	<i>Reducción de la complejidad computacional</i>	43
2.4.3.4	<i>Explotación de la diversidad de frecuencias.....</i>	43
2.4.3.5	<i>Permite esquema eficiente de acceso múltiple</i>	43
2.4.3.6	<i>Robusto contra interferencia de banda estrecha.....</i>	44
2.4.3.7	<i>Facilita el uso de MIMO.....</i>	44
2.4.3.8	<i>Apoyo eficiente a los servicios de radiodifusión</i>	44
2.4.4	Técnicas multiantena	44
2.4.4.1	<i>Diversidad de transmisión</i>	45
2.4.4.2	<i>Beamforming.....</i>	45
2.4.4.3	<i>Multiplexado espacial</i>	45
2.4.5	Sistemas Multiantena.....	45
2.4.6	Arquitectura LTE.....	48
2.4.6.1	<i>Servicios prestados por redes externas</i>	49
2.4.6.2	<i>EPS (Evolved Packet System)</i>	49
2.4.6.3	<i>EPC (Evolved Packet Core).....</i>	49
2.4.6.4	<i>E-UTRAN (Interfaz Aire).....</i>	51
2.4.7	Interfaces utilizadas en LTE	53
2.4.8	Esquemas de acceso.....	54
2.4.9	Canales utilizados en LTE.....	57
2.4.10	Duplexación.....	60
PARTE 3		62

3	ANALISIS DE ESCENARIOS DE MIGRACION A LTE	62
3.1	Migración de redes GSM a redes LTE.....	63
3.1.1	Circuit Switched Fallback (CSFB)	63
3.1.2	Single Radio Voice Continuity (SR-VCC)	66
3.1.3	VOLGA Voice over LTE via Generic Access	69
3.1.4	ONE VOICE (VoLTE).....	70
3.2	Cuadro comparativo de opciones de migración a redes de cuarta generación (LTE).....	76
3.3	Comparación de arquitecturas UMTS/HSPA y LTE.....	79
3.3.1	Conexiones del Nodo B en UMTS /HSPA.....	79
3.3.2	Conexiones del eNodeB B en LTE	80
3.4	Migración de tecnologías actuales a LTE a nivel de red.....	81
3.4.1	Arquitectura de sistema para un trabajo conjunto de la red E-UTRAN y las redes de acceso 3GPP	81
3.4.2	Arquitectura de sistema para un trabajo conjunto de la red UTRAN y las redes de acceso no 3GPP.	85
3.4.3	Redes de acceso no 3GPP confiables	87
3.4.4	Redes de acceso no 3GPP no confiables	87
3.5	Trabajo con redes de acceso CDMA2000.....	89
3.5.1	Arquitectura para el trabajo entre redes CDMA2000 HRPD.....	89
3.5.2	Adición y actualización de elemento lógicos para el trabajo entre redes E-UTRAN y CDMA2000 HRPD	90
PARTE 4		92
4	ESTADO DE LAS REDES MOVILES EN COLOMBIA	92
4.1	Servicios móviles en Colombia y utilización del espectro.	93
4.2	Mercado de telefonía móvil en Colombia.....	93
4.2.1	Participación en el mercado de telefonía móvil.....	94
4.2.2	Participación en el mercado dependiendo la categoría del servicio	95
4.3	Mercado de internet móvil en Colombia.	96
4.3.1	Participación en el mercado de internet móvil.....	97
4.3.2	Participación en el mercado de internet móvil dependiendo la tecnología de acceso (Generación).....	98
4.4	Espectro asignado en Colombia	99
4.5	Espectro e inversiones tecnológicas	100

4.6	Dividendo digital	101
4.7	El manejo de espectro en otros países	103
4.8	Propuesta técnica para la migración de los operadores actuales a redes 4G en Colombia. 105	
4.9	Nuevas bandas para la implementación de 4G-LTE en Colombia.....	105
4.9.1	Banda 700MHZ.....	107
4.9.2	Banda AWS (Advanced Wireless Service)	107
4.9.3	Banda 2,5GHz	108
4.10	Propuestas para la canalización de los canales para la implementación de sistemas 4G- LTE 109	
4.10.1	Banda 700MHz	109
4.10.2	Banda AWS (Advanced Wireless Service)	114
4.10.3	Banda 2,5GHz	114
4.11	Consideraciones a nivel de red	116
4.12	Consideraciones a nivel de Espectro Radioeléctrico.....	117
4.13	Consideraciones a nivel de terminales.....	119
PARTE 5		121
5	ENFOQUE HUMANISTICO.....	121
PARTE 6		124
6	RECOMENDACIONES	124
6.1	Análisis del escenario de migración más óptimo para los operadores móviles en Colombia	126
PARTE 7		130
7	CONCLUSIONES	130
8	Bibliografía	133

Índice de figuras

Figura 1. Arquitectura de la red GSM (2)	23
Figura 2. Protocolos sobre las interfaces Um, Abis y A (2).....	25
Figura 3. Uso de FDMA y TDMA en GSM (2)	26
Figura 4. Arquitectura en UMTS. (2)	30
Figura 5. Arquitectura UMTS-Dominios de conmutación de circuitos y paquetes (2).....	32
Figura 6. Interfaz de radio en la interfaz Uu (2)	35
Figura 7. Técnicas Multiantena MIMO (4)	47
Figura 8. Arquitectura de red LTE (6)	48
Figura 9. Arquitectura LTE utilizando E-UTRAN (4)	51
Figura 10. Transmisor y receptor OFDMA (6).	54
Figura 11. Subportadoras ortogonales traslapadas (7).....	55
Figura 12. Intervalo de guarda en un símbolo OFDM (6).....	55
Figura 13. Símbolos SC-FDMA (7).....	56
Figura 14. Etapas de transmisión SC-FDMA (5).....	57
Figura 15. Estructura de la trama en FDD (5).....	57
Figura 16. FDD (Frequency Division Duplex) (6).....	60
Figura 17. Establecimiento de llamada mediante CS Fall Back (6).....	64
Figura 18. Arquitectura CS Fallback (9)	64
Figura 19. Estructura de red con soporte SR-VCC (6).....	67
Figura 20. Arquitectura de red LTE con accesos de red 3GPP (6)	68
Figura 21. Arquitectura de red utilizando la solución VOLGA (6)	69
Figura 22. Arquitectura GSM (10)	71
Figura 23. Red GSM/GPRS (3)	72
Figura 24. Diferencias de arquitectura entre LTE y UMTS (4).....	73
Figura 25. Simplificación en la red EPC (8)	74
Figura 26. Cambios en la arquitectura en la migración de UMTS a LTE (5)	75
Figura 27, esquema de implementación de circuit Switched Fallback (CSFB)	78
Figura 28. Comparación entre la arquitectura UMTS/HSPA y la arquitectura LTE (5).....	79
Figura 29. Comparación entre arquitecturas 2G/3G (IMTS/HSPA) y 4G (LTE) (6).	81
Figura 30. Arquitectura del sistema para redes de acceso 3GPP (4).	82
Figura 31. Arquitectura de sistema para redes de acceso 3GPP y no 3GPP (6).....	86
Figura 32. Arquitectura de red simplificada mostrando solamente el S2c (6).....	86
Figura 33. Interfaces del servicios AAA 3GPP y sus funciones principales (6).....	88
Figura 34. Arquitectura del sistema para el trabajo entre redes 3GPP y CDMA2000 (4).	89
Figura 35. Abonados en índices de penetración de telefonía móvil (13).....	93
Figura 36. Variación trimestral abonados de telefonía móvil (13).....	94
Figura 37. Participación en total de abonados por proveedor. (13)	94
Figura 38. Participación de abonados en telefonía móvil según la categoría de servicio. (13)	95

Figura 39. Participación en el mercado de telefonía móvil dependiendo la categoría de servicio. (13)	96
Figura 40. Suscriptores con acceso a internet móvil, relación IV-2011 vs IV-2012; III-2012 vs IV-2012. (13)	97
Figura 41. Participación en el mercado de internet móvil por proveedor. (13)	97
Figura 42. Participación en el mercado dependiendo la tecnología de acceso (generación) utilizada (13).	98
Figura 43. Cobertura adicional esperada en banda ancha móvil con el uso del dividendo digital (15).	102
Figura 44. Contribución por excedente del consumidor generado por banda ancha móvil (valores en U\$ millones) (16).	103
Figura 45. Cantidad de espectro asignado en algunos países seleccionados (14).....	106
Figura 46. Alternativa de canalización utilizada en Estados Unidos para la banda 700MHz (4)	110
Figura 47. Opción 1 APT para la canalización del canal 700MHz (4).....	111
Figura 48. Opción 2 APT para canalización en la banda 700MHz (4).	111
Figura 49. Opción 3 APT para la canalización de 700MHz (4).	112
Figura 50. Opción 4 APT para canalización 700MHz (4).....	112
Figura 51. Arreglos de canales que se pueden utilizar en la opción 4 APT (4).....	113
Figura 52. Opción 5 APT para canalización 700MHz (4).	113
Figura 53. Propuesta de canalización para la banda AWS propuesta por la FCC (4).	114
Figura 54. Opción de canalización ITU para la banda de 2,5GHz (6).....	114
Figura 55. Opción 2 ITU para la canalización de la banda 2,5GHz (6).....	115
Figura 56. Opción 3 ITU para canalización de la banda 2,5GHz (6).....	115
Figura 57. Radio de cobertura Banda-Frecuencia vs Cantidad de estaciones base (14).	117
Figura 58. Beneficio económico comparado según utilización de la banda de 700MHz en Colombia (cifras en millones de dólares)	118
Figura 59. Propuesta de canalización para la banda AWS en Colombia (14).....	118
Figura 60. Propuesta para la canalización de la banda 2,5GHz en Colombia (14).	119
Figura 61, tiempo de establecimiento de llamada saliente utilizando CSFB en comparación con el establecimiento de llamada en GSM/UMTS, unidades en segundos (19).....	127
Figura 62. Tiempo de establecimiento de llamada entrante utilizando CSFB en comparación con UMTS, unidades en segundos (19).	128

Índice de tablas.

Tabla 1. Interfaces de la arquitectura GSM (2)	24
Tabla 2. Tipos de canales lógicos. (2)	27
Tabla 3. Clases de servicio para el tráfico en UMTS (2)	29
Tabla 4. Interfaces UMTS (5)	32
Tabla 5. Canales lógicos, físicos y de transporte en UMTS (2)	36
Tabla 6. Bandas de frecuencia FDD (5).....	61
Tabla 7. Bandas de frecuencia asignadas a TDD (5).....	61
Tabla 8. Ventajas y desventajas de los escenarios de migración a redes de cuarta generación (LTE)	77
Tabla 9. . Distribución del espectro en Colombia por operador y frecuencia	99
Tabla 10. Razón entre espectro asignado y número de usuarios	100

PARTE 1

1 INTRODUCCIÓN A LA MONOGRAFIA

"Cualquier tecnología suficientemente avanzada es indistinguible de la magia"
Arthur C. Clarke

1.1 INTRODUCCIÓN

El incremento de servicios requeridos por los usuarios de las comunicaciones móviles exige a los proveedores de estas tecnologías una constante evolución en busca de satisfacer las necesidades que van surgiendo, lo que conlleva que todos los agentes que participan en el negocio (organizaciones reguladoras, desarrolladores de dispositivos, proveedores de servicio, entre otros) realicen esfuerzos en busca de generar soluciones a una tasa que no se había visto anteriormente. Esto se ve reflejado en el dinamismo de las organizaciones de estandarización que están en constante desarrollo de recomendaciones y estándares según el mercado lo requiere. La posibilidad de movilidad que permite a los usuarios las nuevas tecnologías, ha hecho que las investigaciones actuales estén apuntando a las comunicaciones móviles, distribuyendo notablemente el nicho de mercado entre las tradicionalmente convencionales comunicaciones fijas y las innovadoras comunicaciones móviles.

El desarrollo de este documento se enfocara en la migración de 3.5G y 4G, teniendo en cuenta todos los aspectos que abarcan un cambio de tecnología, su impacto sobre operadores y usuarios, aspectos técnicos, económicos y logísticos evaluando los distintos escenarios de migración y escalabilidad que permite el paso de tecnología, el análisis se basara en documentos suministrados por las organizaciones reguladoras que han estado a la cabeza del desarrollo y promulgación de los estándares, también se tendrá en cuenta la opinión de expertos que han realizado publicaciones en revistas especializadas en telecomunicaciones. Entre los principales documentos que se usaran para el desarrollo del documento se tendrá en cuenta los aportes realizados por la unión internacional de telecomunicaciones en su recomendación UIT-R M1645 en la cual se normaliza el uso y funcionamiento de las tecnologías IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000) y posteriores, así mismo se tendrán en cuenta los papeles blancos del 3G Américas, 4G Américas y finalmente las disposiciones que genero 3GPP quienes se han encargado de realizar seguimiento a todo el proceso de evolución y migración de tecnologías subyacentes.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El actual proceso por el que pasa el país para la implementación de tecnologías 4G (LTE-Long TermEvolution), dentro del plan tecnológico impulsado por el gobierno nacional llamado “vive digital” que tiene como principal objetivo reducir la brecha digital que existe en el país, asimismo permitir el acceso a la tecnología a toda la población sin que su ubicación geográfica sea un inconveniente, hace necesario que los actores involucrados en el sector de las telecomunicaciones estén al tanto de todos los aspectos (económicos, tecnológicos, regulatorios, entre otros) que se deben tratar con el fin de asegurar el mayor beneficio para los usuarios, operadores y el estado.

Con esta premisa se ha desarrollado el siguiente documento en el cual se tienen en cuenta estas características, dando una visión global a cada una de ellas, permitiendo así contar con herramientas que permitan realizar un análisis crítico, de cada uno de los aspectos a tener en cuenta durante este desarrollo.

Antes de enfocar el documento en el desarrollo de las redes de cuarta generación es necesario realizar un repaso por las tecnologías y avances que se anteponen a las redes 4G y que han permitido lograr la evolución de la infraestructura necesaria para implementar estas tecnologías.

Uno de los principales retos a los que se afrontan los proveedores de servicios de telecomunicaciones móviles, es migrar hacia tecnologías 4G sin tener la necesidad de sustituir por completo las redes 3G con las que cuenta en la actualidad, debido a los costes que esto implica y la dificultad actual de prestar servicios de voz sobre redes enfocadas al transporte de datos. Teniendo en cuenta estos aspectos se estudia en el documento las opciones por las que pueden optar dichos proveedores para comenzar a prestar servicios 4G para datos y a su vez prestar servicios de voz sobre las redes 3G existentes.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La república de Colombia se ha convertido en uno de los principales puntos de atención de las empresas de telecomunicaciones móviles a nivel global, siendo una de las que reporta mayor número de usuarios por número de habitantes, teniendo una penetración de casi el 106% según datos reportados por el MinTic (Ministerio de las tecnologías de la información y las comunicaciones) datos que se estudiarán durante el desarrollo de este documento; aunque esta información evidencia que el nivel de penetración no es el mismo para todos los servicios que prestan dichos operadores, en el caso del acceso a internet móvil el nivel de usuarios que tienen suscritos disminuye de manera significativa, esto como consecuencia principalmente del nivel adquisitivo de la población colombiana que se encuentra concentrado en una pequeña parte de la mercado.

Sin embargo, durante los últimos meses gracias a la intervención de las entidades reguladoras de servicios de comunicaciones móviles en el país se ha logrado promover la competencia entre operadores disminuyendo así la superioridad de un claro operador dominante, lo cual ha permitido en cierta medida que el acceso a este tipo de tecnologías sea más asequible para la población en general. Ahora, a medida que la cantidad de suscriptores aumenta el nivel de exigencia de los mismos hacia los servicios contratados se incrementa, asimismo la calidad y funcionalidad de las redes cada día se pone más a prueba.

Es así como los operadores móviles se han visto en la obligación de plantearse la migración a nuevas tecnologías, en este caso la migración a tecnologías de cuarta generación, también conocidas como 4G, sin embargo, realizar una migración completa a este tipo de estándares conlleva una inversión considerable, por tal razón los operadores se han visto obligados a buscar soluciones que permitan que el negocio siga siendo rentable.

Además para realizar este tipo de migración los operadores móviles necesitan contar con garantías que deben ser proporcionadas por las entidades encargadas de regularizar, controlar y gestionar este tipo de actividad.

Es así como finalmente se plantean algunas interrogantes que se irán despejando durante el desarrollo de este documento, entre las cuales se consideran las siguientes como más relevantes: ¿Cuál sería el escenario de migración más viable desde el punto de vista técnico y económico para los operadores móviles en el país? ¿El mercado colombiano permitiría a los operadores móviles retribuir la inversión realizada? ¿La adjudicación del espectro electromagnético por medio de subasta pública permitirá que exista competencia entre los operadores? Teniendo en cuenta las condiciones geográficas del país ¿Cuál sería la banda más propicia para la implementación de la tecnología 4G?

1.4 OBEJTIVO GENERAL

Realizar un análisis de los diferentes escenarios de migración de redes móviles de tercera generación a redes móviles de cuarta generación en operadores de telecomunicaciones, para identificar las mejores opciones en el mercado colombiano

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Analizar las tecnologías móviles desde segunda a cuarta generación.

Identificar ventajas y desventajas de cada escenario de migración, según las necesidades de los operadores de servicios móviles en Colombia.

Analizar los diferentes impactos que conllevan la migración de redes móviles de tercera generación a cuarta generación en Colombia.

PARTE 2

2 MARCO TEORICO

2.1 GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILITY)

A principios de los años ochenta el desarrollo de tecnologías móviles en Europa había llevado a que muchos países adoptaran un estándar propio y diferente de comunicaciones móviles análogas, hecho que impedía que existiera interoperabilidad entre países. Para el año 1982 la Conferencia Europea de administraciones de correos y telecomunicaciones (*CEPT, por sus siglas en inglés*) creó un grupo de trabajo para desarrollar un sistema que permitiera la interoperabilidad entre los países de la región llamado Grupo Especial para móviles (*GSM, por sus siglas en francés*) compuesto por 26 compañías europeas de telecomunicaciones. Este grupo propuso crear un nuevo sistema de comunicaciones inalámbricas con los siguientes objetivos: itinerancia (roaming) internacional, eficiencia espectral, soporte para nuevos servicios y compatibilidad con RDSI (*red digital de servicios integrados*). En 1989 se delegó la responsabilidad de continuar con el desarrollo del estándar al Instituto europeo de Normas de Telecomunicaciones (*ETSI, por sus siglas en inglés*) el cual modificó el nombre del proyecto a Sistema Global para las comunicaciones móviles (*GSM, por sus siglas en inglés*). La evolución del estándar está marcada por tres fases principales:

1. En esta fase se desarrollaron las especificaciones.
2. En esta fase se propuso incluir servicio de datos y fax.
3. Esta fase llamada “Fase 2+” se implementaron mejoras para la codificación de la voz y se desarrollaron servicios para la transmisión de datos avanzados (GPRS Y EDGE)

GSM está basado en un sistema de conmutación de circuitos, diseñado inicialmente para servicios de voz, al que posteriormente se le implementaron servicios de datos, tales como: mensajes de texto que soportaban envío y recepción de 160 caracteres y un servicio de transferencia de datos que soportaba una tasa de 9.6 Kbps. (1)¹

2.1.1 Arquitectura de la red GSM

Una red GSM está compuesta por los siguientes elementos que hacen parte de la red pública móvil terrestre (*PLMN, por sus siglas en inglés*):

- Estación móvil (*MS, Mobile station*) Es el terminal físico usado por el usuario para acceder a los servicios de la red GSM.
- Módulo de identidad del abonado (*SIM, subscriber identity module*) una de las principales características de GSM es diferenciar la identidad del usuario a la identidad del terminal. La tarjeta SIM está asociada a la identidad del usuario y es un chip que se debe introducir en el terminal GSM.

¹The GSM system for mobile communications, autores: Michel Mouly; Marie-Bernadette Pautet, Telecom publishing, 1992.

- Estación transmisora-receptora de base o estación transreptora de base (*BTS, Base transceiverstation*) es el encargado de proporcionar vía radio, el enlace entre la red y el terminal del usuario.
- Controlador de estaciones base (*BSC, Base stationController*) Encargado de las funciones centrales y de controlar el subsistema de estaciones base (*BSS, Base StationSubsystem*) el cual está compuesto por el BSC y las BTS's.
- Unidad de transcodificación(*TranscodingRate and adaptationunit*) Es el encargado de comprimir la información en el interfaz aéreo cuando es necesario, permite que tasas de datos de 8, 16 y 32 Kbps puedan ser enviadas a redes RDSI de MSC que solo permitían tasas de 64 Kbps.
- Centro de conmutación de servicios móviles o centro de conmutación de móviles (*MSC, Mobile Serviceswitching center*) Encargado del enrutamiento de llamadas entrantes y salientes, además de encargarse de la asignación de canales de usuario entre el MSC y LAS BSC.
- Registro general de abonados (*HLR, Home locationregister*) es la base de datos encargada de administrar la información de los abonados, tales como la posición del móvil y la información del perfil de servicio.
- Registro de abonados itinerantes (*VLR, Visitorlocationregister*) está diseñado para no sobrecargar el HLR y su función es guardar los mismos datos del HLR cuando el abonado está en itinerancia (Roaming).
- Centro de autenticación (*AuC, Autenticación center*) encargado de almacenar toda la información referente a la seguridad, tal como las claves de autenticación y encriptación.
- Registro de identidad de equipos (*EIR, EquipmentIdentityRegister*) Todos los terminales cuentan con un único código de registro llamado IMEI (*International MobileEquipmentidentity*) El EIR es utilizado para tener una relación de la identidad de todos los equipos abonados, la cual permite identificar a los usuarios autorizados.
- (*GMSC, Gateway Mobileswitching center*) Es el punto donde se encaminan la terminación de una llamada cuando no se tiene el conocimiento de la ubicación de la estación móvil, es el responsable del encaminamiento de la llamada al MSC correcto.
- SMS-G, término utilizado para describir dos gateways encargados de soportar los servicios de mensajería corta (*Short Messagesservices Gateway*) Está compuesto por SMS-GMSC (*Short MessagesService Gateway MobileswitchingService*) el cual es el encargado de la terminación de los mensajes cortos y el IWMSC (*Short MessagesService inter-workingMobileswitching center*) el cual está encargado de originar los mensajes cortos.

En la figura 1 se muestra la arquitectura de la red GSM. La cual puede ser subdividida en tres subsistemas: subsistema de estaciones base (*BSS, Base stationSubsystem*; subsistema de conmutación y gestión (*SMSS, switching and managementSubsystem*) y finalmente el subsistema de operación y mantenimiento (*OMSS, operation and maintenancesubsystem*)

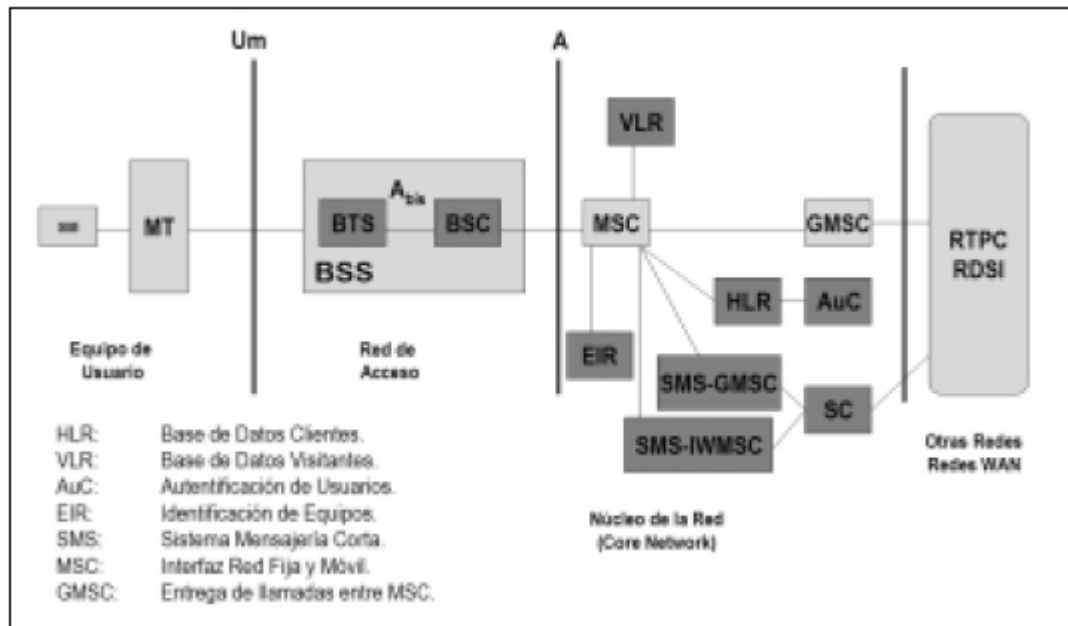


Figura 1. Arquitectura de la red GSM(2)²

²Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

2.1.2 Protocolos e interfaces.

Entre cada uno de los elementos de la arquitectura GSM existe una interfaz independiente, la cual requiere de un propio conjunto de protocolos que permiten su interconexión, en la tabla 1 se describen las diferentes interfaces, los tipos de información y los protocolos utilizados (3).

Interfaz	Situada entre	Descripción	Intercambio de información	
			Tráfico Usuario	Protocolo Señalización
A	MSC-BSC	Permite el intercambio de información sobre la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad. A través de ella, se negocian los circuitos que serán utilizados entre el BSS y el MSC.	SI (1)	SS7
Abis	BSC-BTS	Permite el control del equipo de radio.	SI	LAPD
B	VLR-MSC asociados	VLR es la base de datos que contiene toda la información que permite ofrecer el servicio a los clientes que se encuentran en el área de influencia de sus MSC asociados. Por lo tanto, cuando un MSC necesite proporcionar información sobre un móvil acudirá a su VLR. Esta interfaz NO debe ser externa (por desempeño, por el volumen de información intercambiado).	NO	MAP/B (2)
C	HLR-GMSC	Es la interfaz utilizada por los gateways GMSC para enrutar la llamada hacia el MSC destino. La GMSC no necesita contar con un VLR, se trata de un nodo que sólo transmite llamadas.	NO	MAP/C
D	HLR-HLR	Permite intercambiar información entre ambas bases de datos, esta información se encuentra relacionada con la posición del móvil y la gestión del servicio contratado por el usuario.	NO	MAP/D
E	MSC-MSC	Permite intercambiar la información necesaria para iniciar y realizar un intercambio Inter-MSC cuando el móvil cambia de área de influencia de un MSC a otro.	SI 64 Kbps	MAP/E, RDSI, ISUP (3)
F	MSC-EIR	Utilizada cuando el MSC desea comprobar el IMEI de un equipo.	NO	
G	VLR-VLR	Utilizada para permitir la interconexión entre dos VLRs de diferentes MSCs	NO	MAP/G
H	MSC-SMS-G		SI	MAP/H
I	MSC-MS	Permite el intercambio transparente de datos entre el MSC y el MS a través del BSS		
Um	BSS-MS	Es la interfaz de radio, se encuentra entre la estación móvil y el BSS.	Voz: 13 Kbps Datos: 9.6 Kbps	LAPDm

Tabla 1. Interfaces de la arquitectura GSM(2).

En la figura 2 se muestra los protocolos de señalización utilizados para comunicarse entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS), a su vez la estación base (BTS) con la controladora de

estaciones base (BSC) y finalmente la controladora de estaciones base (BSC) y el centro de conmutación de móviles (MSC).

En la figura2 se visualizan tres niveles: CM (*communicationmanagement*) encargado de la gestión de las llamadas a solicitudes de los usuarios. MM (*Mobilitymanagement*) Es el encargado del mantenimiento de la información de localización de los usuarios y finalmente el RR (*radio resource*) el cual está encargado del establecimiento del enlace de comunicación entre el MS y el MSC, los cuales serían referentes al nivel 3 del modelo OSI (nivel de enlace). A su vez los protocolos LAPD y LAPm serían análogos con el nivel dos del modelo OSI (nivel de red). El protocolo BTSM (*base transceiver station management*) es el encargado de la comunicación y transferencia de información entre la RR y la BSC. Finalmente los protocolos SCCP (*Signalling connection control part*) y MTP (*message connection control*) hacen parte del sistema de señalización 7 (SS7) (2).

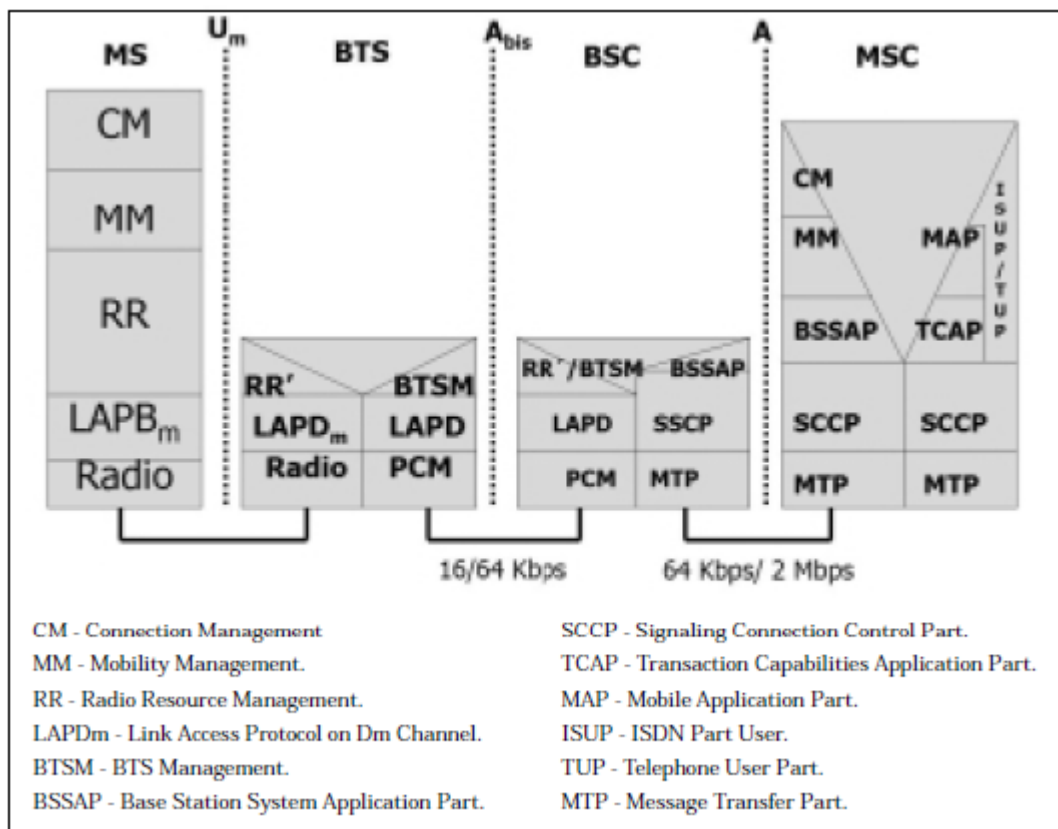


Figura 2. Protocolos sobre las interfaces Um, Abis y A(2)³

³Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

2.1.3 Acceso al medio.

Una de las características especiales de GSM es usar una combinación de dos tipos de acceso al medio TDMA (*Time Division Multiple Access*) y FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). El acceso funciona de la siguiente manera; se tienen dos bandas de 25 MHz usadas en modo FDD (*Frequency Division Duplex*). El enlace de subida (uplink) entre el MS y la BTS está implementado entre 890 y 915 MHz, mientras el enlace de bajada (downlink) entre la BTS y el MS se implementa entre 935 y 960 MHz, cada banda se encuentra dividida en canales de 200 KHz. El uso de TDMA en GSM establecido en los canales de subida y bajada cada uno compuesto de 8 ranuras (slots) y cada uno de ellos transmite una unidad de información. La modulación en cada una de estas ranuras es GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) el cual permite alcanzar tasas de bits de 270 Kbps, los datos que contiene cada ranura son llamados ráfagas (burst) y alcanzan longitudes de 148 bits, dejando los 8,25 bits restantes como guardas en el tiempo, el número de bits que componen la cabecera y la cola son de tamaño constante. Cuando un usuario es propietario de una ranura puede alcanzar tasas de 24,7 Kbps sin que exista ningún tipo de esquema de conexión de errores, en la figura 3 se observa el uso de FDMA y TDMA en GSM (4).

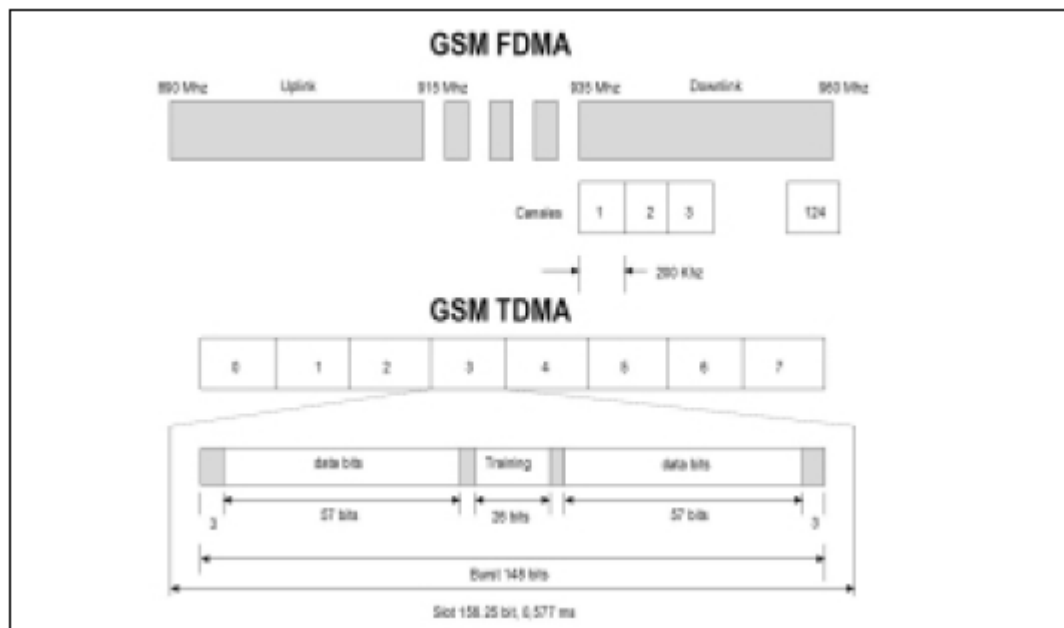


Figura 3. Uso de FDMA y TDMA en GSM(2)⁴

⁴Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

2.1.4 Canales físicos y lógicos.

Dentro de las características de GSM una de sus particularidades es que diferencia entre canales físicos (ranuras de tiempo) y los canales lógicos (compuestos por la información portada en los canales físicos). Algunas de las ranuras de tiempo constituyen un canal físico que es utilizado por varios canales lógicos utilizados para transferir información de señalización e información de usuario. En GSM existen dos tipos de canales lógicos: los canales de tráfico(*TCH, trafficchannels*) este tipo de canal está encargado de transportar información (voz y datos), mientras que los canales de control (*CCH, control channels*) los cuales están encargados de transportar información de señalización y sincronización entre la estación base y el terminal del usuario. Estas funciones varían según el tipo de enlace. En la tabla 2 se puede observar algunas características de cada uno de los canales (2).

Tipo de canal	Denominación		Descripción
Canales de Tráfico (Traffic Channel-TCH)	TCH/FS		S: Voz (Speech) 9.6: Datos a 9600 bps.
	TCH/F9.6		4.8: Datos a 4800 bps 2.4: Datos a 2400 bps.
	TCH/F4.8		F: Full Rate. La Información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, en cada trama.
	TCH/F2.4		
	TCH/HS		H: Half Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, trama de por medio. Dos usuarios comparten una misma ranura en diferentes instantes de tiempo.
	TCH/H4.8		
	TCH/H.24		
Canales de Control (Control Channel-CCH)	Canales de Broadcast (Broadcast Channels) -BCH-	BCCH	Canales de control utilizados para permitir el enganche de los móviles y el monitoreo de las potencias de los móviles en celdas vecinas (MAHO).
		FCCH	
		SCH	
	Canales Comunes de Control (Common Control Channels) -CCCH-	PCH	Estos canales permiten el establecimiento de las llamadas y la asignación de canales de control.
		RACH	
		AGCH	
	Canales de Control Dedicados (Dedicated Control Channels) -DCCH-	SDCCH	Canales de control bidireccionales utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión al usuario.
		SACCH	
		FACCH	

Tabla 2. Tipos de canales lógicos.(2)⁵

⁵Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

2.2 UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM)

Para finales de 2001 dentro de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*UIT, por sus sigla en inglés*) se ha creado un grupo llamado Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (*IMT-2000, por sus siglas en inglés*) cuyo objetivo era desarrollar las interfaces entre las redes de tercera generación y las redes que habían evolucionado desde las redes GSM y desde ANSI 41 (*contraparte americana de GSM*) también estaban desarrollando dichas interfaces. Entre tanto el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (*ETSI, por sus siglas en inglés*) y un grupo de organismos en asociación determinaron crear un proyecto llamado 3GPP (*ThirdGenerationPartnership Project*) Cuyo objetivo era crear un estándar para un sistema móvil de tercera generación en el cual su núcleo estuviera basado en la evolución de GSM y que su red estuviera basada en todas las tecnologías de radio acceso existentes (FDD y TDD). Desde el momento del inicio del desarrollo de estos estándares 3GPP comenzó a denominar estos estándares como Servicio Internacional de Telecomunicaciones Móviles (*UMTS, por sus siglas en inglés*). UMTS fue definido como el final de la convergencia entre los sistemas de comunicaciones móviles e internet, permitiendo a los usuarios de esta tecnología acceder a contenidos multimedia de banda ancha sin importar el lugar donde se encuentre ubicado (5).

2.2.1 Desarrollo de UMTS

El desarrollo de UMTS se definió en varias fases cuyo objetivo final era crear una red de servicios multimedia sin importar la posición del usuario. La primera fase de desarrollo que fue denominada versión 1999 (*release 1999, por su nombre en inglés*) en esta fase se propuso un desarrollo lógico de evolución de las arquitecturas de segunda generación. En la segunda fase denominada versión 2000 (*Release 2000-R00, por sus siglas en inglés*) que fue modificada a (*Release 4*) Se propuso un cambio total de la conmutación de circuitos que era usada hasta Release 1999 por una conmutación netamente de paquetes denominada UMTS todo-IP (*ALL-IP UMTS networkarchitecture, por sus siglas en inglés*) Esta propuesta logro que el protocolo IP tomara gran importancia hasta llegar a ser propuesto como el protocolo que se encargaría del transporte de la información de usuario (contenido multimedia) como también para ser el encargado de la información de control y señalización (5).

2.2.2 Servicios prestados por UMTS

UMTS proporciona servicios de voz y datos a diferentes tasas, dependiendo del ámbito en que sean entregados, para servicios satelitales y rurales en exteriores se entrega una tasa de 144 Kbps; para servicios urbanos en exteriores la tasa que se entrega es 384 Kbps; entre tanto para servicios exteriores e interiores de bajo rango de distancias alcanza hasta 2 Mbps (5).

Para UMTS se definen cinco tipos de portadoras con conmutación de circuitos: voz, datos para soporte de información multimedia (transparente), además de fax y datos (no transparentes).

Para el servicio de datos se ha establecido diferentes tipos de calidad del servicio (*QoS, por sus siglas en inglés*) con el objetivo de prestar cuatro tipos diferentes de tráfico, todos los detalles de estos tipos de tráfico se observan en la tabla 3.

Clase de Servicio	Naturaleza	Características Básicas	Ejemplos
Conversacional	Servicios de tiempo real	Preserva el límite del retardo y la variación de tiempo entre paquetes. El retardo es pequeño y constante.	Voz, videoteléfono
Afluente (Streaming)	Servicios de tiempo real	Preserva la variación de tiempo entre paquetes. Retardo constante pero no necesariamente reducido.	Flujo de video o audio
Interactiva	Servicios de tiempo NO real	Modelo de petición y respuesta. Preserva el contenido de los datos. Retardo moderado y bajas tasas de errores.	Navegación en internet
Diferida (Background)	Servicios de tiempo NO real	No es necesaria la interacción. Preserva el contenido de los datos.	Correo electrónico, descarga de datos.

Tabla 3. Clases de servicio para el tráfico en UMTS (2)⁶

El concepto de UMTS y su universalidad son claves para el desarrollo de los servicios de tercera generación, para revisar con detenimiento este concepto es necesario tener en cuenta dos premisas: “La primera, la posibilidad de que cualquier entidad u organización pueda desarrollar aplicaciones y servicios gracias a la separación arquitectónica de los planos de transporte y de servicios. La segunda, que el usuario tenga la misma percepción de los servicios recibidos con independencia del terminal que utilice y del lugar en donde se encuentre”(2)⁷ Para lograr cumplir con la segunda premisa se ha creado un nuevo concepto de entorno personal (*VHE, por sus siglas*

⁶Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

⁷Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

en inglés) cuyo objetivo es permitir al usuario mantener su perfil de servicios y poderlo modificar sin importar la red visitada.

2.2.3 Arquitectura

Según las especificaciones de la versión-99 (Release-99) se dividen los elementos de red en tres categorías: en la primera están los elementos de núcleo de red GSM como el centro de conmutación de servicios móviles (*MSC, por sus siglas en inglés*), además de los registros EIR, VLR, HLR y finalmente el centro de autenticación (*AuC, por sus siglas en inglés*). En la segunda están los elementos de red GPRS, entre ellos SGSN y GGSN. Finalmente en la tercera están los elementos específicos de la red UMTS: el equipo de usuario (*UE, por sus siglas en inglés*) y la red de acceso terrestre UMTS (*UTRAN, por sus siglas en inglés*). En la figura 4 se observa la arquitectura de UMTS, conformada por tres bloques, definidos de la siguiente manera: la red troncal o núcleo (*CN, por sus siglas en inglés*) la red de acceso a radio (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y las terminales móviles (*UE, por sus siglas en inglés*). La red núcleo (core, en inglés) está basada en la topología de red de GPRS/GSM, encargada de enrutamiento, transporte y bases de datos para el tráfico de la red, compuesta de elementos de conmutación de circuitos MSC, VLR Y GSMC, elementos de conmutación de paquetes como SGSN Y GGSN y otros elementos que soportan ambos tipos de conmutación entre los cuales están el HLR, EIR y AuC, la separación de dominios de circuitos y paquetes es necesaria por la evolución de las redes, claro está que el objetivo final es la convergencia a una única red troncal “todo IP” además también incluiría a la red de acceso, toda esta información se ve más detalladamente en la figura 4 (5).

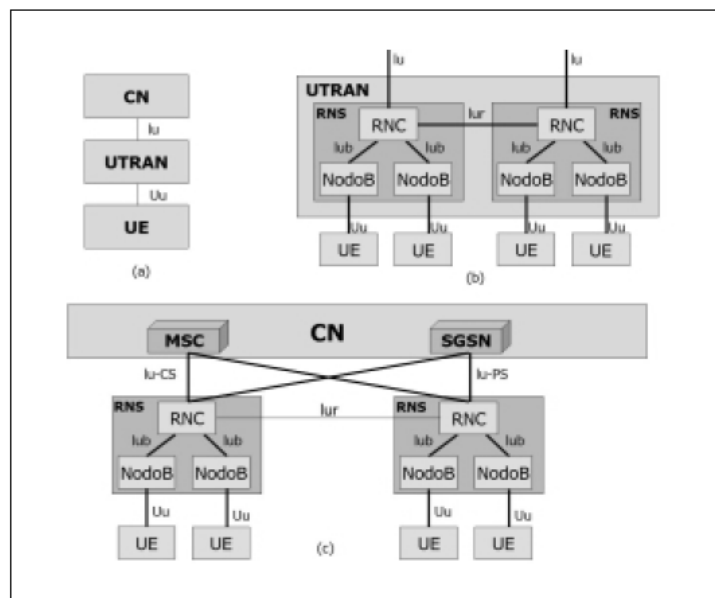


Figura 4. Arquitectura en UMTS.(2)⁸

⁸Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

La red de radio de acceso terrestre UMTS-UTRAN, considera la inclusión de dos nuevos elementos , el controlador de radio de la red (*RNC, por sus siglas en ingles*) y el nodo B. UTRAN está compuesta por varios radio networksystems(*RNSs, por sus siglas en ingles*) y cada uno de estos RNS está controlada por un RNC, que permite conectar varios nodos B, y cada uno de estos nodos B presta servicios a múltiples celdas, todos estos componentes se pueden observar en la figura 8b. El RNC y el Nodo B cumplen funciones análogas las BTS y BCS en las redes GSM/GPRS, lo que permite compartir la infraestructura civil, no obstante en el caso de UMTS para lograr cobertura es necesario adicionar emplazamientos, además se puede compartir la red de núcleo de GSM según la versión que tenga el operador, todas estas posibilidades permiten a los operadores conservar la inversión realizada anteriormente(5).

2.2.4 Interfaces

UMTS considera nuevas interfaces que se pueden observar en la figura 5 y la tabla 4.

Interfaz		Situada entre
Uu		Equipo de Usuario (UE) y Nodo B
Iu	Iu-CS	Interface para Conmutación de Circuitos (RNC-MSC/VLR)
	Iu-PS	Interface para Conmutación de Paquetes (RNC-SGSN)
Iub		RNC a Nodo B
Iur		RNC a RNC (No tiene equivalencia en GSM).

Tabla 4. Interfaces UMTS(5)

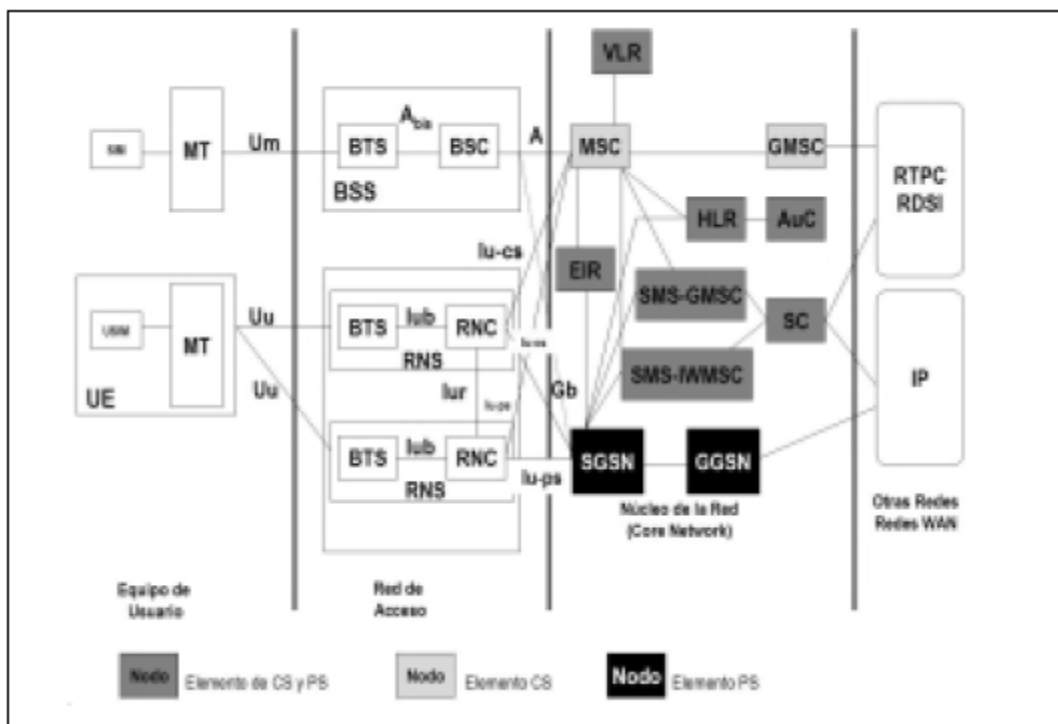


Figura 5. Arquitectura UMTS-Dominios de conmutación de circuitos y paquetes(2)⁹

⁹Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

2.2.5 Controlador de la red de radio

Este componente tiene funciones análogas a el controlador de estaciones (BSC) en las redes GSM/GPRS. El controlador de la red de radio (*RNC, por sus siglas en inglés*) es encargado del control centralizado de los nodos B en su área de cobertura , también encargado del cambio de protocolos en la UTRAN (lu, lur y lub), además se encarga de la multiplexación de la información de los dominios de paquetes y circuitos desde las interfaces lu-PS y lu-CS permitiendo que sea transmitida sobre las interfaces lu, lub y Uu, hacia o desde el equipo de usuario (*UE, por sus siglas en inglés*). En resumidas cuentas el controlador de la red de radio se encarga del manejo de recursos de radio, utiliza la interfaz lur para permitir la comunicación entre los RNCs, esta interfaz no cuenta con analogía en las redes GSM/GPRS donde esta función se cumple desde la red de núcleo. RNC tiene funciones como control de recursos de radio, control de admisión, asignación del canal, control de handover, segmentación y re ensamble, señalización de broadcast y gestión de potencia(4).

2.2.6 Nodo B

El nodo B está encargado de la recepción/transmisión de comunicación entre las radio celdas, está localizado físicamente donde están las BTS de GSM para disminuir los costos de implementación, se conecta al equipo de usuario a través de la interfaz Uu utilizando WCDMA, soportando los modos FDD y TDD simultáneamente. La interfaz luB permite la conexión entre el nodo B y la RNC utilizando ATM, de esta forma el nodo B es un punto de culminación de ATM(4).

La función principal del nodo B es la conversión de unidades de datos en la interfaz Uu. Esta función también provee corrección de errores y la adaptación a la tasa de datos en la interfaz de radio, monitoreo de calidad, cálculo de la tasa de errores y la potencia de conexión.

2.2.7 Equipos de usuario UMTS

Componente encargado de integrar el equipo del usuario con el USIM-UMTS, que tendría su correspondiente analogía con la SIM en GSM, se deben tener en cuenta que los terminales de tercera generación ya no son simples teléfonos móviles, en cambio de esto son dispositivos avanzados que permiten el intercambio de varios tipos de información, así que deben soportar distintos tipos de perfiles de usuario, garantizar seguridad y autenticación de los usuarios, deben ser equipos multifuncionales que permitan acceso GSM/GPRS/UMTS y tener un entorno que permita acceso a diferentes aplicaciones(4).

2.2.8 Movilidad

Para UMTS la movilidad debe tratarse de maneras diferentes: con conexión dedicada del a cual se encarga UTRAN y conexión no dedicada entre el equipo de usuarios (UE) y la red núcleo (CN) sin tener en cuenta la capa de acceso mediante procedimiento de registro.

2.2.9 Arquitectura de los protocolos de la interfaz de radio

La interfaz de radio se encuentra compuesta por el nivel 1 que equivale al nivel de físico; el nivel 2 está compuesto por dos subniveles: nivel de acceso al medio (*MAC, por sus siglas en ingles*) y el subnivel de control del enlace de radio (*RLC, por sus siglas en ingles*), y finalmente el nivel 3 correspondiente al control de recursos de radio (*RCC, por sus sigla en inglés*). Se definen tres clases de canales: canales lógicos encargados de expresar el tipo de información transferida por la interfaz de radio, pertenecen al nivel de enlace, canales de transporte encargados de expresar la forma en que se transmite esta información, y canales físicos encargados de expresar los códigos de expansión, frecuencia de las portadoras y los intervalos de tiempo, el nivel físico ofrece la subnivel MAC diferentes tipos de canales de transporte, a su vez MAC ofrecen diferentes canales lógicos al subnivel RLC. Los canales físicos se clasifican de acuerdo a los siguientes criterios: sentido de la transmisión, pueden ser ascendentes o descendentes, asignación de las estaciones móviles, comunes o dedicados y según el tipo de información que intercambian, de datos o de control (4).

Se entienden como funciones del nivel físico la codificación y decodificación con control de errores, la supervisión de los canales físicos, la multiplexación y demultiplexación de los canales de transporte, la proyección (conocida como mapping) de los canales de transporte sobre los canales físicos, modulación y demodulación de espectro ensanchado en banda ancha, control de las antenas y de la potencia, la adaptación de velocidades y el procesamiento de radiofrecuencias (4).

Se entienden como funciones del nivel de acceso las siguientes: la asignación de correspondencia entre los canales lógicos y los canales de transporte dependiendo la tasa de transmisión, gestión de priorización de servicios, gestión de prioridad entre terminales dependiendo el perfil de tráfico y la supervisión del nivel de volumen de tráfico a disposición del subnivel RRC (4).

Se entienden como funciones del subnivel RLC las siguientes: transferencia de información entre las subcapas RRC y MAC en modos diferentes: transporte, con acuse de recibo y sin acuse de recibo, tratamiento de información suministrada a las capas superiores para ser cursada por unidades de información manejadas por la RLC, corrección de errores, ordenamiento de paquetes, eliminación de duplicidades y control del flujo de información (4).

Se entienden como funciones del subnivel RRM las siguientes: establecimiento, mantenimiento y liberación de conexiones entre RRC entre los terminales y la red de acceso radio, asignación, reconfiguración y liberación de recursos de las portadoras radio, el control del grado de calidad solicitado, control de admisión, programación del envío de paquetes (*Packetscheduling*) y control de congestión (4).

En la figura 5 se observa la interfaz de radio en la interfaz Uu.

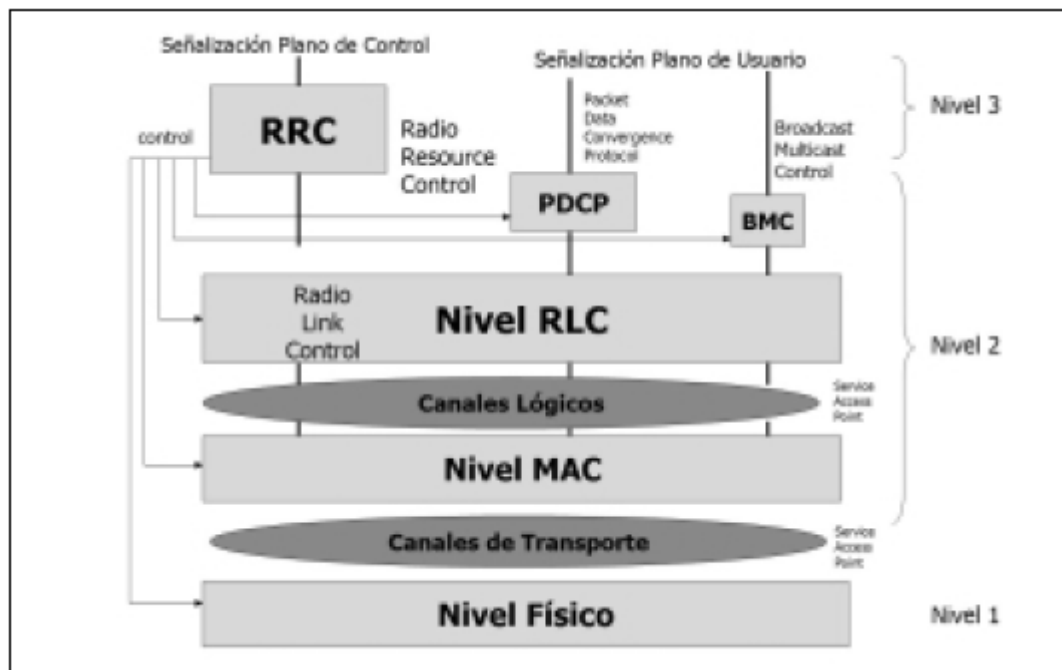


Figura 6. Interfaz de radio en la interfaz Uu(2)¹⁰

2.2.10 Acceso múltiple de radio

La tecnología de acceso múltiple designada a UMTS es CDMA, con expansión DS-CDMA, para este esquema el ancho de banda es de 5MHz por lo que se habla de WCDMA. El esquema de modulación elegido es QPSK (QuadraturePhaseShiftKeying), se han definido dos modos de funcionamiento para UMTS-WCDMA: el modo FDD (*FrequencyDivisionDuplexing*) en el cual existen dos portadoras de radio utilizadas para enlaces descendente y ascendente, lo que conlleva a que se usen dos bandas de frecuencia diferentes. Por lo tanto es necesario asignar un par de frecuencias que permitan su operación, denominadas frecuencias emparejadas. El modo FDD es el indicado para enlaces simétricos con una amplia gama de velocidades. El modo *TDD* (*Time DivisionDuplexing*) en el cual la transmisión de enlaces descendentes y ascendentes se hacen sobre una única portadora que usa intervalos sincronizados, debido a que se utiliza un único canal de radio se dice que este funciona sobre bandas de frecuencia no emparejadas. Adecuado para servicios asimétricos de interiores y micro celulares. Para este modo los requisitos de sincronización son más estrictos y se hace necesario un mayor margen (más conocido como *overhead*) para tiempos de guarda y variación de potencias. El acceso múltiple reconoce bandas emparejadas y no emparejadas. Para bandas emparejadas el enlace ascendente está entre el rango de 1920 y 1980 MHz, el enlace descendente está entre los 2110 y 2170 MHz. Los 60 MHz de espectro alojan 12 portadoras. Entre tanto para bandas no emparejadas los rangos de frecuencia están entre 2010 a 2025 MHz y 1900 a 1920 MHz, lo que suma un total de 35 MHz donde se tienen 7 portadoras. En la tabla 5 se encuentran los canales lógicos, físicos y de transporte de UMTS(4).

¹⁰ Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

	Canal	Sentido	Tipo	Descripción
Canales Lógicos	BCCH	Descendente	Control	Difusión de información de la red
	PCCH	Descendente	Control	Aviso a móviles no localizados
	CCCH	Descendente	Control	Señalización con móviles sin conexión RRC
	DCCH	Descendente	Control	Señalización con un móvil específico
	DTCH	Descendente	Tráfico	Transferencia de información con un móvil específico
	CTCH	Descendente	Tráfico	Transferencia de información punto-a-multipunto
Canales de Transporte	BCH	Descendente	Común	Difusión de información de la red y la celda
	FACH	Descendente	Común	Envío de información a móviles cuya ubicación es conocida
	PCH	Descendente	Común	Envío de información a móviles cuya ubicación NO es conocida
	DSCH	Descendente	Común	Asignación de recursos
	RACH	Ascendente	Común	Acceso aleatoria de los móviles
	CPCH	Ascendente	Común	Transmisión de paquetes sin asignación exclusiva.
	DCH	Bidireccional	Dedicado	Transmisión de información y señalización en un móvil específico
Canales Físicos	P-CCPCH	Descendente	Común	Soporta el canal BCH
	S-CCPCH	Descendente	Común	Soporta los canales FACH y el PCH
	PD SCH	Descendente	Común	Soporta el canal DSCH
	PRACH	Ascendente	Común	Soporta el canal RACH
	PCPCH	Ascendente	Común	Soporta el canal CPCH
	DPDCH	Bidireccional	Dedicado	Tráfico de datos del DCH
	PDCCH	Bidireccional	Dedicado	Tráfico de señalización del DCH

Tabla 5. Canales lógicos, físicos y de transporte en UMTS(2)¹¹

2.3 HSPA (HIGH SPEED PACKET ACCESS)

El acceso de alta velocidad a paquetes o HSPA (por sus siglas en ingles), es una de las dos mejoras realizadas por 3GPP a UMTS, estas dos mejoras son las siguientes: Acceso de alta velocidad a paquetes de bajada (HSDPA, highspeeddownlinkPacketAccess) introducida en la versión 5 (Release

¹¹Evolución de los sistemas móviles celulares GSM; Álvaro Pachón de la Cruz; S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

5) en el 2002, y la segunda Acceso de alta velocidad a paquetes de subida (HSUPA, por sus siglas en inglés) introducido en la versión 6 (Release 6) en el 2004, La primera empresa en desplegar HSDPA fue AT&T a finales del 2005. Y rápidamente consiguió un gran despliegue alrededor del mundo, desde febrero de 2010 a la fecha HSPA ha sido desplegado por 303 operadores de servicios móviles en 130 países, además de tener varios proyectos en ejecución en la actualidad (4).

Principalmente HSPA se desarrolló como una actualización de software para los sistemas existentes en UMTS, todo debido a los patrones de uso de la red en los años 90's los cuales mostraban que las aplicaciones exigían un mayor rendimiento en la descarga. La evolución de UMTS se centró inicialmente en la optimización y mejora del canal de bajada. HSDPA define un nuevo canal de transporte de bajada capaz de suministrar un enlace de 14,4Mbps máximo teórico. Este nuevo canal de transporte descendente es llamado canal compartido de descarga de alta velocidad (*HS-DSCH, high-speeddownlinksharedchannel*), a diferencia de los canales W-CDMA, HSPA utiliza multiplexación por división de tiempo como principal técnica de multi-acceso con multiplexación por división de código limitada. HSDPA cuenta con 16 códigos Walsh, 15 de los cuales se utilizan para el tráfico de los usuarios, un mismo usuario puede usar 5, 10, 15 o los códigos que necesite para obtener el mayor rendimiento, aunque a menudo se limita a 5 o 10 por implementación del equipo de usuario (*UE, userequipment*). Para lograr una mayor velocidad utiliza un marco de longitud de 2ms, comparado a los marcos de longitud de 10, 20, 40 u 80ms utilizados por los canales W-CDMA. En la práctica HSDPA proporciona a los usuarios rendimientos típicos en un rango de 500Kbps a 2Mbps (4).

HSPA ha incluido nuevas técnicas que permiten incrementar el rendimiento y la capacidad, entre los cuales se destacan los siguientes:

- **Modulación y codificación adaptativa (*AMC, adaptativemodulation and coding*):** HSDPA soporta modulación QPSK y 16QAM en un rango de $\frac{1}{4}$ hasta 1 de codificación. La adaptación de AMC implica la variación de la modulación y el sistema de codificación para cada usuario y cada trama dependiendo de la calidad instantánea del canal descendente. La idea de maximizar la capacidad y rendimiento del sistema se logra asignando a cada usuario el máximo índice de modulación y la técnica de codificación más fiable bajo la señal dada las condiciones de interferencia. HSDPA presenta un indicador de la calidad del canal (*CQI, por sus siglas en inglés*) medida que permite a las estaciones base elegir la mejor modulación posible y el esquema de codificación más apropiado (4).
- **Programación dinámica rápida:** En lugar de asignarle a los usuarios periodos fijos de tiempo, los sistemas HSDPA utilizan un planificador dinámico que permite aprovechar la diversidad de las condiciones del canal experimentadas por cada usuario en momentos específicos. Mediante la programación de la entera de paquetes para coincidir con los picos de desvanecimiento de cada usuario y evitando la programación durante sus canales, un programador dinámico puede asegurar que el sistema siempre está operando en las velocidades más altas. Un programador dinámico podría, si así lo

decidiera, asignar toda la capacidad de una celda a un solo usuario por un periodo muy corto de tiempo cuando las condiciones sean favorables. Esta estrategia lleva a mejorar la utilización de los recursos disponibles y por lo tanto aumenta la capacidad general del sistema, aunque puede que esto no parezca justo desde el punto de vista del cliente. En HSDPA, para habilitar la programación más rápida, el programador está localizado en el Nodo-B en comparación al RNC como en W-CDMA (4).

- **Solicitud automática de repetición híbrida (*H-ARQ, por sus siglas en inglés*):** retrasos e imprecisiones en la realimentación de la calidad del canal podrían conducir a la adaptación incorrecta del enlace causando errores. Los errores en la capa de enlace pueden ser corregidos usando una solicitud automática de repetición (*ARQ, por sus siglas en inglés*), donde las tramas erróneas son retransmitidas a solicitud, pero múltiples retransmisiones pueden conducir a retrasos intolerables. Hybrid-ARQ es una técnica mejorada de retransmisión, donde múltiples retransmisiones erróneas pueden ser combinadas para recuperar efectivamente errores más rápidamente. Esto se conoce como *Chase combining*. HSDPA también soporta *redundancia incremental* donde cada retransmisión subsecuente suministra correcciones adicionales de errores de codificación con el fin de mejorar las posibilidades de errores de recepción. También cabe anotar que en HSDPA, las retransmisiones de la capa de enlace ocurren entre el Nodo-B y el equipo de usuario (*UE, por sus siglas en inglés*) en comparación a W-CDMA donde se realiza entre el controlador de radio de la red (*RNC, por sus siglas en inglés*) y el equipo del usuario (4).

HSUPA también conocido como enlace ascendente mejorado, introduce un nuevo canal de enlace ascendente llamado canal dedicado mejorado (*E-DCH*). HSUPA introdujo en el canal ascendente las mismas especificaciones técnicas avanzadas que HSDPA tales como: múltiples códigos de transmisión, H-ARQ, intervalos cortos de tiempo en la transmisión y programación rápida que trajo el canal descendente. HSUPA es capaz de soportar hasta 5.8Mbps pico de subida, en la práctica con las mejoras realizadas se le ofrece al usuario un rango de 500Kbps a 1Mbps. Este incremento en las tasas de subida y la baja latencia permite aplicaciones como VoIP, subir fotos y videos y enviar correos electrónicos de mayor tamaño.

2.4 LTE (Long Term Evolution)

Luego del sorprendente crecimiento de banda ancha fija en el mundo, la comunidad móvil reconoció la necesidad de crear un sistema de banda ancha móvil que estuviera de acorde con los avances en xDSL y que permitiera soportar el enorme crecimiento de tráfico IP. Para el 2005 dos grupos dentro de 3GPP (**3rd Generation Partnership Project**) empezaron a trabajar en la implementación de un estándar que soportara el pesado crecimiento esperado para el tráfico IP. El grupo de la red de acceso de radio (*RAN, por sus siglas en inglés*) comenzó a trabajar en el proyecto evolución a largo plazo (*LTE, por sus siglas en inglés*) mientras el grupo de aspectos de sistemas comenzó a trabajar en Evolución de servicios de arquitectura (*SAE, por sus siglas en inglés*). Ambos grupos completaron sus estudios iniciales a mediados de 2006 y iniciaron la

transición en la elaboración del nuevo estándar. El grupo LTE desarrollo una nueva red de acceso de radio llamada UTRAN mejorada (*E-UTRAN, por sus siglas en inglés*) como una evolución de la red de acceso de radio UMTS, mientras el grupo SAE desarrollo una nueva arquitectura de núcleo de paquetes IP llamada paquete de núcleo evolucionado (*EPC, por sus siglas en ingles*). E-UTRAN y EPC forman el sistema evolucionado de paquetes (*EPS, por sus siglas en ingles*)(4).

2.4.1 Impulsores de la demanda para LTE

El crecimiento desbordado del cual ha sido protagonista Internet en la última década es sin duda alguna el factor que ha impulsado el desarrollo de la banda ancha móvil, Internet se ha convertido en la principal plataforma para la entrega de aplicaciones, además se ha convertido en la principal opción para el manejo de información, comunicación y necesidades de entretenimiento. La disponibilidad de servicios de banda ancha ha permitido que los usuarios puedan disfrutar de internet en toda su riqueza multimedia completa, y ahora los usuarios esperan tener esa misma posibilidad de acceso sin importar en qué lugar este ubicados o si están en movimiento, esto se evidencia en el notable crecimiento de suscriptores de datos inalámbricos en los últimos años. Según datos proporcionados por Informa Telecom & Media a finales de marzo de 2009 se alcanzaron 255 millones de suscripciones en todo el mundo lo que representa un 93% de crecimiento año por año, la misma consultora predice que para el año 2013 se abran alcanzado más de 2 mil millones de suscripciones de 3G (4).

Dentro de las tendencias que han generado la necesidad de banda ancha móvil y que han encaminado el curso para el desarrollo de LTE tenemos los siguientes:

2.4.1.1 Crecimiento en el desarrollo de aplicaciones que requieren alto ancho de banda

Las posibilidades de descarga de contenidos a través de los dispositivos móviles crece a una tasa considerable, teniendo en cuenta los esfuerzos de varias compañías que han visto en ello un nicho de mercado que traerá buenos dividendos, además de la proliferación de sitios web con contenido de video y la popularidad del uso compartido de video en sitios como YouTube están impulsando cada vez más a los usuarios a ver y compartir esta información desde sus dispositivos móviles, actualmente el video representa gran parte del tráfico de datos móviles y está creciendo a una tasa nunca antes vista, algunos analistas predicen que para el 2014, más del 65% del tráfico de datos móviles será video (4).

2.4.1.2 Proliferación de dispositivos móviles inteligentes

En los últimos años se ha experimentado un enorme crecimiento en disponibilidad y variedad de teléfonos inteligentes, es decir dispositivos con teclado completo y capacidad para la transferencia de datos integrada; las considerables mejoras en la interfaz de usuario, la posibilidad de navegación completa , correo electrónico, la reproducción de video y audio desde el dispositivo móvil, están convirtiendo a los usuarios en considerables consumidores de servicios de datos inalámbricos, la inclusión en los dispositivos de cámaras , sistemas de navegación asistida (GPS) y otras tecnologías en los dispositivos móviles ha permitido a los desarrolladores crear aplicaciones que atraen más a los usuarios lo cual ha incrementado la demanda de dichos dispositivos. Según

analistas de Informa Telecom and media, en el 2008 se habían vendido aproximadamente 162 millones de smartphones superando por primera vez la venta de laptops, según las estadísticas de dicha compañía se espera que para el año 2013 casi el 25% de todos los dispositivos móviles que se vendan sean smartphones, de hecho para mediados del 2009 en los Estados Unidos el 30% de los dispositivos móviles vendidos eran smartphones. Además de los teléfonos móviles están surgiendo gran variedad de otros dispositivos móviles que incluyen una interfaz de conexión a redes de datos por ejemplo, notebooks, netbooks, Tablets, dispositivos de juegos, lectores electrónicos, entre otros. Se espera que la adopción global de LTE como estándar único permita una mayor proliferación de estos dispositivos (4).

2.4.1.3 La intensa competencia por ingresos

En la mayor parte del mundo, la telefonía móvil es una intensa competencia. Se puede argumentar que la competencia entre proveedores de servicios y fabricantes de dispositivos eran un conductor clave para la innovación y rápido crecimiento que hasta ahora se ha visto, la penetración de los servicios de datos en muchos países ha llegado a cifras notables, lo que ha provocado que los proveedores de servicios entren en una competencia por tener mayor parte del mercado disminuyendo el costo de acceso a estos servicios provocando que los ingresos por usuario sean menores. La adopción de tarifa plana está conduciendo a una brecha entre costos y consumo, este crecimiento de usuarios está agotando los recursos de red provocando que los proveedores realicen mejoras en sus redes, los proveedores de servicios HSPA están reportando gran aumento en el consumo de datos y según la mayoría de los analistas el consumo actual va a crecer de 50 a 100 veces más en los próximos 5 años. Por ejemplo el índice reportado por Cisco Visual Networking es de 90 Terabytes por mes en el 2009 y para el año 2014 será de 3,6 Exabytes por mes a nivel global, mientras que los ingresos solo crecerán 2 veces en el mismo periodo, los operadores tienen la clara necesidad de reducir el costo por Megabyte y para ello necesitan una infraestructura de red y un modelo de funcionamiento que les permita conseguirlo. Reducir el costo por Megabyte será otro factor clave para desplegar LTE (Long TermEvolution) (4).

2.4.2 Requisitos claves para el desarrollo de LTE

LTE se ha diseñado teniendo en cuenta los siguientes objetivos que permitirán responder a la demanda esperada.

2.4.2.1 Rendimiento a la par con el acceso a banda ancha por cable

Uno de los principales objetivos de LTE es permitir a los usuarios una experiencia igual o mejor que la ofrecida por los sistemas de acceso a banda ancha residenciales desarrollados en la actualidad. Los dos parámetros tenidos en cuenta para lograr este objetivo son el alto rendimiento y la baja latencia.

Para empujar hacia rendimientos altos, 3GPP ha establecido como objetivo lograr velocidades de 100 MBPS en el enlace de bajada y 50 MBPS en el enlace de subida, este orden de velocidades propuesto es notablemente mayor al ofrecido por los servicios 3G actuales, para llegar a dicho objetivo se especula mejorar el rendimiento espectral de 2 a 4 veces más que en la actualidad.

Para permitir el soporte de aplicaciones sensibles al retardo como juegos interactivos por ejemplo es necesario que la latencia en la red se mantenga muy baja, el objetivo de latencia en ida y vuelta debe ser menor a 10 ms, este objetivo es mucho mejor que el ofrecido por redes xDSL que es aproximadamente de 20 a 40 ms (4).

2.4.2.2 Uso Flexible del espectro

Las bandas de frecuencia y la cantidad de espectro utilizado por los operadores móviles varía de manera significativa en todo el mundo, lo que presenta un primer reto y quizá el más importante para el despliegue de LTE, la cantidad de espectro disponible para LTE está directamente involucrada con la agresividad que los operadores deseen migrar a esta nueva tecnología. Con el fin de hacer de LTE una norma verdaderamente global y para atraer la atención de un gran número de operadores, 3GPP propone un alto grado de flexibilidad de espectro.

Los operadores pueden desplegar LTE en 900MHz, 1800MHz, 700MHz y en la banda de 2.6MHz. LTE soporta una gran variedad de anchos de banda para los canales entre los cuales tenemos 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz. Se estableció que los terminales de los usuarios deben ser capaces de funcionar en todos los anchos de banda inferiores a su capacidad máxima, es decir, un dispositivo móvil 10MHz tendrá soporte para todos los anchos de banda hasta los 10MHz. Los canales de 1.4MHz y 5MHz están optimizados para redes GSM y CDMA. LTE es compatible con multiplexación por división de tiempo (*TDD, Time Division Duplex*) y multiplexación por división de frecuencia (*FDD, Frequency Division Duplex*) para dar cabida a asignaciones de frecuencia pares e impares, sin embargo se espera que la mayor parte del despliegue se realice en FDD (4).

2.4.2.3 Coexistencia e interoperabilidad con los sistemas 3G, así como con los sistemas que no pertenecen a 3GPP

Teniendo en cuenta la gran base de abonados actuales a servicios móviles, es un requisito fundamental que LTE puedan funcionar simultáneamente con los actuales sistemas 2G y 3G. La continuidad del servicio, la transferencia de datos y la itinerancia son factores críticos para obtener una experiencia de usuario sin fisuras. Dada la pretensión de LTE en convertirse en una norma verdaderamente global y atractiva para una gran variedad de operadores, los requisitos de interfuncionamiento también se han extendido a redes que no hacen parte de 3GPP, como por ejemplo las redes CDMA y WiMax, además para facilitar la convergencia de fijo a móvil debe ser también capaz de soportar todas las redes IP existentes, incluyendo las redes cableadas (4).

2.4.2.4 Reducción de costo por Megabyte

La creciente diferencia entre consumo de datos inalámbricos y los ingresos captados por los operadores se ha vuelto un punto de gran interés para 3GPP al punto de convertirse en uno de los principales objetivos de LTE. Entre la serie de criterios de diseño que se relacionan directamente con la eficiencia en costos se incluyen los siguientes:

1. Alta capacidad y alta eficiencia en la interfaz aérea.
2. Capacidad de implementación en la interfaz existente, volver a utilizar los sitios celulares y los equipos de transmisión.
3. Interoperabilidad con sistemas heredados para permitir para permitir una migración rentable.
4. Interacción con los sistemas no 3GPP, conduciendo hacia un estándar global que permitiría lograr mayores economías a escala.
5. Arquitectura plana con menor número de componentes y protocolos.
6. Un núcleo de paquetes IP único para voz y datos.
7. Arquitectura IP para impulsar el desarrollo de una comunidad más grande y conseguir economías de escala mediante la convergencia con sistemas de comunicaciones por cable.
8. Estaciones base con menor consumo de energía y espacio, en algunas ocasiones se podría utilizar los espacios existentes en las estaciones base.
9. Apoyo a la auto-configuración y auto-optimización de la red y las tecnologías reduciendo así el costo por instalación y gestión.

2.4.3 Claves tecnológicas y características de LTE

Para cumplir con su servicio y los requisitos de rendimiento, el diseño de LTE incorpora varias tecnologías de radio y red de núcleo, las cuales se mencionan a continuación:

2.4.3.1 Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM, por sus siglas en inglés)

Una de las grandes diferencias de las redes 3G existentes y LTE es el uso de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal como la tecnología de modulación subyacente, mientras que los sistemas 3G desplegados ampliamente tales como UMTS y CDMA 2000 utilizan Acceso múltiple por división de código (CDMA, por sus siglas en inglés). CDMA funciona mediante la difusión de una señal de banda ancha estrecha sobre un ancho de banda más amplio para lograr resistencia a la interferencia y realiza un notable uso del espectro para comunicaciones de baja velocidad de datos como la voz, donde pueden ser multiplexados un gran número de usuarios para lograr la capacidad máxima del sistema. Sin embargo para aplicaciones de alta velocidad, CDMA se hace insostenible debido al gran ancho de banda necesario para conseguir cantidades útiles de propagación (4).

OFDM ha emergido como la tecnología elegida para el logro de altas tasas de datos, actualmente es utilizado por tecnologías como Wi-Fi y WiMax. Las siguientes ventajas de OFDM determinaron que fuera elegida para LTE:

2.4.3.2 Solución eficiente para la interferencia por trayectoria múltiple

Uno de los desafíos más importantes a la tasa de bits en transmisiones de un canal inalámbrico es la interferencia causada por múltiples rutas. En un entorno multitrayectoria, cuando el tiempo de retardo entre las diversas rutas de la señal es una fracción significativa de periodo de símbolo de la

señal transmitida, un símbolo transmitido puede llegar al receptor durante el símbolo siguiente y causar interferencia intersímbolos (*ISI, por su nombre en inglés*). En transmisiones de datos a altas velocidades, el tiempo de símbolo es más corto, por lo que un pequeño retraso puede causar ISI, siendo un gran desafío para la tecnología inalámbrica de banda ancha. OFDM es una técnica de modulación multiportadora que supera este desafío de una manera interesante. La idea básica de la modulación multiportadora es dividir una tasa de alto flujo de bits de datos en varias en paralelo con una tasa de bits de datos más baja y modular cada flujo en diferentes subportadoras. La división del flujo de datos en varias en paralelo aumenta la duración del símbolo en cada subportadora de tal manera que el retardo de trayectoria múltiple es solo una pequeña fracción de la duración del símbolo. OFDM es una solución eficiente de modulación multiportadora, donde las subportadoras son seleccionadas de tal forma que sean ortogonales entre sí durante la duración del símbolo, evitando así tener que exagerar en la cantidad de subportadoras para eliminar la interferencia entre portadoras. En OFDM cualquier interferencia residual también puede ser eliminada mediante el uso de intervalos de guarda entre símbolos OFDM que son mayores que el retardo de trayectoria múltiple esperado. Al hacer que el intervalo de guarda sea más grande que la propagación multicamino se puede lograr que ISI desaparezca por completo, sin embargo implica desperdicio de energía y disminución de la eficiencia del ancho de banda (4).

2.4.3.3 Reducción de la complejidad computacional

OFDM se puede implementar fácilmente utilizando transformada rápida de Fourier (FTT/IFFT), y la necesidad computacional solo crecerá ligeramente más rápido con la velocidad de datos o el ancho de banda. Esta complejidad es mucho menor que la de un sistema en dominio de tiempo, basado en el medio tradicional para luchar contra la interferencia multitrayectoria. La reducción de la complejidad es bastante atractiva en el enlace descendente, ya que simplifica el procesamiento en el receptor lo que conlleva a una reducción en el costo del dispositivo móvil y el consumo de energía (4).

2.4.3.4 Explotación de la diversidad de frecuencias

OFDM facilita la codificación y el entrelazado entre las subportadoras en el dominio de frecuencia, lo cual proporciona robustez frente a errores de ráfaga provocados por porciones del espectro de transmisión experimentando desvanecimientos profundos. Además OFDM permite escalar el ancho de banda del canal sin afectar el hardware de la estación base y la estación móvil, permitiendo que LTE sea desplegado en variedad de asignaciones de espectro y en diferentes anchos de banda de canal (4).

2.4.3.5 Permite esquema eficiente de acceso múltiple

OFDM puede ser utilizado como un esquema de acceso múltiple por reparto de subportadoras diferentes entre varios usuarios, este esquema se conoce como OFDMA y es explotado en LTE. OFDMA ofrece la capacidad de proporcionar granularidad fina en el canal asignado, que puede ser utilizado para lograr mejoras significativas de capacidad, particularmente en lentas variables de tiempo de canales (4).

2.4.3.6 Robusto contra interferencia de banda estrecha

OFDM es relativamente robusto frente a la interferencia de banda estrecha, ya que tal interferencia afecta solo a una fracción de las subportadoras (4).

2.4.3.7 Facilita el uso de MIMO

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) se refiere a una colección de técnicas de procesamiento de señales que utilizan múltiples antenas en el transmisor y en el receptor para mejorar el rendimiento del sistema. Para que las técnicas MIMO sean eficaces, es necesario que las condiciones de canal sean tales que los retrasos multitrayecto no causen interferencias intersímbolo, en otras palabras el canal tiene que ser un canal de desvanecimiento plano y no una frecuencia selectiva. A velocidades de datos muy altas, este no es el caso y por tal motivo las técnicas MIMO no funcionan en canales de banda ancha tradicionales, sin embargo OFDM convierte un canal de banda ancha selectivo en frecuencia en varios canales de banda estrecha con desvanecimiento plano, donde los modelos y las técnicas MIMO funcionan de manera apropiada. La capacidad de utilizar apropiadamente las técnicas MIMO para mejorar la capacidad de los sistemas OFDM ofrece una ventaja significativa sobre otras técnicas y es una de las principales razones de su elección, en sistemas anteriores ya se ha mezclado OFDM y MIMO arrojando resultados positivos como es el caso de Wi-Fi y WiMax (4).

2.4.3.8 Apoyo eficiente a los servicios de radiodifusión

Mediante la sincronización de las estaciones base a los errores de temporización dentro del intervalo de guardia OFDM, es posible operar la red OFDM como una red de frecuencia única (*SFN, Single Frequency Network*), esto permite la combinación de las señales de diferentes células se puedan combinar para mejorar significativamente la potencia de la señal recibida, permitiendo la difusión de transmisiones de datos de mayor velocidad a una potencia indicada. El diseño de LTE aprovecha esta capacidad OFDM para mejorar eficientemente los servicios de difusión.

Aunque todas estas ventajas llevaron a que 3GPP optara por OFDM como solución de modulación también hay que señalar que OFDM presenta algunas desventajas, la principal desventaja es la asociada a señales OFDM con alto pico a promedio de la relación (*PAR, Peak-to-average ratio*), lo que provoca falta de linealidad y distorsión de recorte cuando pasa a través del amplificador RF. Mitigar este problema requiere el uso de amplificadores de potencia costosos e ineficientes con altos requerimientos de linealidad, los que aumentan el costo de emisor y un desperdicio considerable de energía (4).

2.4.4 Técnicas multiantena

El estándar LTE proporciona un amplio soporte para la implementación de soluciones avanzadas para mejorar la robustez de los enlaces multiantena, la capacidad del sistema y la eficiencia espectral. Dependiendo del escenario de implementación se puede utilizar una o varias técnicas multiantena, entre los aspectos técnicos multiantena que soporta LTE están los siguientes:

2.4.4.1 *Diversidad de transmisión*

Es una técnica utilizada para combatir el desvanecimiento multitrayecto en el canal inalámbrico, Se envían diferentes copias de la misma señal codificada de manera diferente, transmitida por múltiples antenas. La diversidad de transmisión se basa en bloques de codificación espacio-frecuencia (*SFBC, space-frequency block coding*) que se complementan con técnicas de diversidad en el tiempo de desplazamiento de frecuencia (*FSTD, Frequencyshift time diversity*) cuando se utilizan cuatro antenas en la transmisión. La diversidad en la transmisión está destinada principalmente a los canales descendentes que no pueden hacer uso dependiente de la programación, también se puede aplicar a las transmisiones de usuario, tales como baja velocidad de datos VoIP, donde la sobrecarga de canal dependiente no puede ser justificada. La diversidad de transmisión aumenta la capacidad del sistema y el rango de celdas (4).

2.4.4.2 *Beamforming*

Las antenas múltiples en LTE pueden ser utilizadas para transmitir la misma señal permitiendo así enfocar dicha señal hacia el receptor, alejándola de tal manera de la interferencia, mejorando así la relación señal-ruido en el receptor, Beamforming proporciona mejoras significativas en el rango de cobertura, capacidad, fiabilidad y duración de la batería. También es útil para proporcionar información angular. LTE es compatible con Beamforming en el canal descendente (4).

2.4.4.3 *Multiplexado espacial*

Consiste en dividir una señal de mayor ancho de banda en señales con un ancho de banda menor transmitidas desde distintas antenas, cuando las señales llegan con suficiente tiempo al receptor este es capaz de distinguirlas creando de esta forma canales con anchos de banda mínimos, esta técnica es usada especialmente en terrenos donde la relación señal-ruido es alta. En el estándar LTE la técnica de multiplexado espacial solo se puede usar cuando se cuenta con cuatro antenas receptoras y cuatro antenas transmisoras (4).

2.4.5 **Sistemas Multiantena**

Uno de los esquemas multiantena utilizados por LTE es MIMO (Multi Input Multi Output), lo que permite aprovechar la propagación multitrayecto aumentando de esta forma la transmisión de datos, disminución de errores, además de obtener un mejor enlace (4).

MIMO se define de varias maneras: se define como dos o más señales de radio diferentes, que usan el mismo canal de radiotransmisión, en el cual cada señal lleva distinta información digital, también es definido como dos o más señales que forman un haz, combinación de recepción y multiplexación espacial.

MIMO se ha estandarizado en Release 6 y fue mejorado en Release 7 con multiplexado espacial para HSPA+.

El uso de múltiples antenas en el transmisor y receptor permite:

- Aumento significativo de las tasas máximas de datos.
- Mejora la eficiencia espectral, especialmente en entornos de baja interferencia.
- Aumento la capacidad del sistema (mayor número de usuarios).

Las configuraciones de antenas avanzadas permiten proveer beneficios notables a los usuarios que recibirán una señal fuerte, incluyendo a los usuarios que están al borde de la celda.

Para los proveedores de servicios móviles se hace necesaria la implementación de MIMO, ya que es una forma económica de aumentar la capacidad, el rango y la velocidad de transmisión a los usuarios en distintos entornos, especialmente en entornos cerrados y con baja interferencia de radio, como por ejemplo celdas pequeñas y/o aisladas (4).

Entre las configuraciones de MIMO se encuentran:

- **Single Input Single Output (SISO)**
Es la tecnología de antenas más simple, para esta configuración el receptor y el transmisor tienen una sola antena, esta configuración es vulnerable a los problemas causados por efectos multitrayectoria.
- **Multiple Input Single Output (MISO)**
En este tipo de configuración, el transmisor tiene varias antenas y el receptor tiene una única antena.
- **Single Input Multiple Output (SIMO)**
En este tipo de configuración el transmisor tiene una única antena y el receptor tiene varias antenas.
- **Multiple Input Multiple Output (MIMO)**
En esta configuración tanto el receptor como el transmisor tienen múltiples antenas, relacionando la capacidad de transmisión con el número de antenas instaladas.

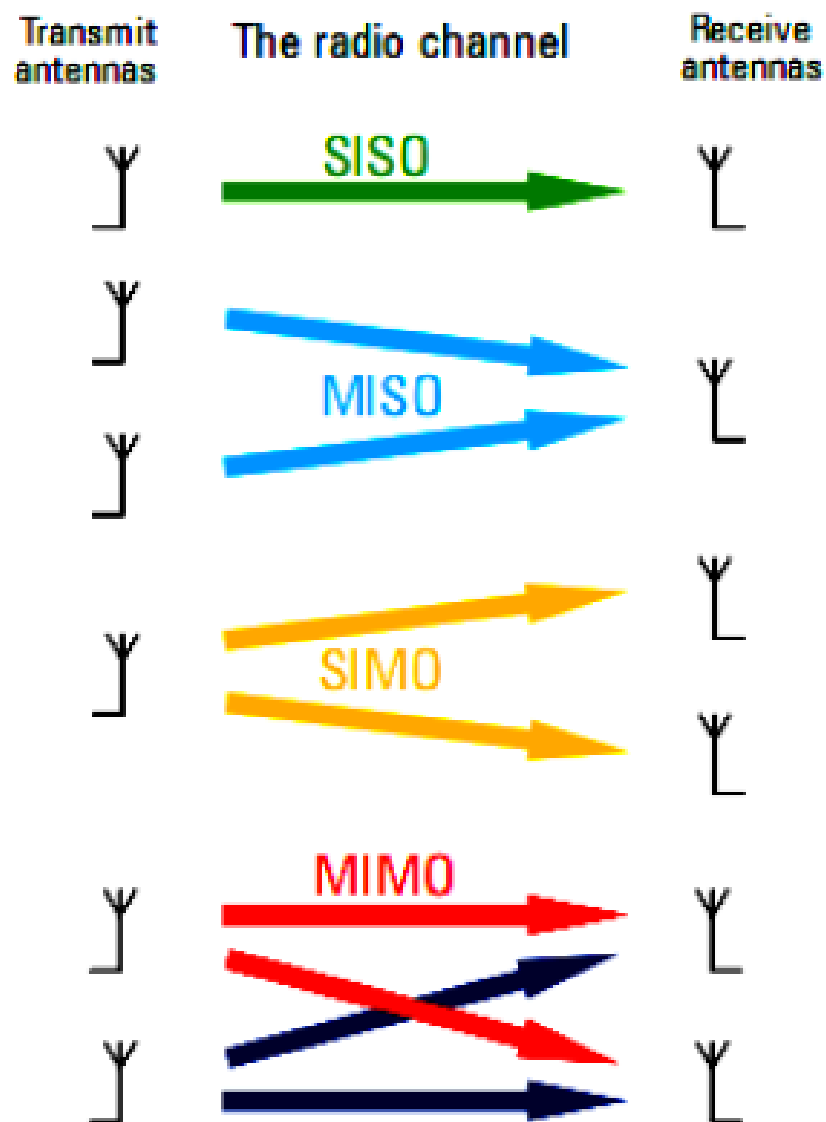


Figura 7. Técnicas Multiantena MIMO(4)

2.4.6 Arquitectura LTE

La arquitectura y los elementos de red de LTE se dividen en cuatro bloques como es observa en la figura 8, a continuación se mencionara la estructura de estos bloques:

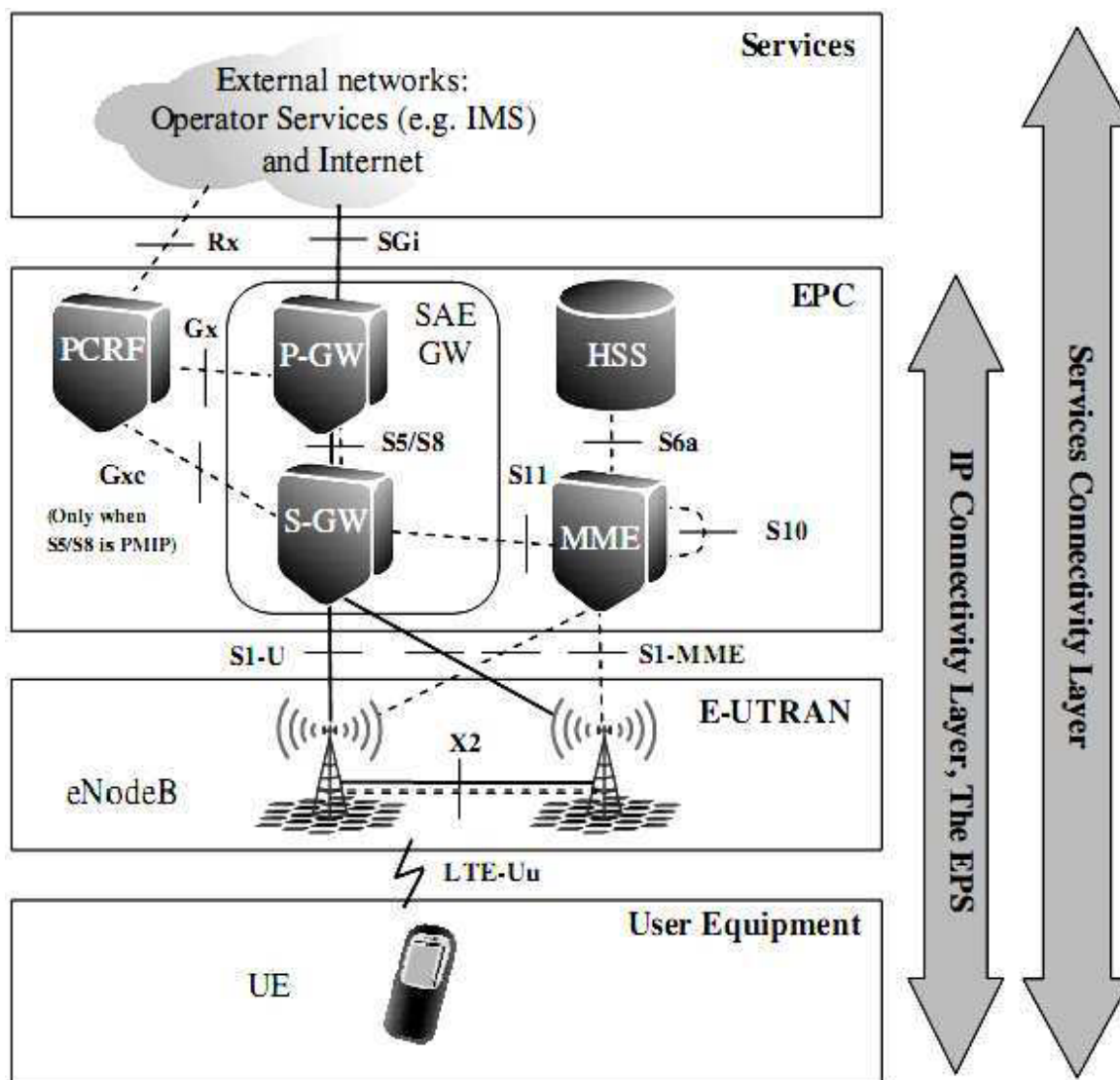


Figura 8. Arquitectura de red LTE(6)¹²

¹² LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access; Holman Harri, Antti Toskala, John Wiley & Sons LTD, 2009

2.4.6.1 Servicios prestados por redes externas

Algunos de los servicios ofrecidos por LTE, cuentan con algunos subsistemas que están proporcionados por: servicios basados en redes IMS (*IP Multimedia Subsystem*) donde el operador proporciona servicios basados en el protocolo SIP (*SessionInitiationProtocol*), servicios basados en redes no IMS para los cuales el usuario accede a un servidor proporcionado por el operador, por ejemplo el video streaming y algunos servicios proporcionados por internet donde el usuario se conecta a través de un servidor de internet para acceder a navegación web o a un servidor SIP para establecer llamadas IP (VoIP (4)).

2.4.6.2 EPS (*EvolvedPacketSystem*)

Conformada por EPC (*EvolvedPacket Core*), E-UTRAN y el equipo de usuario, se forma la capa de conectividad IP, también conocida como EPS (*EvolvedPacketSystem*).

Otro sinónimo para EPS es SAE (*SystemArchitectureEvolution*) como se llamó inicialmente y el cual fue modificado por 3GPP, y que tenía como objetivo crear un sistema de paquetes para obtener mayor velocidad de datos.

EPS realiza una modificación importante en la red eliminando el RNC (*Radio Network Controller*) integrado sus funciones al eNodeB reduciendo así retrasos y optimizando el rendimiento en la red (4).

2.4.6.3 EPC (*EvolvedPacket Core*)

Con el fin de aprovechar todas las ventajas de las tecnologías y permitir la coexistencia de tecnologías con paquetes de datos se ha desarrollado EPC (*EvolvedPacket Core*), el cual está basado en protocolos TCP/IP lo cual permite la interconexión entre redes fijas y redes inalámbricas. Entre los elementos que conforman EPC están los siguientes (4):

- **Serving Gateway y PND Gateways:** Consiste en dos elementos de red interconectados mediante la interfaz S5 conformando así el SAE GW encargado de permitir la salida hacia redes públicas de datos.

El **Serving Gateway** consiste en el nodo que termina la interfaz del plano de usuario hacia la red de acceso radio en cada terminal de usuario asociado a EPC existe un único S-GW asignado en ese momento, el cual actúa como punto de anclaje local permitiendo la movilidad entre redes 3GPP.

Entre las funciones principales de S-GW están las siguientes:

1. Enviar el tráfico móvil a internet y a otras redes IP.
2. Punto de anclaje local para *handover inter eNodeB*.
3. Anclaje para la movilidad *inter-3GPP* (reubicación entre el tráfico 2G/3G y el Gateway PDN). Comúnmente llamado función de anclaje 3GPP.

4. Utilizando la interfaz S4 se encarga del tráfico de usuario en el caso de haber movilidad entre LTE y otra red 3GPP.
5. Permite tener información de tráfico de usuario.
6. Ruteo y envío de paquetes.

El **PDN Gateway** es el nodo que permite acceder a redes de datos públicas, cuando un cliente está accediendo múltiples redes PDN es probable que tenga asignado más de un P-GW asignado a él, actúa como punto de anclaje para la movilidad hacia redes no 3GPP y aplica políticas de utilización de red para el tráfico de usuario.

Entre las funciones principales de P-GW están las siguientes:

1. Soporte para la interconexión entre tecnologías 3GPP (GSM, UMTS, HSPA) y no 3GPP (WiMax o WiFi).
 2. Interfaz entre las redes de acceso y las redes de paquetes.
 3. Utilizando S7 transfiere las políticas de calidad de servicio y tarificación aplicada al tráfico de usuario.
- **Mobility Management Entity (Entidad de administración de movilidad-MME):** Elemento de control de EPC encargado exclusivamente de la señalización, por tal motivo no transporta paquetes con tráfico de usuario.
MME administra movilidad, las identidades de los equipos de terminal y los parámetros de seguridad. Además se encarga de la autenticación, autorización y señalización no ligada al acceso permitiendo así que los operadores puedan dimensionar la señalización y el tráfico de manera independiente, entre las funciones de MME están (4):
 1. Señalización NAS (*non-Accessstratum*) y la seguridad asociada.
 2. Señalización entre nodos de red central permitiendo la movilidad entre redes de acceso 3GPP.
 3. Facilita al operador manejar de forma independiente la señalización y el tráfico de usuario.
 - **HSS (Home Subscriber Server):** Se encarga de almacenar la información de suscripción y datos de autorización necesarios para el acceso del usuario al sistema, en ocasiones se considera la evolución natural del HLR (*Home Location Register*) de GSM.
Contiene toda la información necesaria para gestionar sesiones, entre la cual se tiene información de localización, de seguridad (autorización y autenticación), perfil de usuario (Este perfil indica todas las características y servicios a los que tiene acceso el usuario (4)).
 - **PCRF (Policy and Charging Rule Function):** Se encarga de gestionar y provisionar las políticas de calidad de servicio y tarificación que se debe aplicar al tráfico del usuario. El PCRF no es un nodo específico de la nueva arquitectura ya que es definido en Release 7 de 3GPP (4).

2.4.6.4 E-UTRAN (Interfaz Aire)

En LTE la Interfaz aire es denominada E-UTRAN, la cual está constituida por varios eNodeB conectados entre ellos por medio de una interface X2, es considerada como la estación base de LTE permitiendo interconectar a los equipos de usuario y a la red, además de cumplir funciones de control.

En la figura 9 se puede observar la arquitectura LTE utilizando E-UTRAN, donde claramente se nota la interconexión de los eNB (eNodeB) mediante la interfaz X2, lo que E-UTRAN se enlaza con el siguiente nivel, EPC mediante interfaz S1 que conecta los eNB con la MME (*Mobility Management Entity*) y el S-GW (*Serving Gateway*).

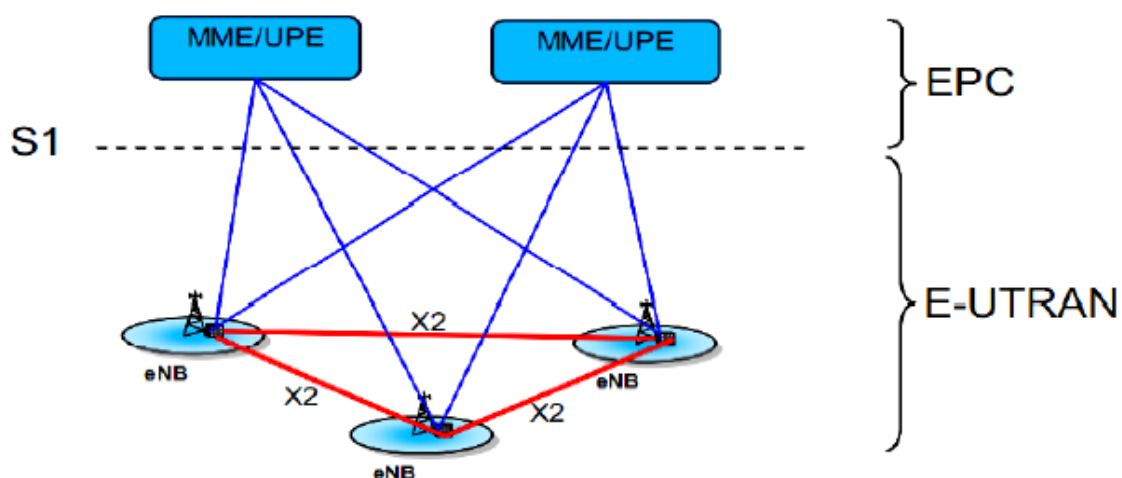


Figura 9. Arquitectura LTE utilizando E-UTRAN(4)

El nodo por el cual es constituido E-UTRAN es conocido como eNodeB(*EvolvedNode B*) que consiste en una radio base ubicada junto a las antenas de radio, siendo un elemento que enlaza el equipo de usuario con el EPC, cumpliendo una función similar a la BTS en GSM.

Entre las principales funciones se encuentran seleccionar el MME (*Mobility Management Entity*), enrutar datos hacia S-GW, el eNodeB revoluciona las actuales arquitecturas debido a la incorporación de características de la RCN (*Radio Network Controller*) reduciendo así la latencia del sistema.

El eNodeB es el responsable de la compresión de cabecera, cifrado y entrega de paquetes, además en el plano de control es responsable de funciones como la admisión, control y gestión de los recursos de radio.

El eNodeB está desarrollado dentro de una estructura de capas de la siguiente forma:

- **Capa 1**

En esta capa se encuentra el soporte para la interfaz aire, además permite el acceso de las demás capas a la información.

- **Capa 2**

En la capa 2 se encuentran las siguientes subcapas:

- **MAC (Medium Access control)**

se encarga del mapeo de canales lógicos y canales de transporte, además de la multiplexación/RLC demultiplexación de PDUs (*Protocol data unit*) pertenecientes a uno o varios portadores dentro o desde los bloques de transporte entregados de o desde la capa física en los canales de transporte, además realiza reportes del volumen de tráfico, corrección de errores, prioridades entre el usuario y los canales lógicos, prioridades entre los usuarios basándose en una programación dinámica y la selección del formato de transporte (4)

- **RLC (Radio Link Control)**

Se encarga de transferir PDUs de la capa superior soportando AM (*Acknowledged Mode*) y UM (*Unacknowledged Mode*) para la transferencia de datos en modo transparente; también se encarga de la corrección de errores, segmentación dependiendo del tamaño de TB, re-segmentación de PDUs en caso de necesitar ser retransmitidos (4).

- **PDCP (Packet Data Convergence Protocol)**

Encargado de la compresión y descompresión de cabecera, en el plano de control realiza cifrado y transferencia de datos en este plano (4).

- **RRC (Radio Resource Control)**

Encargada de establecer, mantener y liberar la conexión RRC entre E-UTRAN y el equipo de usuario, maneja las portadoras de señales de radio, participa de la seguridad, movilidad, se encarga de activar en handover y gestión de QoS (4)

2.4.6.5 Equipo de usuario.

Encargado de permitir al usuario interconectarse a la red LTE. Estos dispositivos contienen un módulo de identificación denominado USIM (*Universal SubscriberIdentity Module*) que consiste en una aplicación ejecutada en una tarjeta UICC (*Universal IntegratedCircuitCard*).

Este módulo de identificación es usado para identificar y autenticar al usuario utilizando claves de seguridad que proporcionan protección a las comunicaciones (4)s.

2.4.7 Interfaces utilizadas en LTE¹³

Las interfaces utilizadas para la interconexión entre LTE y UTRAN/GERAN EPS tienen las siguientes interfaces (5):

- **X2:** Conecta los nodos eNBs y transmite datos de usuario entre nodos.
- **S1-MME:** Es el punto de referencia para el protocolo del plano de control entre E-UTRAN y MME.
- **S1-U:** Es un punto de referencia entre E-UTRAN y GW para el portador y los eNodeB.
- **S3:** Permite al usuario el intercambio de información entre redes de acceso móviles 3GPP en inactividad y/o estado activo se basa en puntos de referencia Gn tales como se define entre SGSNs.
- **S4:** Proporciona control y soporte entre el núcleo GPRS y GW basado en puntos de referencia Gn definido entre SGSN y GGSN, además si el túnel no se encuentra establecido provee un túnel en el plano de usuario.
- **S5:** Usado por el servidor GW para relocalizar al equipo del usuario.
- **S6a:** Permite transferir datos para autenticar y suscribir para autorizar al usuario el acceso al interfaz aire MME y HSS.
- **S6d:** Permite transferir datos para autenticar y autorizar al usuario el acceso al interfaz aire entre S4-SGSN y HSS.
- **Gx:** Proporciona la transferencia de QoS y reglas de carga desde PCRF (*Policy and Charging rules Function*) y PCEF (*Charging Enforcement Function*) en el PDN GW.
- **S8:** Es un punto de interfencia inter- PLMN, suministrando los planos de usuario y de control entre el *Serving Gateway* de la red visitante y la red local, esto basado en el punto de referencia Gp definido entre SGSN y GGSN.
- **S9:** Proporciona la transferencia de QoS e información de control de carga entre PCRF y PCRF.
- **S10:** sirve como punto de referencia entre MMEs para la relocalización y transferir información de MME a MME.
- **S11:** es un punto de referencia entre MME y GW

¹³ UMTS Evolution from 3GPP Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE; Junio 2008; 3G Americas

- **S12:** Es un punto de referencia entre UTRAN y GW para el túnel del plano de usuario, está basado en el punto de referencia lu-u/Gn-u usando el protocolo GTP-U definido entre SGSN y UTRAN o entre SGSN y GGSN.
- **S13:** Permite comprobar la identidad del equipo del usuario entre MME y EIR.
- **SGi:** Es un punto de referencia entre PDN GW y la red de paquetes de datos.

2.4.8 Esquemas de acceso

LTE utiliza dos esquemas de acceso que le permiten reducir la interferencia y aumentar la capacidad de la red, los esquemas utilizados son:

- OFDMA (Frequency Division Multiple Access) para el canal descendente.
- SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) en el canal ascendente.

2.4.8.1 OFDMA (Frequency Division Multiple Access)

Consiste en una función multiusuario de OFDM, que ha sido estandarizada en Release 8 y Release 9 de 3GPP, donde una señal es dividida en sub-portadoras para varios usuarios permitiendo que puedan recibir datos de forma simultánea.

Se utiliza en el enlace descendente ya que permite lograr altos picos de velocidad de datos, no es utilizado en el enlace ascendente debido a que puede dar lugar a un elevado PAR (*Peak-to-Average Ratio*) comprometiendo la eficiencia en potencia y por consiguiente la vida útil de la batería. En la figura 10 se observa el transmisor y receptor OFDMA (6).

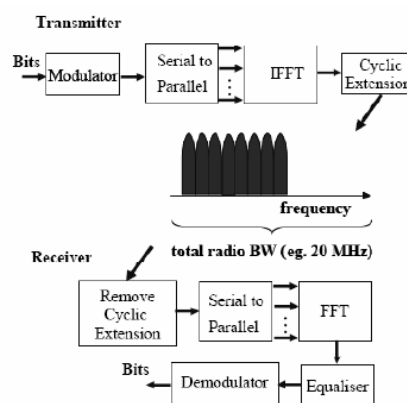


Figura 10. Transmisor y receptor OFDMA(6).

En la aplicación práctica de OFDMA se usa la transformada discreta de Fourier (DFT) y su operación inversa (IDFT) lo que le permite moverse entre los dominios de tiempo y frecuencia.

OFDMA crea subportadoras ortogonales que no se interfieren entre sí como se observa en la figura 11, el espacio entre subportadoras es de 15 KHZ sin importar el ancho de banda total de la transmisión.

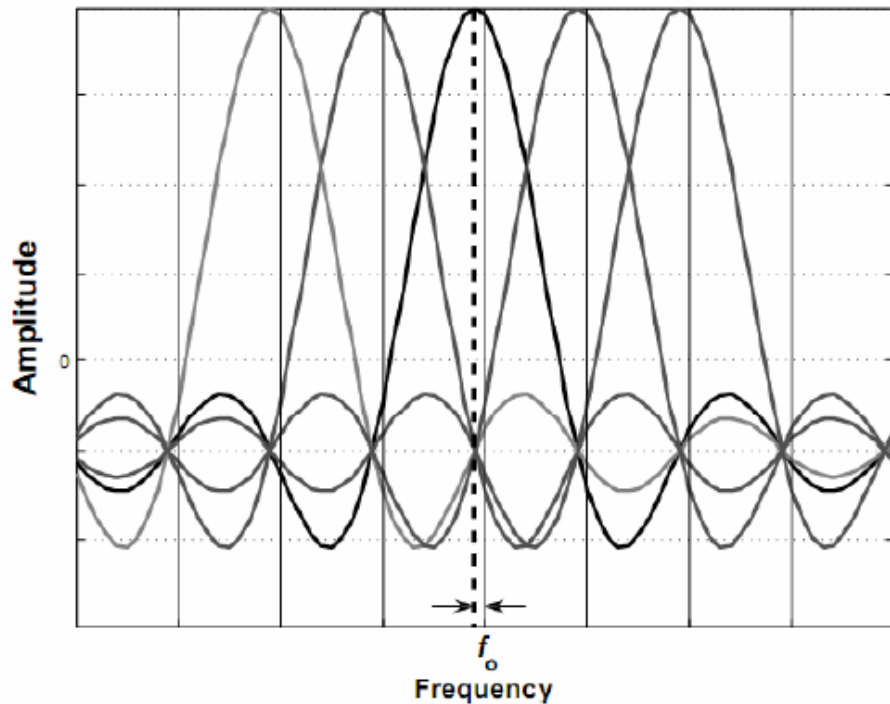


Figura 11. Subportadoras ortogonales traslapadas(7)¹⁴

Con el fin de evitar la interferencia entre símbolos OFDMA se hace uso de prefijos cíclicos, en los que el tamaño tienen gran importancia, si es demasiado pequeño no es capaz de contrarrestar la distorsiónmultitrayecto y a su vez si es muy grande reduce la capacidad de procesamiento de datos, por lo que el tamaño se selecciona teniendo en cuenta el mayor tiempo de retardo del canal, en la figura 12 se observa la estructura del símbolo con la inserción de un prefijo cíclico.

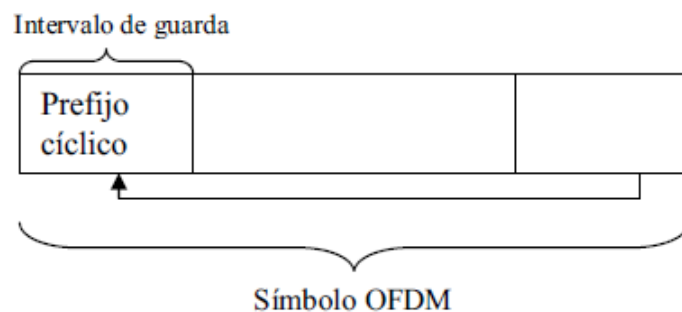


Figura 12. Intervalo de guarda en un símbolo OFDM(6)¹⁵

¹⁴ LTE the UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice;EstefaníaSessia, IssamToufik, Mathew Baker; Wiley; 2009

2.4.8.2 SC-FDE y SC-FDMA

Para mantener bajo el costo e intentar optimizar la duración de la batería, LTE incorpora un esquema de transmisión de energía eficiente en el enlace ascendente. Ecualización en el dominio de la frecuencia de portadora simple (SC-FDE, *Single Carrier Frequency Domain Equalization*) es conceptualmente similar a OFDM pero en lugar de transmitir la transformada de Fourier inversa (IFFT, por sus siglas en inglés) de los símbolos reales, los símbolos se envían como una secuencia de símbolos QAM con un prefijo cíclico añadido; la IFFT se añade al final del receptor. SC-FDE conserva todas las propiedades de OFDM tales como; la resistencia multirrayecto y la baja complejidad, mientras que tiene un bajo pico a media proporción de 4-5 dB. La subida de LTE implementa una versión multiusuario de SC-FDE, llamada SC-FDMA (*Acceso Multiple Por división de Frecuencia de Portadora Simple*) que permite a varios usuarios utilizar partes del espectro de frecuencias. SC-FDMA es muy similar a OFDMA y de hecho en ocasiones es considerada como la "DFT precodificada OFDMA". SC-FDMA también mantiene las características PAR de SC-FDE pero aumenta la complejidad del transmisor y el receptor (2).

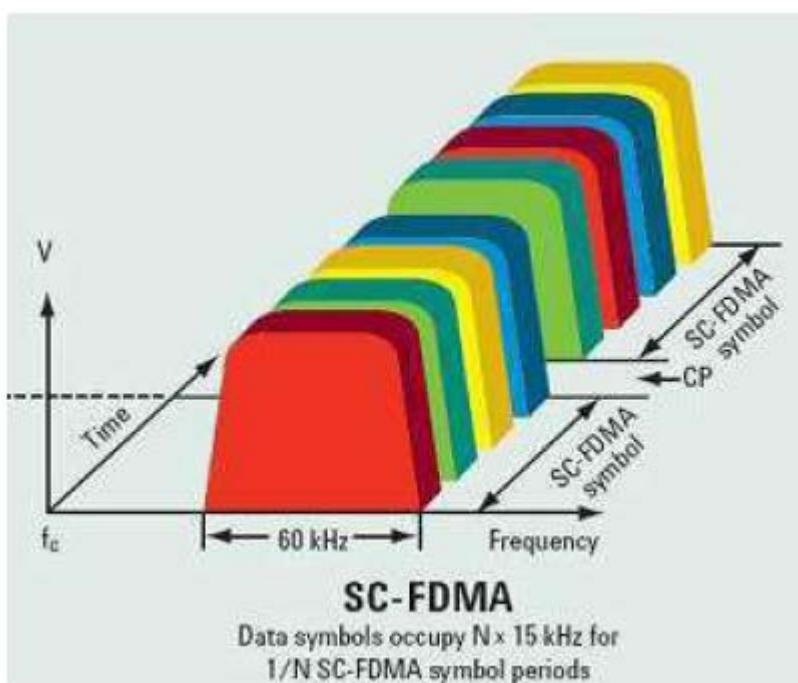


Figura 13. Símbolos SC-FDMA(7)

SC-FDMA transmite M símbolos secuencialmente, cada uno ocupa todo el ancho de banda disponible y tiene una duración igual a una parte del tiempo del símbolo, en la figura 14 se observa la estructura utilizada para la transmisión en SC-FDMA.

¹⁵ LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access; Harri Holman and Antti Toskala; John Wiley; 450 pp.; 2009

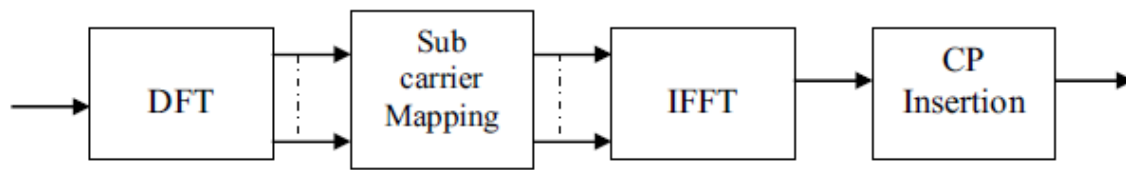


Figura 14. Etapas de transmisión SC-FDMA(5)¹⁶

Los anchos de banda de transmisión cuentan con el mismo intervalo de tiempo de transmisión (1 ms), para transmitir se utilizan dos tipos de estructuras, las cuales están establecidas en tramas de 10 milisegundos, como se muestra en la figura 15, esta trama consta de 20 slots cada uno de 0,5 milisegundos, que van numerados de 0 a 19, se considera una subtrama a dos slots consecutivos, esta trama se puede aplicar en FDD y TDD.

En el caso de FDD son usadas 10 subtramas para el canal ascendente y 10 subtramas para el canal descendente con intervalos de 10 milisegundos.

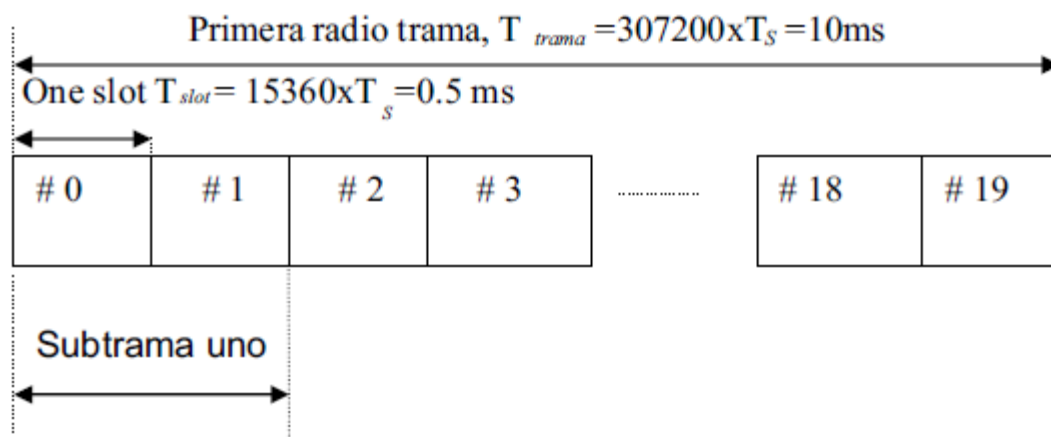


Figura 15. Estructura de la trama en FDD(5)¹⁷

2.4.9 Canales utilizados en LTE

Los canales utilizados por LTE están divididos en tres categorías:

1. Canales físicos.
2. Canales de transporte.
3. Canales lógicos.

¹⁶ UMTS Evolution from 3GPP Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE; junio 2008; 3G Americas

¹⁷ UMTS Evolution from 3GPP Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE; Junio 2008; 3G Americas

2.4.9.1 *Canales físicos*

Son los canales encargados de la transmisión de información de usuario y control. Los canales físicos utilizados en el canal descendente son:

- **PhysicalBroadcastChannel (PBCH)**
Canal utilizado para la transmisión de información de identificación y control a todos los usuarios que se encuentran en el área de cobertura, esta información se transmite aproximadamente cada 40 milisegundos.
- **Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)**
Canal utilizado para transferir información sobre el tipo de modulación de canal (número de símbolos OFDM)
- **Physical Downlink Control Channel (PDCCH)**
Utilizado para transferir información de control a los dispositivos móviles, la información transmitida es de control de acceso.
- **Physical HARQ Indicator Channel (PHICH)**
Utilizado para indicar el estado de Hybrid ARQ.
- **Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)**
Utilizado para transmisión Unicast y funciones de paging.
- **PhysicalmulticastChannel (PMCH)**
Utilizado para enviar información a varios usuarios (Multicast) que se encuentran dentro del área de cobertura.

Los canales físicos utilizados en el enlace ascendente son los siguientes:

- **Physical Uplink Control Channel (PUCCH)**
Utilizado para enviar información de señalización de datos tales como ARQ, ACK, NAK.
- **Physical Uplink Shared Channels (PUSCH)**
Cumple la misma Function del PDSCH en el proceso de canal ascendente.
- **Physical Random Access Channel (PRACH)**
Utilizado para transportar y coordinar las peticiones de servicio enviadas por los dispositivos móviles.

2.4.9.2 *Canales de transporte*

Encargado de definir cómo y con qué características la información será transmitida por la interfaz de radio.

Los canales de transporte utilizado en el canal descendente son:

- **BroadcastChannel (BCH)**
Encargado de transmitir frecuentemente información del sistema además de examinar y medir intensidades de señal, controlando así el acceso de los dispositivos móviles que se encuentran dentro del área de cobertura.
- **Downlink Shared Channel (DL-SCH)**
Canal de comunicación que transmite datos desde el sistema (estación base) a los dispositivos móviles. La estación base asigna los slots de tiempo y canales de radiofrecuencia para transmitir y recibir información de los usuarios.
- **PagingChannel (PCH)**
Canal utilizado para enviar mensajes que alertan al dispositivo móvil de una llamada de voz entrante, solicitud para establecer una comunicación de voz o para solicitar servicios de mantenimiento como por ejemplo actualización de posición.
- **MulticastChannel (MCH)**
Utilizado para enviar información de un dispositivo a varios dispositivos, permitiendo así la transmisión simultánea de los mismos medios de comunicación en la misma frecuencia.

Los canales de transporte utilizados en el enlace ascendente son los siguientes:

- **Uplink Shared Channel (UL-SCH)**
Principal canal de transporte encargado de enviar datos de control o de usuario en el canal ascendente.
- **Random Access Channel (RACH)**
Utilizado para requerimientos de acceso aleatorio.

2.4.9.3 *Canales lógicos*

Canales que proporcionan servicios para el control de acceso al medio, agrupa a los canales de control y de tráfico.

2.4.9.3.1 Canales de control

- **Broadcast Control Channel (BCCH)**
Utilizado para proporcionar información del sistema a todos los dispositivos móviles conectados a un eNodeB.
- **Paging Control Channel (PCCH)**
Canal de control utilizado para enviar mensajes a dispositivos móviles para alertar de una llamada telefónica entrante o para solicitar una sesión de comunicación de datos.
- **Common Control Channel (CCCH)**
Utilizado para establecer y mantener enlaces de comunicación entre los dispositivos móviles y las estaciones base.
- **Multicast Control Channel (MCCH)**
Utilizado para transmitir parámetros necesarios de identificación y acceso de los servicios y canales multicast.

- **Dedicated Control Channel (DCCH)**

Utilizado para coordinar y controlar dispositivos móviles, entre sus funciones está el control de energía, handover, entre otros.

2.4.9.3.2 Canales de tráfico

- **DedicatedTrafficChannel (DTCH)**

Utilizado para la transmisión de datos de usuario.

- **MulticastTrafficChannel (MTCH)**

Utilizado para la transmisión multicast.

2.4.10 Duplexación

El estándar LTE soporta dos tipos de comunicación:

- FDD (FrequencyDivisionDuplexing)
- TDD (Time DivisionDuplexing)

2.4.10.1 FDD

En este tipo de comunicación el transmisor y el receptor funcionan en distintas frecuencias, lo que permite la transmisión simultánea de información, en la figura 16 se representa gráficamente este modo de acceso (6).

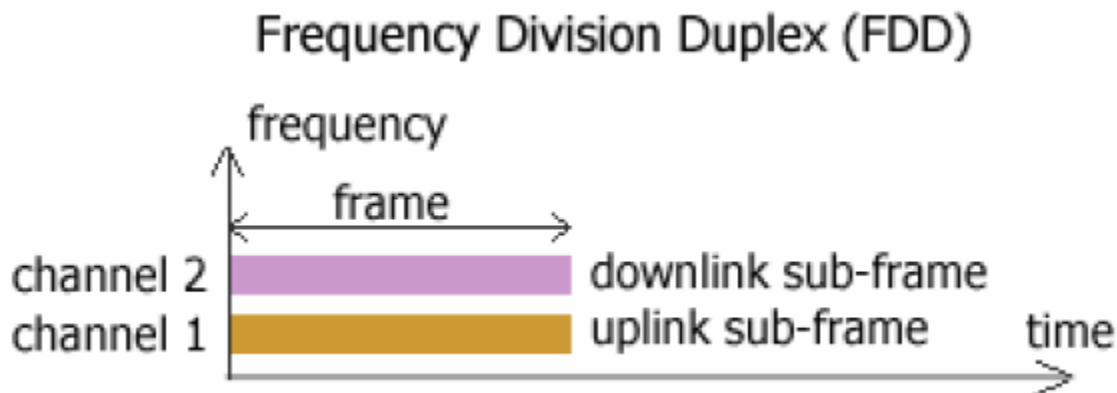


Figura16. FDD (Frequency Division Duplex)(6)

Para la comunicación FDD se considera una frecuencia de guarda para evitar la interferencia entre la señal que se transmite y la señal que se recibe.

Las bandas son asignadas por los entes reguladores, en la tabla 6 se observa la distribución para LTE.

Banda de operación E-UTRA	Banda de operación <i>uplink</i> BS → UE	Banda de operación <i>downlink</i> BS → UE	Canales Ancho de Banda (MHz)
1	1920 MHz-1980 MHz	2110 MHz-2170MHz	5,10,15,20
2	1850MHz-1910MHz	1930MHz-1990MHz	1.4,3,5,10,15,20
3	1710MHz-1785MHz	1805MHz-1880MHz	1.4,3,5,10,15,20
4	1710MHz-1755MHz	2110MHz-2155MHz	1.4,3,5,10,15,20
5	824MHz-849MHz	869MHz-894MHz	1.4,3,5,10
6	830MHz-840MHz	875MHz-885MHz	5,10
7	2500MHz-2570MHz	2620MHz-2690MHz	5,10,15,20
8	880MHz-915MHz	925MHz-960MHz	1.4,3,5,10
9	1749.9-MHz-1784.9MHz	1844.9MHz-1879.9MHz	5,10,15,20
10	1710MHz-1770MHz	2110MHz-2170MHz	5,10,15,20
11	1427.9MHz-1452.9MHz	1475.9MHz-1500.9MHz	5,10,15,20
12	698MHz-716MHz	728MHz-746MHz	1.4,3,5,10,
13	777MHz-787MHz	746MHz-756MHz	1.4,3,5,10
14	788MHz-798MHz	758MHz-768MHz	1.4,3,5,10
17	704MHz-716MHz	734MHz-746MHz	1.4,3,5,10

Tabla 6. Bandas de frecuencia FDD(5)

2.4.10.2 TDD

En el modo TDD los enlaces ascendentes y descendentes transmiten en la misma frecuencia, por tal motivo la transmisión se hace en tiempos diferentes, TDD es utilizado en su gran mayoría para comunicaciones asimétricas, en la tabla 7 se observan las frecuencia asignadas para TDD.

Banda de operación E-UTRA	Banda de operación	Canales Ancho de banda (MHz)
33	1900 MHz – 1920 MHz	5,10,15,20
37	1910 MHz – 1930 MHz	5,10,15,20
39	1880 MHz - 1920 MHz	5,10,15,20
34	2010 MHz - 2025 MHz	5,10,15
38	2570 MHz - 2620 MHz	5,10
40	2300 MHz - 2400 MHz	10,15,20
35	1850 MHz - 1910 MHz	1.4,3,5,10,15,20
36	1930 MHz - 1990 MHz	1.4,3,5,10,15,20

Tabla 7. Bandas de frecuencia asignadas a TDD(5)

PARTE 3

3 ANALISIS DE ESCENARIOS DE MIGRACION A LTE

Dentro de las opciones con las que cuentan los operadores de servicios móviles para migrar a LTE, sin importar la tecnología que tengan implementada actualmente se tienen las siguientes (8):

- Implementar servicios de datos usando tecnología LTE y prestar servicios de voz sobre las redes existentes.
- Implementar redes datos con tecnología LTE, agregando en su núcleo una red IMS que permita prestar servicios de voz.

Teniendo en cuenta las primeras pruebas de migración realizadas por operadores en Europa y Norte América la forma más conveniente de migrar a LTE es iniciar ofreciendo servicios de datos sobre esta tecnología para posteriormente ofrecer servicios de voz sobre 4G. Además desde el punto de vista del operador la experiencia de mercado que adquiere al prestar servicios de datos sobre redes LTE, le da herramientas suficientes para proceder a implementar un núcleo que le permita prestar servicios de VoLTE (8).

Una de las opciones que permite a los operadores ofrecer servicios VoLTE, es la implementación de un núcleo IMS, aunque en la actualidad esta opción no cuenta con el soporte económico suficiente que justifique esta inversión debido al coste que implicaría montar un servicio que se puede prestar sobre las redes ya existentes de forma óptima de cara a los usuarios, sin embargo a futuro implementar un núcleo IMS se hará necesario para los operadores debido a la gran cantidad de servicios IP que se pueden ofrecer (8).

3.1 Migración de redes GSM a redes LTE

Como se ha comentado anteriormente la mejor forma de iniciar la migración a LTE es prestando solo servicios de datos con esta tecnología y a medida que los operadores van adquiriendo experiencia y recursos incluir dentro de su infraestructura elementos de un núcleo IMS que les permitan prestar servicios de VoLTE, esto conlleva a la necesidad de acceder a servicios ofrecidos por las redes basadas en conmutación de circuitos durante este proceso de migración para prestar servicios de voz, para este tipo de migración existen dos opciones que se detallarán a continuación (4):

- Circuit Switched Fall Back (CSFB)(6)
- Single Radio Voice Call Continuity (SR-VCC)(6)

3.1.1 CircuitSwitchedFallback (CSFB)

Es considerado como la primera fase para brindar servicios de voz en LTE, para este proceso los terminales de usuario acceden a servicios 2G/3G como por ejemplo GSM.

Para que este procedimiento pueda ser llevado a cabo es necesario que elementos de red como el MSC (Mobile Switching Center)/VLR (VisitingLocationRegister) y el MME (Mobility Management Entity), tengan capacidad de interconexión (6).

Cuando el usuario se comunica con una red LTE, la red se encarga de hacer una transferencia de posición a la red de conmutación de circuitos, que anuncia la presencia de un terminal en la red de conmutación de circuitos a través de la red LTE (6).

El terminal de usuario envía un indicador *CS Fall Back* a MME, el cual se encarga de realizar una actualización de posición a la MSC/VLR utilizando la interfaz SGs. El usuario realiza una petición de acceso al servicio de voz al eNodeB, el cual realiza el traspaso a la red de destino lo que permite al usuario establecer la llamada. Una vez el usuario finaliza la llamada puede acceder nuevamente a la red LTE, este proceso se puede observar en la figura 17 (6).

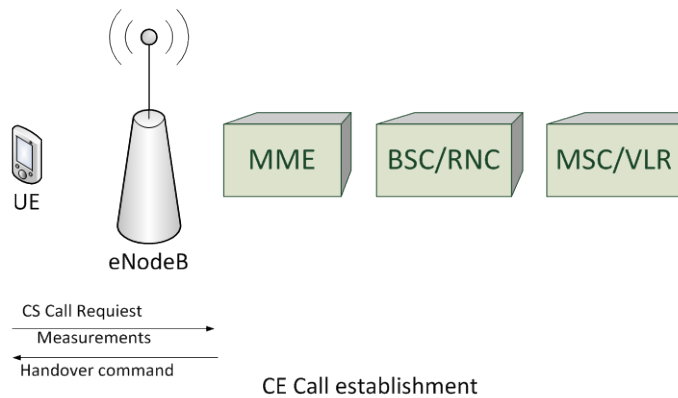


Figura 17. Establecimiento de llamada mediante CS Fall Back(6)¹⁸

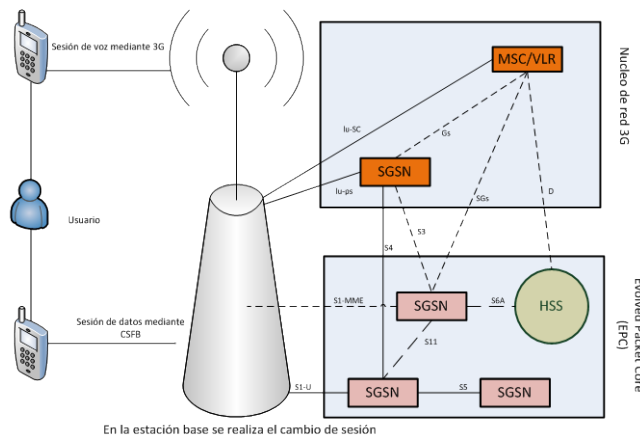


Figura 18. Arquitectura CS Fallback(9)¹⁹

¹⁸ LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access; Holman Harri, Antti Toskala; John Wiley & Sons Ltd, 2009

¹⁹ López Lavado, M y Barba Martí, A Evolución de la plataforma de servicios CAMEL mas allá de los sistemas 3G; IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL 4; 2006

Si durante una sesión de paquetes se presenta una llamada y el sistema CS es capaz de mantener sesiones de datos, es esta la que soporta la transferencia de paquetes. Si el sistema destino no es capaz de soportar sesiones de voz y datos simultáneamente, la sesión de datos es suspendida dando continuidad a la sesión de voz, este escenario se da cuando un usuario LTE se traslada a una GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) que no soporta ambas sesiones este modo se denomina DTM (Dual Transfer Mode) (6).

Ventajas de implementar un FallbackHandover:

- Debido a que la QoS se encuentra establecida en las redes 2G/3G no es necesario implementar QoS en LTE.
- No es necesario implementar una red IMS para ofrecer servicios de voz debido a que este tipo de servicio es ofrecido por las redes 2G/3G.
- Los operadores tienen facilidades, dado que pueden utilizar la infraestructura ya existente de las tecnologías 2G/3G para realizar una llamada de voz sobre LTE.

Entre las desventajas presentadas por este método tenemos:

- Se incrementa el tiempo de llamada, esto se presenta debido a que se debe realizar la transferencia a las redes 2G/3G para realizar o recibir una llamada ocasionando que el usuario experimente una degradación del servicio de voz, este proceso debe ser repetido para cada llamada.
- Otra desventaja con SC Fallback es que cada vez que el usuario recibe una llamada de voz el UE será transferido al sistema 2G/3G ocasionando que la QoS de las conexiones de datos PS se vean degradadas al igual que la voz. Por ejemplo si el sistema GERAN no soporta el dominio PS y CS simultáneamente, se tendrá el caso en el cual mientras se realiza una llamada el servicio de datos se detendrá, por lo que es necesario actualizar el MSC lo cual representa una desventaja para el operador debido al elevado costo y complejidad de la actualización del MSC.

Para ofrecer servicios de voz utilizando la técnica CS Fallback es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los operadores deben comercializar dispositivos móviles que soporten este tipo de tecnología.
- Los operadores deben actualizar sus MSC (Mobile Switching Center) para que soporten la interfaz SGs utilizada para realizar la interconexión lógica entre el MSC y el MME de LTE.
- Es necesario implementar una nueva interfaz en SAE denominada SGs, la cual es el punto de referencia entre la MME y el servidor MSC. Esta interfaz es utilizada para la gestión de la movilidad y los procedimientos de Paging entre EPS y CS, basado en los procedimientos de interfaz Gs.

En forma general CS Fallback presenta una nueva interfaz, S-Gs, entre la unidad de manejo de movilidad (MME) de LTE y el centro de conmutación móvil (MSC) en 2G/3G. El punto de referencia S-Gs se utiliza para el manejo de la movilidad y para el proceso de paginación entre el sistema de paquetes mejorado (EPS) y el dominio CS, es basado en la interfaz denominada en este caso Gs, entre el nodo de soporte de servicio GPRS (SGSN) y el MSC (6).

Para una llamada realizada desde un móvil, el UE solicita a MME la realización de CS Fallback, que a su vez envía la solicitud al eNodeB para realizar la llamada enviándole una señal de mensaje apropiado. El equipo de usuario inicia la llamada de voz, cuyo destino es una red de acceso de radio terrestre (UTRAN) o bien una red de acceso de radio de radio GPRS EDGE (GERAN). Entre tanto si el terminal tiene como fuente de tecnología LTE este puede tener otras conexiones PS en curso, esas conexiones PS son suspendidas o continuadas basadas en la capacidad de la celda. En cualquiera de los casos el usuario experimenta una degradación de QoS (6).

Para una llamada que termina en un dominio CS, el MSC recibe el mensaje para una llamada entrante y envía una solicitud de paginación al MME, que a su vez envía la paginación al eNodeB, quien inicia el procedimiento para la entrega al UE, quien recibe la llamada después de trasladarse al destino 2G/3G (6).

Este método tiene repercusiones sobre el UE, el eNodeB, el MME y el MSC. En el caso del UE este debe ser capaz de acceder a las redes LTE y al mismo tiempo acceder a las redes 2G o 3G y debe ser capaz de realizar una conexión combinada EPS/IMSI, es decir, conectar MME a la red LTE, así como la MSC a la red 2G/3G (6).

Además el MME requiere un mantenimiento que permita asociar la interfaz S-Gs de manera correcta al MSC para la conexión de UE a EPS/IMSI, también es necesario realizar la paginación cuando el MSC recibe una solicitud de página en la red 2G o 3G. La MME también necesita obtener el número de registro de localización de usuario de la MSC para contactar el UE que está ligado a la red LTE, otro punto importante sobre la MSC es que este debe mantener un estado combinado entre el UE y la página del UE sobre la interfaz S-Gs, cuando una solicitud de página para una llamada entrante, es recibida por el UE en LTE (6).

CS Fallback es un método que permite proporcionar el servicio de voz sobre LTE combinando el manejo de 3G y el bloque EPC durante el despliegue inicial de LTE, antes de la prestación del servicio de voz como VoIP, permitiendo el pronto servicio de terminales de voz a través de los servicios LTE sin tener que esperar la finalización de las facilidades VoIP/IMS y sin tener que esperar que los servicios de LTE sean más convenientes para los usuarios (6).

3.1.2 Single Radio Voice Continuity (SR-VCC)

En la figura 19 se muestra la estructura de las redes que usan como soporte a SR-VCC, se observa claramente la interconexión de elementos de red 2G/3G tales como UTRAN/GERAN y elementos de red 4G como E-UTRAN, estos elementos son interconectados mediante SGSN y MME (6).

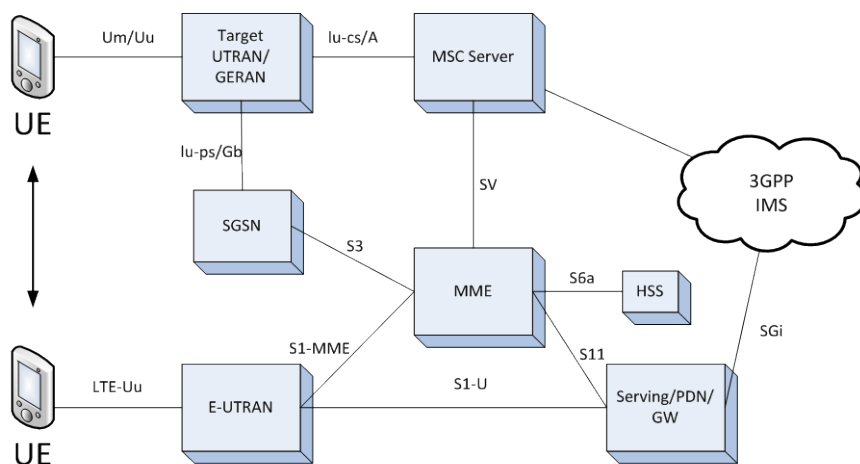


Figura 19. Estructura de red con soporte SR-VCC(6)

SR-VCC permite realizar Handover desde la red LTE a redes de antigua generación tales como GSM, WCDMA o CDMA y es considerada como la transición que implementa servicios de voz mediante IMS aunque carece de una total cobertura LTE.

Uno de los principales objetivos de SR-VCC es proporcionar un servicio continuo, es decir que al cambiar de una conexión 2G/3G a LTE o viceversa el servicio se continúe prestando sin que exista pérdida en la comunicación y que este cambio o al menos la continuidad de la sesión sea completamente transparente para el usuario (6).

Al proporcionar un sistema continuo, está considerado que todos los servicios sigan funcionando a pesar que la continuidad de alguno de ellos este comprometida. Para realizar handover entre las redes es necesario que el MSC sea capaz de soportar el procedimiento utilizado por SR-VCC incluyendo el establecimiento de la interfaz Sv (6).

Es denominada *Single Radio Solución* debido a que no es necesario que el terminal del usuario tenga la capacidad de acceder a dos señales simultáneamente de diferentes tecnologías.

En la figura 20, se pueden observar las diferentes interfaces que deben ser usadas para permitir *Handover* entre redes 2G/3G y LTE utilizando SR-VCC.

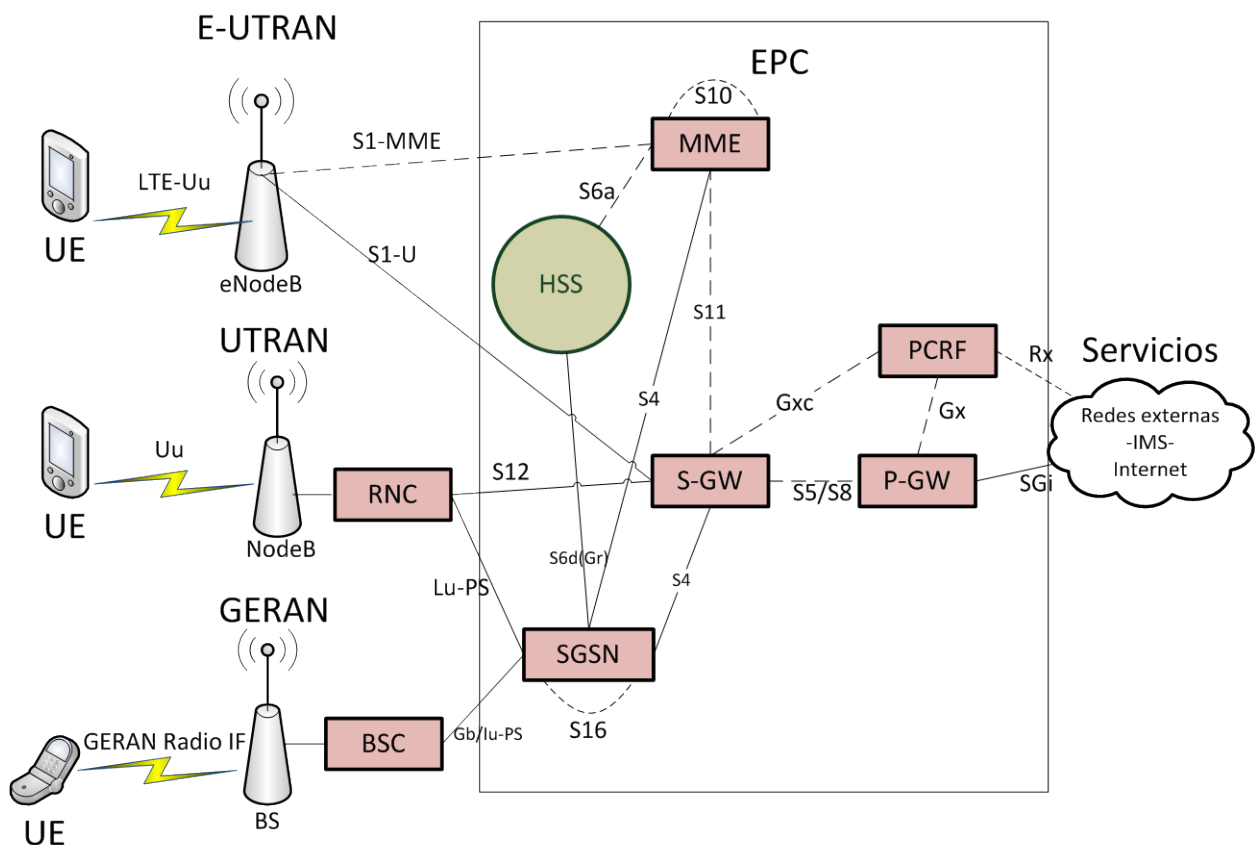


Figura 20. Arquitectura de red LTE con accesos de red 3GPP(6)²⁰

Como condiciones importantes para implementar SRVCC es que el UE debe iniciar la llamada de voz usando IMS en la cobertura LTE y el servidor en la cobertura LTE y el servidor de aplicaciones usado para la transferencia de sesión IMS debe ser introducido en la ruta de señalización IMS durante el establecimiento de la llamada de voz (6).

SRVCC utiliza un procedimiento de transferencia para el acceso a la red y un proceso de continuidad de servicio en el IMS. El UE indica su capacidad SRVCC al MME durante el manejo de la movilidad, este a su vez activa el procedimiento SRVCC y se lo indica el eNodeB. Cada vez que el UE está perdiendo la capacidad LTE el eNodeB la detecta e inicia el procedimiento hacia MME. MME soporta una nueva interfaz Sv hacia el servidor mejorado MSC y envía la solicitud de entrega SRVCC hacia la red de destino 2G/3G a través del servidor MSC. MSC actúa como medio de interconexión y prepara el destino para la transferencia correspondiente (6).

Para realizar una llamada de voz con SRVCC es necesario que el UE tenga cambios con el fin de mantener la llamada de voz CS y además tenga la capacidad de señalización SRVCC hacia la red.

²⁰ LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access; Holman Harri, Antti Toskala; John Wiley & Sons Ltd, 2009

Además se tiene que el eNodeB necesita mejorar con el fin de preparar la información adecuada para el destino a la red de acceso de radio y activar la entrega SRVCC (6).

Una de las ventajas que presenta SRVCC frente a otros sistemas de circuitos conmutados es que sea activa únicamente cuando el UE está perdiendo la cobertura LTE, esto se nota principalmente cuando el usuario experimenta una degradación del servicio de datos. Entre las principales desventajas que presenta SRVCC es que al ser un sistema basado en IMS involucra aspectos como elevados costos de implementación, además de representar una solución bastante compleja que seguramente tomaría un tiempo en lograr un crecimiento significativo y posicionarse comercialmente.

3.1.3 VOLGA Voice over LTE via Generic Access

El objetivo de esta opción es facilitar a los operadores prestar servicios de voz y servicios de mensajería.

La solución propuesta por el VOLGA Fórum, permite proporcionar servicios de voz y mensajería sin necesidad de desplegar una red IMS, en vez de esto se considera instalar un nuevo elemento de red llamado VANC (VOLGA Access Network Controller), el cual será el núcleo de la red GSM-UMTS y que se comporte como una BTS (*A-Mode*) o RNC (*Iu-Mode*) (4).

VANC es considerada como una modificación de 3GPP GANC (*Generic Access Network Controller*) que es capaz de soportar conmutación de circuitos en LTE mediante el uso de un túnel IP.

En la figura 21, Se observa la estructura de la red utilizando la solución VOLGA, en donde se observa el nuevo elemento denominado VANC y la interconexión con los elementos ya existentes en las redes GSM y UMTS.

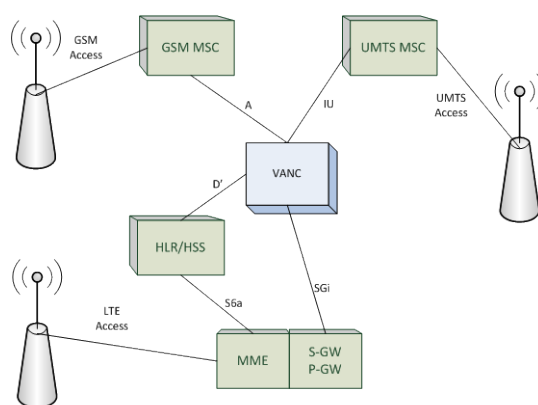


Figura21. Arquitectura de red utilizando la solución VOLGA(6)

En el lado de LTE, VANC se conecta a P-GW Packet Data Network Gateway utilizando la interfaz SGi, en la que se envían datos de usuario (paquetes de voz); VANC es un nodo transparente para EPC (EvolvedPacket Core) de LTE. La interfaz A es utilizada para conectar el VANC con la MSC

(Mobile Switching Center) de GSM, mientras la interfaz *lu* es utilizada para interconectar al nodo VANC a la RNC de UMTS (6).

Debido a que las interfaces *A* y *lu* van conectadas directamente al VANC, son conexiones transparentes para los elementos de las redes GSM y UMTS, por tal razón estos nodos no deben ser modificados.

El método VOLGA fue detenido en marzo del 2009 para redes 3G por lo que no es presentado como una alternativa de migración hacia redes LTE.

Dentro de las principales ventajas proporcionadas por VOLGA esta que el operador no debe realizar modificaciones en la arquitecturas de su red ya sean GSM o UMTS, esto permite agilizar la implementación de VOLGA, ya que todo el funcionamiento se centra en VANC (*Volga Access Network Controller*), además permite al usuario acceder a otros servicios de conmutación de circuitos como mensajería instantánea SMS. La principal desventaja de VOLGA es el hecho de no estar estandarizada y 3GPP no está trabajando actualmente en el desarrollo de esta solución (6).

3.1.4 ONE VOICE (VoLTE)

De esta forma es denominado el grupo de operadores (AT&T, Verizon, TeliaSonera, Telefonica, Vodafone y Orange) Quienes han decidido que la mejor forma de ofrecer servicios de voz y SMS sobre redes LTE es implementar una red IMS (6).

IMS es una solución compleja debido al costo y a la implementación de la misma, aunque esta arquitectura cuenta con el patrocinio de 3GPP/3GPP2 con el apoyo de organismos de estandarización como ITU y ANSI, entre otros.

- **IMS (IP Multimedia Subsystem)**

Son redes con la capacidad de brindar servicios multimedia fijos y móviles, se caracterizan por estar comprendidas por una arquitectura de red independiente de la red de acceso, lo que permite que sea utilizada por diferentes redes de acceso de radio o redes inalámbricas (5).

IMS es utilizado para prestar servicios como Voz, Datos y Video, entre otras haciendo uso del protocolo IP (*Internet Protocol*) para el transporte de la información y el uso del protocolo SIP (*SessionInitiationProtocol*) para la señalización.

Los operadores interesados en ofrecer los servicios sobre IMS deben actualizar los UICC (*Universal IdentityCryptographicComputer*), algunos operadores realizan este procedimiento mediante la actualización de la tarjeta USIM e ISIM en un proceso denominado como Over-the-Air Activation (OTA (5)).

- **Elementos de red que se modifican en la migración de redes GSM a LTE**

Para realizar un estudio de los elementos de red que se modifican en un proceso de migración de GSM a LTE es necesario analizar los dos tipos infraestructura que estas tecnologías poseen, LTE a pesar de ser considerada la evolución de GSM cuenta con una estructura completamente diferente, en la figura 22 podemos observar la arquitectura de GSM.

Para migrar hacia LTE desde GSM es necesario cambiar por completo a una infraestructura LTE, lo que implica un alto costo al operador. Debido a esto una mejor opción es evolucionar desde redes GSM a redes como GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+ UMTS a través de los diferentes *Releases*²¹ en los cuales las arquitecturas de red se modifican progresivamente hasta llegar a *Release 8* (LTE) de una manera menos compleja.

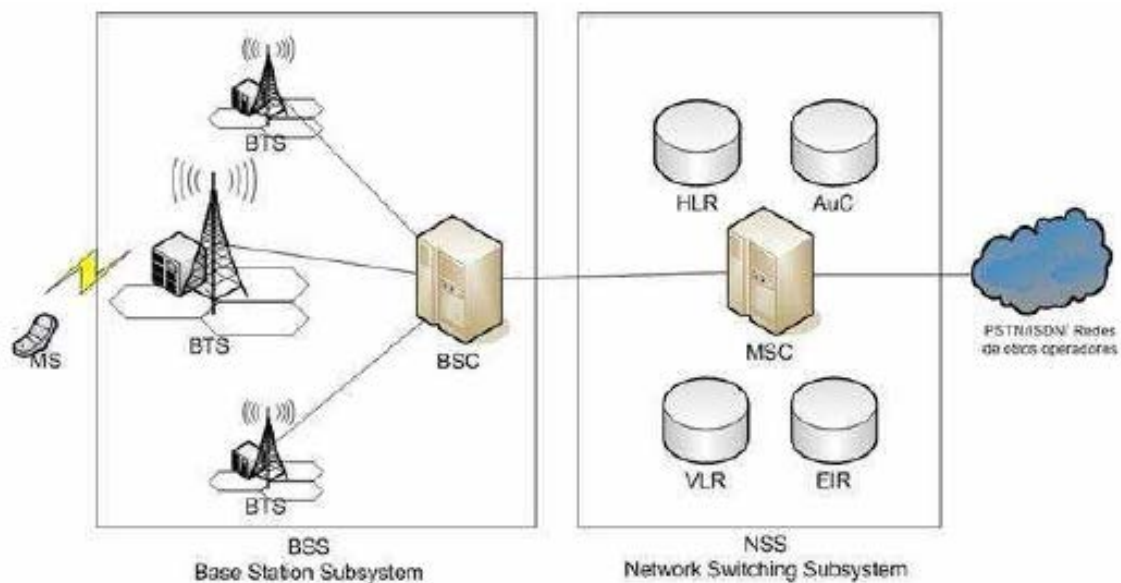


Figura 22. Arquitectura GSM(10)

El primer paso para esta migración progresiva hacia LTE es actualizar la red GSM a GPRS, la arquitectura GSM/GPRS presenta dos nuevos nodos:

- GGSN (*Gateway GPRS SupportNode*) el cual sirve de interfaz con redes de datos externas.
- SGSN (*Service GPRS SupportNode*) Comunicación con las estaciones móviles.

²¹Releases: Comunicados emitidos por 3GPP en los cuales se realizan mejoras a los estándares anteriormente lanzados.

En esta arquitectura la estación móvil (*MS*, por sus siglas en inglés) se conecta a la BTS y posteriormente con la BSC de la arquitectura GSM. El BSC se conecta con la SGSN y esta con el GGSN (5).

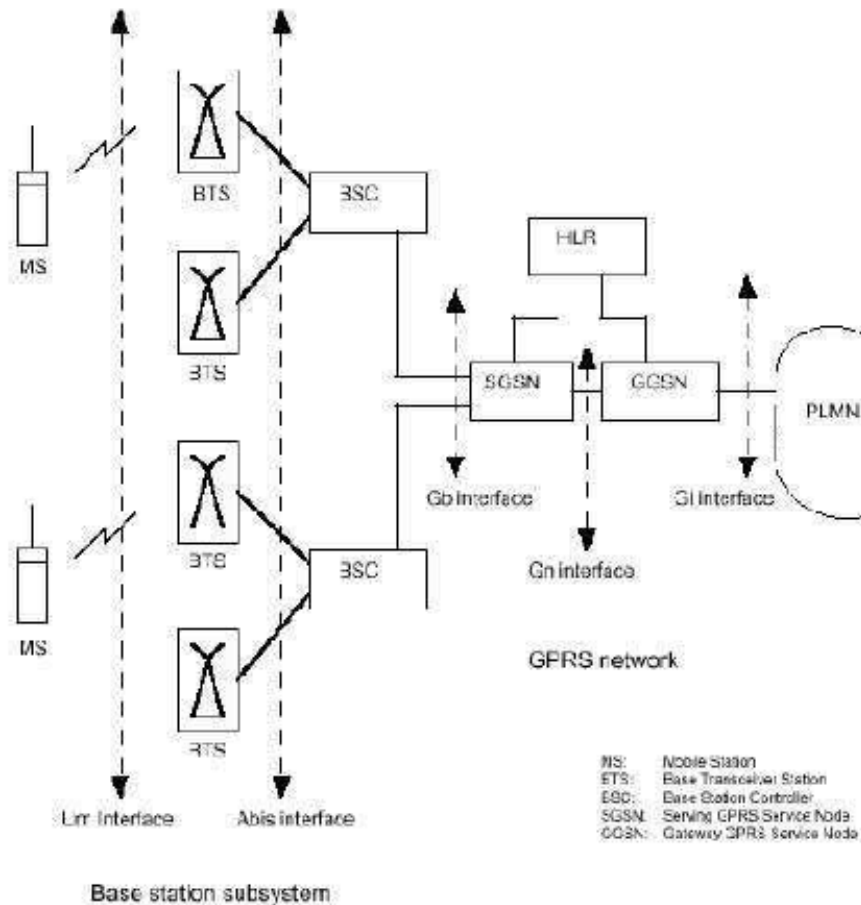


Figura 23. Red GSM/GPRS(3)

Durante el proceso de mejora de la red GSM se puede implementar EDGE que mejora las velocidades de transmisión de información, debido a que utiliza mejores métodos de modulación.

El siguiente paso en esta evolución es la implementación de UMTS (*considerada una tecnología 3G*) para la cual se requiere una nueva arquitectura de red en la cual se agregan los siguientes elementos de red: GGSN, SGSN, RNC, Node B.

En la posterior migración de UMTS directamente hacia LTE se deben tener en cuenta algunas diferencias que se deben considerar durante el proceso, como se observa en la figura 24 (10)²²

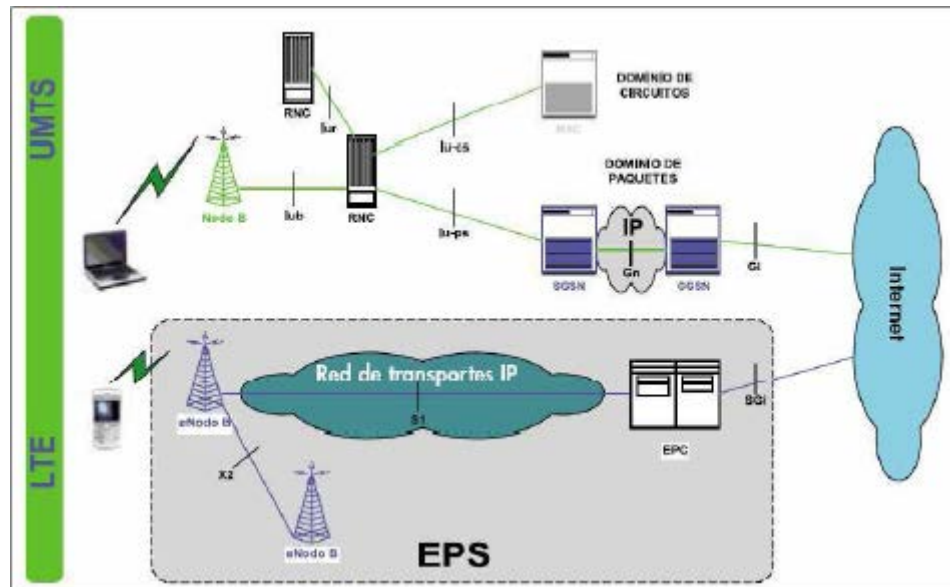


Figura 24. Diferencias de arquitectura entre LTE y UMTS(4).

Al contar con menos elementos de red LTE es una red de menor complejidad y más optimizada, debido a la disminución de los componentes de su arquitectura (10).

En UMTS la arquitectura de acceso radio o UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) es conformada básicamente por los Node B conectados a la RNC (*Radio Network Controller*) mediante la interfaz Iub. Por su parte el RNC es conectado al núcleo de red mediante las interfaces Iu-CS y Iu-PS a los dominios de circuitos y paquetes respectivamente.

Con LTE se realiza la introducción de EUTRAN, cuya principal diferencia es la eliminación de los RNC al incorporar nodos B evolucionados a los que se añaden las funciones que hasta entonces realizaban estos (4)

LTE en comparación con UMTS cuenta con una red de radio menos compleja debido a que las funcionalidades del RNC son trasladadas a la estación base y otras hacia el núcleo de red (*core network*). En LTE las estaciones base son denominadas Enhanced Node B (eNodeB) las cuales se conectan al paquete de núcleo evolucionado (EPC, *Evolved Packet Core*) por medio de la interfaz S1, mientras que mediante la interfaz X2 se interconectan los eNBs entre sí para lograr el proceso denominado Inter-handover (4).

²² LTE/SAE, una propuesta asegura la evolución de las redes móviles, Alfonso Mirraño; Antena de Telecomunicación; junio, 2009

Desde el punto de vista del núcleo de red, aunque las redes precedentes a LTE consistían en un híbrido entre redes de conmutación de circuitos y paquetes, la principal novedad de LTE es la convergencia de servicios de voz y datos mediante el transporte de tráfico por medio de una arquitectura basada en IP, eliminando de esta forma el dominio de circuitos incorporando el concepto de red plana (10)²³

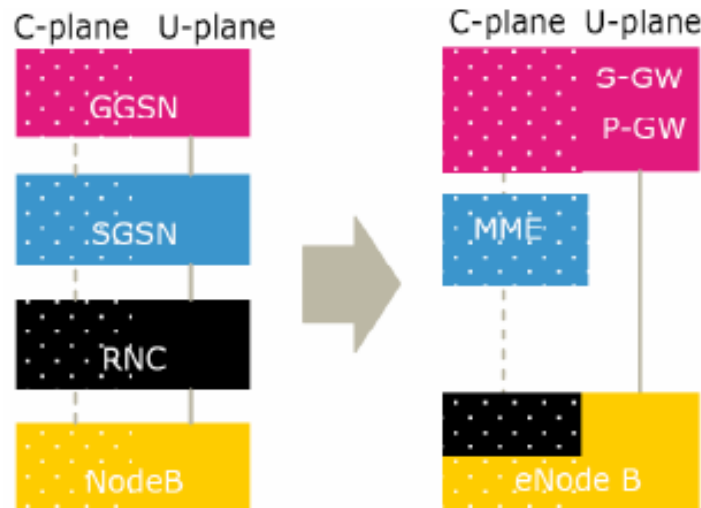


Figura 25. Simplificación en la red EPC(8)²⁴

Otro de los cambios que el operador debe realizar en el proceso de migración está en el núcleo de red denominado EPC debido a que el MME (*Mobility Management Entity*) asume el papel de SGSN en el plano de control y el *serving PND Gateway* en el plano de usuario eliminan al GGSN (4).

El siguiente paso en la evolución que realizan los operadores es la migración de UMTS a HSDPA, en la figura 26 se observa en forma de bloques los cambios que se presentan en la infraestructura en el proceso de migración hacia LTE.

²³ LTE/SAE, una apuesta segura en la evolución de las redes móviles, Alfonso Mirraño, Antena de Telecomunicación; 2009.

²⁴ Long Term Evolution Overview, Alcatel Lucent, octubre 2008

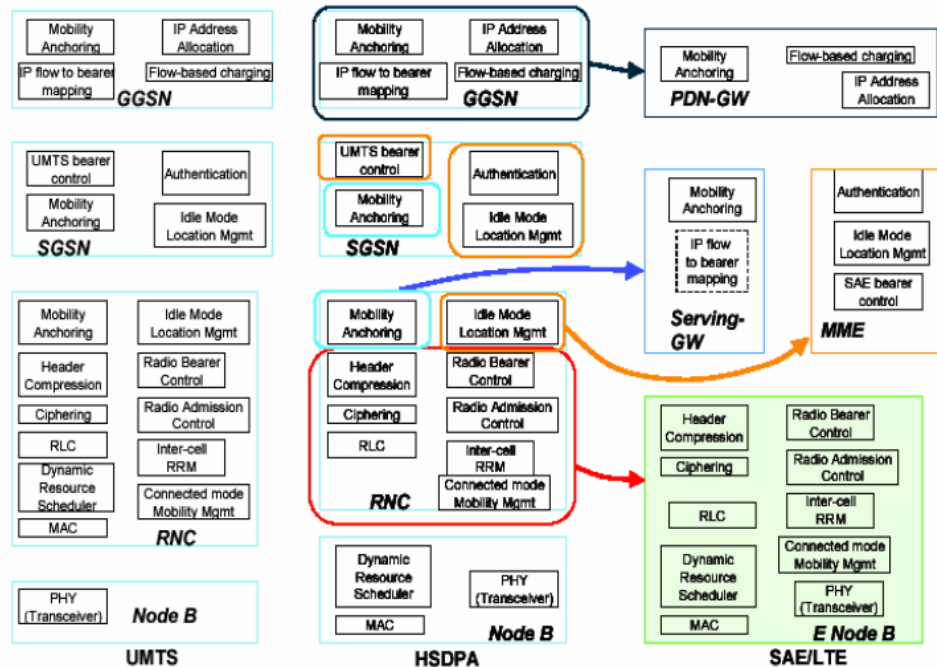


Figura 26. Cambios en la arquitectura en la migración de UMTS a LTE(5)

3.2 Cuadro comparativo de opciones de migración a redes de cuarta generación (LTE)

En la tabla 8 se observan las ventajas y desventajas de los escenarios de migración que han sido estudiados en el desarrollo de este documento.

Opción de migración a redes 4G	ventajas	desventajas
CircuitSwitchedFallback (CSFB)	- Debido a que la QoS se encuentra establecida en las redes 2G/3G no es necesario implementar QoS en LTE. - No es necesario implementar una red IMS para ofrecer servicios de voz debido a que este tipo de servicio es ofrecido por las redes 2G/3G. - Los operadores tienen facilidades, dado que pueden utilizar la infraestructura ya existente de las tecnologías 2G/3G para realizar una llamada de voz sobre LTE.	- Se incrementa el tiempo de llamada, esto se presenta debido a que se debe realizar la transferencia a las redes 2G/3G para realizar o recibir una llamada ocasionando que el usuario experimente una degradación del servicio de voz, este proceso debe ser repetido para cada llamada. - Otra desventaja con SC Fallback es que cada vez que el usuario recibe una llamada de voz el UE será transferido al sistema 2G/3G ocasionando que la QoS de las conexiones de datos se vean degradadas al igual que la voz. Se tendrá el caso en el cual mientras se realiza una llamada el servicio de datos se detendrá, por lo que es necesario actualizar el MSC lo cual representa una desventaja para el operador debido al elevado costo y complejidad de la actualización del MSC.
Single radio Voice Continuity (SR-VCC)	Una de las ventajas que presenta SRVCC frente a otros sistemas de circuitos conmutados es que sea activa únicamente cuando el UE está perdiendo la cobertura LTE, esto se nota principalmente cuando el usuario experimenta una degradación del servicio de datos.	Entre las principales desventajas que presenta SRVCC es que al ser un sistema basado en IMS involucra aspectos como elevados costos de implementación, además de representar una solución bastante compleja que seguramente tomaría un tiempo en lograr un crecimiento significativo y posicionarse comercialmente.
VOLGA (Voice Over LTE Via Access Generic)	Dentro de las principales ventajas proporcionadas por VOLGA esta que el operador no debe realizar	La principal desventaja de VOLGA es el hecho de no estar estandarizada y 3GPP no está trabajando

	modificaciones en la arquitecturas de su red ya sean GSM o UMTS, esto permite agilizar la implementación de VOLGA, ya que todo el funcionamiento se centra en VANC (<i>Volga Access Network Controller</i>), además permite al usuario acceder a otros servicios de conmutación de circuitos como mensajería instantánea SMS.	actualmente en el desarrollo de esta solución.
ONE VOICE (VoLTE)	• Cuenta con el patrocinio de 3GPP y 3GPP, además del apoyo de organismos de organización con ITU y ANSI, entre otros. • Al estar implementado sobre IMS permite gestionar servicios de voz sin que exista intermitencia ni reducción de QoS en los servicios de datos en caso tal de iniciar una sesión de voz.	• Debido a que se basa en IMS el costo de implementación será elevado. • Al ser una solución completamente basada en LTE es una red de menor complejidad y más optimizada, debido a la disminución de los componentes de su arquitectura.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de los escenarios de migración a redes de cuarta generación (LTE)

Finalmente luego de analizar los diferentes escenarios de migración se considera que para el caso específico de los operadores móviles en Colombia que cuenten con infraestructura propia deberían empezar la migración hacia redes de cuarta generación (LTE) utilizando CircuitSwitchedFallback (CSFB) ya que a pesar de presentar algunos problemas con el establecimiento de las sesiones de voz y de datos simultáneamente, llegan a ser casi imperceptibles para el usuario, así el operador podría incursionar en el mercado ofreciendo dicho servicio, haciendo uso de las redes existentes, lo que le permitirá realizar esta implementación sin necesidad de realizar una inversión elevada en un mercado que inicialmente no tendrá el ingreso medio por usuario (ARPU por sus siglas en ingles) que se tendría que esperar si se implementara una solución completa LTE como por ejemplo ONE VOICE (VoLTE) que podría poner en riesgo la estabilidad financiera del operador y su permanencia en el mercado.

Sin embargo los operadores móviles deben enfocarse en implementar redes completamente basadas en IMS, a media que la demanda por el servicio de redes de cuarta generación vaya aumentando y el ingreso medio por usuario (ARPU, por sus siglas) lo permita, teniendo en cuenta que las exigencias de los usuarios crecen de manera exponencial a medida que los UE (UserEquipment) continúen evolucionando y las aplicaciones a las cuales tienen acceso sean más exigentes.

En la figura 27 se observa el esquema de implementación para CircuitSwitchedFallback (CSFB) teniendo en cuenta la conexión entre los componentes del núcleo de red 3G y el EPC (EvolvedPacket Core).

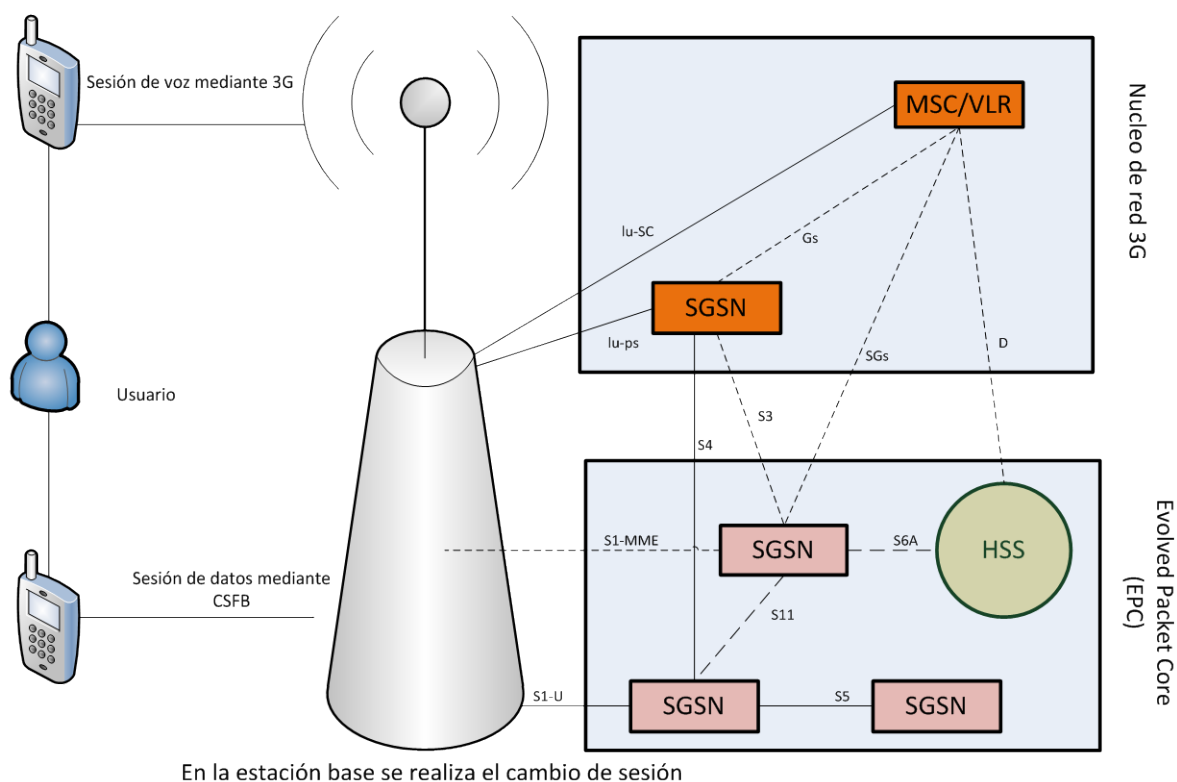


Figura 27, esquema de implementación de circuitSwitchedFallback (CSFB)

3.3 Comparación de arquitecturas UMTS/HSPA y LTE

En la figura 27 se puede observar las conexiones que tienen el Nodo B en UMTS/HSPA y su evolución, es decir las conexiones del E Node B en la tecnología LTE.

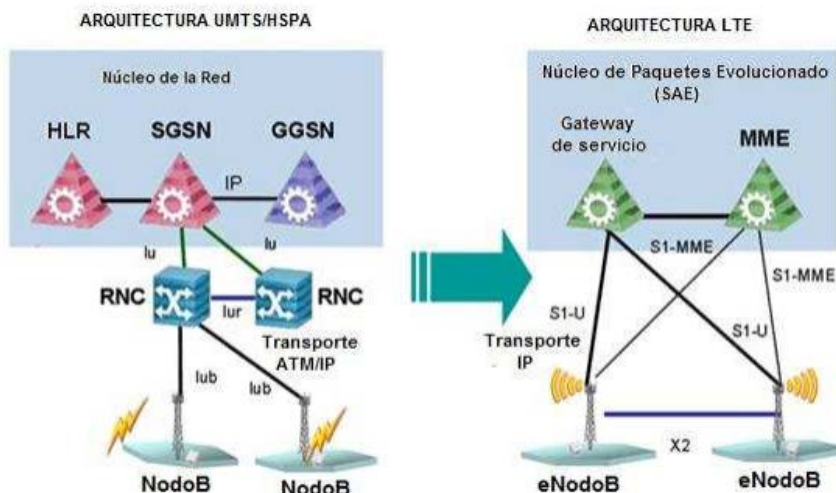


Figura 28. Comparación entre la arquitectura UMTS/HSPA y la arquitectura LTE(5).

3.3.1 Conexiones del Nodo B en UMTS /HSPA

En UMTS/HSPA los nodos B se conectan a los controladores de la red de radio (*RNC, Radio Network Controller*), el Nodo B es un elemento que soporta frecuencias de radio para la transmisión y recepción, constituyendo de esta forma al sistema de emisión de información, además realiza codificación de canal y entrelazamiento, adaptación de tasas de transmisión, esparcimiento y control de potencia (11).

El RNC Realiza funciones de control de acceso, control de conexión, adicionalmente controla recursos de radio de su dominio, además responde por funciones de control de carga y control de congestión, constituyendo de este modo el punto de acceso para todos los servicios ofrecidos por la UTRAN a el núcleo de red. Los RNC están conectados al SGSN, debido a que este dispositivo constituye la interfaz lógica a la UTRAN y también se encarga del correcto envío de paquetes al Nodo B (11).

En UMTS el HLR se encarga de la movilidad, el cual está conectado al SGSN y constituye una base de datos que contiene una lista de suscriptores locales y además almacena información de localización de los UE.

El SGSN, se conecta al GGSN que funciona como una interfaz lógica a la red de paquetes de datos externa, para redes IP externas, el GGSN actúa como un router IP ordinario.

3.3.2 Conexiones del eNodeB B en LTE

En la tecnología LTE, los eNodeB B se conectan directamente al MME y el S-GW. El E Node B es el encargado de controlar todas las funciones relacionadas con frecuencia de radio de la parte fija del sistema. El eNodeB B actúa en la capa 2 como puente entre el UE y el núcleo de la red, entre las funciones del eNodeB B están cifrado y descifrado de los datos, compresión y descompresión de la cabecera IP, es también responsable de la gestión de recursos de radio, es decir, controla el uso de la interfaz de radio, que incluye los requerimientos de calidad del servicio (QoS) y desempeña un papel importante en la gestión de la movilidad, al controlar y analizar el nivel de las mediciones de la señal de radio transmitida por el UE, basándose en ello para tomar decisiones de Handover entre celdas (4).

El MME es el principal elemento de control del núcleo de la red y trabaja únicamente en el plano de control, de esta forma no está involucrado en la trayectoria de los datos de plano de usuario, además el MME cumple funciones de autenticación y seguridad, gestión de la movilidad, gestión de suscripción de perfil y conectividad de servicios (4).

Durante la movilidad entre eNodeB B, el S-GW actúa como anclaje para la movilidad local. El MME se encarga de dirigir al S-GW para conmutar la conexión de un eNodeB B a otro, además el MME puede realizar peticiones al S-GW para proveer recursos para él envió de datos, cuando hay necesidad de enviar datos de un eNodeB B a otro durante el tiempo en el que el UE realiza handover.

3.4 Migración de tecnologías actuales a LTE a nivel de red.

En la figura 28 se puede observar la comparación entre las redes 2G/3G y 4G.

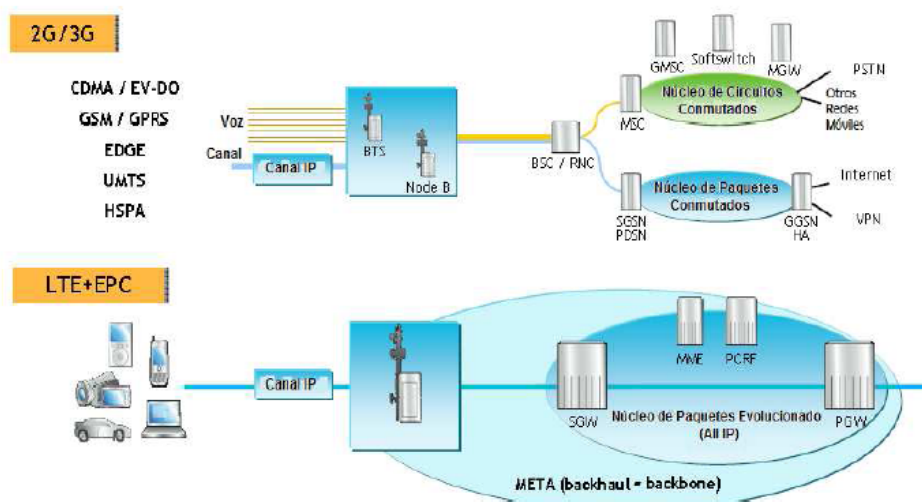


Figura 29. Comparación entre arquitecturas 2G/3G (IMTS/HSPA) y 4G (LTE)(6).

La tendencia actual apunta a que todas las tecnologías móviles implementadas sean compatibles con sistemas móviles de cuarta generación 4G, gracias al esfuerzo realizado por el 3GPP quien ha definido que las arquitecturas e interfaces de tecnologías como UMTS/HSDPA o CDMA200 puedan trabajar conjuntamente con redes LTE, permitiendo así la reutilización de ciertos elementos de la red (4).

Sin duda alguna todas las redes actuales convergen a redes de cuarta generación, debido a la tendencia global en la cual se hace necesario contar con una red que permita al usuario desplazarse por el mundo sin perder conectividad.

A continuación se presentara las diferentes arquitecturas que pueden trabajar conjuntamente con LTE.

3.4.1 Arquitectura de sistema para un trabajo conjunto de la red E-UTRAN y las redes de acceso 3GPP

En la figura 29 se describe la arquitectura y los elementos de red, de las redes de acceso 3GPP, tales como E-UTRAN, UTRAN y GERAN, conectadas al núcleo de la red EPC.

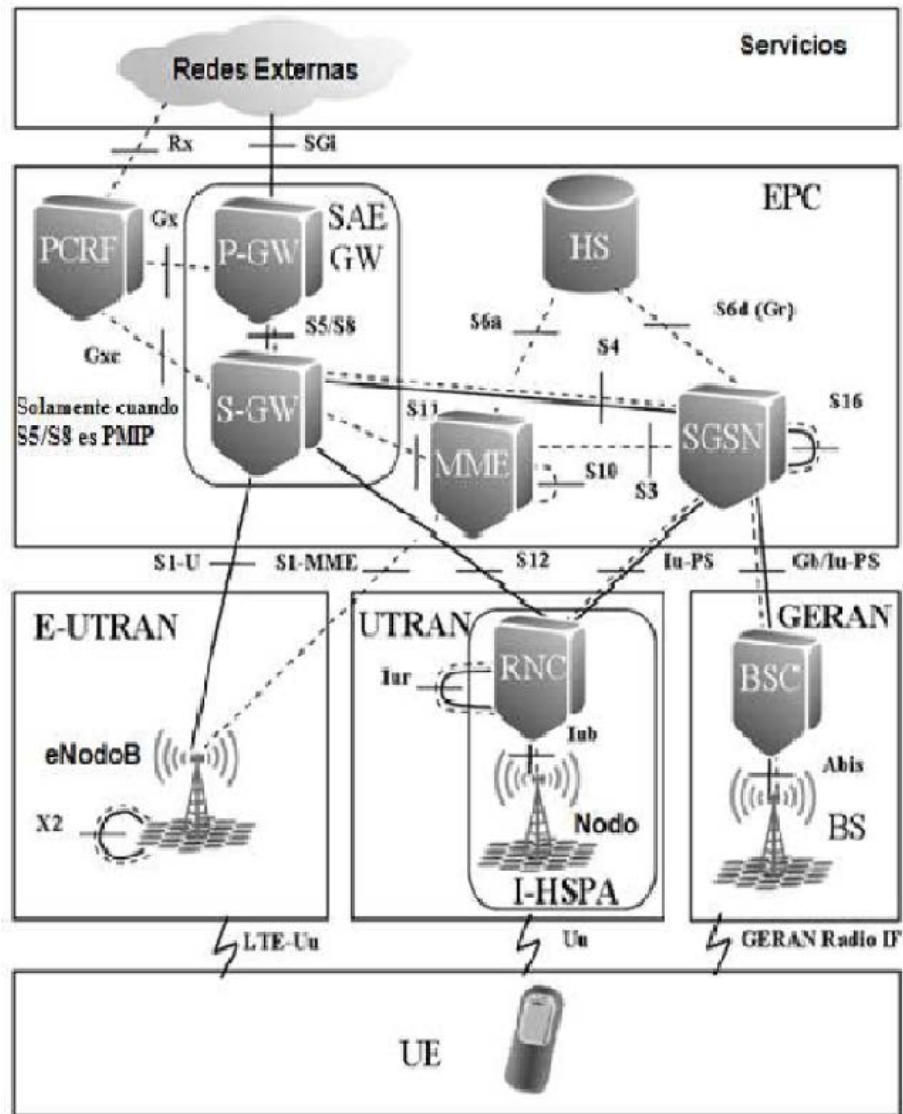


Figura 30. Arquitectura del sistema para redes de acceso 3GPP(4).

Funcionalmente E-UTRAN, UTRAN Y GERAN proveen conectividad de manera similar, especialmente visto desde el punto de vista del usuario final, donde la única diferencia son las tasas de transmisión y el desempeño de la red, pero a nivel de arquitectura estas redes de acceso son completamente diferentes, por ejemplo hay grandes diferencias, en como las portadoras son administradas en la EPS comparado con las redes existentes como UTRAN y GERAN. Sin embargo cuando UTRAN y GERAN son conectados a EPC, podría operar desde esta perspectiva y para este propósito el S-GW asume las funciones de nodo de soporte Gateway GPRS (*Gateway GPRS SupportNode-GGSN*). Además en un trabajo entre redes optimizado con la redes de acceso E-UTRAN, GERAN y UTRAN, el comportamiento será el mismo al que trabajan con redes de acceso iguales. La diferencia comienza a notarse en el EPC, debido a que anteriormente el GGSN solía ser fijo, y ahora con el S-GW actuando como GGSN, cambiar con el SGSN durante la movilidad del UE (6).

El EPC además de necesitar las interfaces ya existentes, requiera algunas nuevas que le permitan realizar un intercambio de información con las redes UTRAN y GERAN, estas nuevas interfaces son S3, S4 y S12 como se observa en la figura 29.

Teniendo en cuenta que el eNodeB diseñado en la E-UTRAN, está enfocado en los requerimientos solicitados por la nueva interfaz de radio OFDMA, el cual debe ser considerado en el diseño de la arquitectura para que las redes de acceso puedan trabajar conjuntamente. De este modo el ENodeB no puede ser una interfaz directa con las otras redes de acceso 3GPP, sin embargo optimizar el trabajo entre redes significa que la red controla los evento de movilidad como handovers y provee funcionalidades que permiten el manejo de la comunicación disminuyendo las interrupciones en los servicios, lo que conlleva a que el eNodeB sea capaz de coordinar con las celdas UTRAN y GERAN los valores de la señal del UE, para de este modo tomar decisiones de handover basadas en los resultados de las mediciones (6).

Con el fin de permitir a las redes E-UTRAN, UTRAN y GERAN trabajar de manera conjunta, es necesario realizar algunas configuraciones y actualizaciones a algunos de los elementos de red, los cuales se describirán a continuación:

- **Equipo de usuario**

Desde el punto de vista del UE es necesario que pueda soportar todas las tecnologías de radio en cuestión y las operaciones definidas entre dichas tecnologías, el trabajo optimizado entre redes significa que la red controla los transmisores y receptores de radio del UE, este proceso es llamado operación de radio simple, el cual permite implementaciones de UEs donde existe un único par de transmisores o receptores físicos de radio implementados.

El estándar no excluye la implementación de múltiples transmisores y receptores de radio, trabajando simultáneamente en modo dual, sin embargo la operación de un simple radio es un modo importante, debido a que las diferentes redes de acceso a menudo operan en frecuencias que son cercanas a otras que tiene operaciones de radio dual lo que causaría mayor interferencia en el terminal, además del aumento en el consumo de potencia que disminuiría el desempeño del equipo (4).

- **E-UTRAN**

La única adición al eNodeB de la E-UTRAN comparada con la configuración básica de su arquitectura es la movilidad hacia y otras redes de acceso 3GPP. dentro de la perspectiva de eNodeB las funciones son similares con respecto a las otras redes de acceso 3GPP.

Para el handover desde la E-UTRAN hacia la UTRAN o GERAN, las celdas contiguas de las otras redes deben ser configuradas en el eNodeB, es así como el eNodeB puede considerar el handover del UE que tiene la capacidad de radio correspondiente. El eNodeB solicita el nivel de la señal medido de las UTRAN o GERAN y analiza dichos reportes, si el eNodeB decide iniciar un handover, envía la señalización correspondiente al MME, de la misma forma que si fuera a realizar handover entre eNodesB, subsecuentemente el eNodeB recibirá la información necesaria para el comando handover desde el sistema al cual se va a realizar este procedimiento, a través del MME.

El MME enviara el comando handover al UE sin necesidad de interpretar el contenido de esta información (4).

En el caso de handover desde UTRAN o GERAN hacia E-UTRAN, el eNodeB no realiza ninguna preparación específica, comparada a los otros handover en los cuales se requiere una petición de preparación para handover que viene desde el MME. El eNodeB ubicara los recursos solicitados y prepara la información para el comando handover, el cual es enviado al MME que a su vez enviara la información al UE a través del sistema de acceso 3GPP que origina el handover (4).

- **UTRAN**

UTRAN ha evolucionado desde su introducción inicial en el Release 99, incluyendo aspectos de arquitectura, entre otros. El primer aspecto mejorado es la flexibilidad de la interfaz lu, en donde el RNC puede ser conectado a muchos nodos de soporte de servicio GPRS (*Service GPRS SupportNodes-SGSNs*) en lugar de uno solo. Otro concepto es el I-HSPA, donde el paquete de datos relacionados con funciones RNC, están incluidas en el Nodo B (4).

El trabajo entre redes con la E-UTRAN, requiere que la UTRAN desempeñe las mismas medidas de control y análisis así como el transporte de información en el handover.

- **GERAN**

Es la evolución de la red acceso GSM, que puede ser conectada al núcleo 3G, consiste en el controlador de las estaciones base (*Base StationController, BSC*) y las estaciones base (*base station-BS*(4)).

GERAN está conectada al SGSN tanto en el plano de control como en el plano de usuario, y su conexión es empleada para funciones de trabajo entre redes.

- **EPC**

Tiene la función central dentro de la arquitectura definida para un trabajo entre redes, debido a que gracias a este pueden funcionar juntas las redes de acceso. La MME y el S-GW soportar conectividades y funciones para el trabajo entre redes. Además el SGSN puede soportar las redes de acceso UTRAN y GERAN (4).

El S-GW sirve de anclaje para los sistemas de acceso 3GPP, en las operaciones de movilidad entre SGSNs, el S-GW se comporta como GGSN hacia el SGSN, y además hacia el RNC si los túneles en el plano de usuario están configurados directamente.

Para soportar la movilidad entre redes el MME necesita señalización con el SGSN, esta operación es básicamente la misma que entre MMEs (4).

El SGSN mantiene funciones como; controlar nodos en el núcleo de la red tanto para UTRAN y la GERAN y funciones similares al MME, el SGSN debe actualizar el soporte para el cambio de S-GW durante la movilidad entre SGSNs o RNCs, debido a que desde el punto de vista del SGSN este caso sería como un cambio de GGSN el cual no está soportado, desde el punto de vista del S-GW no hay mayor diferencia, así que este no necesita conocer en qué tipo de nodo termina un túnel del plano de usuario.

3.4.2 Arquitectura de sistema para un trabajo conjunto de la red UTRAN y las redes de acceso no 3GPP.

Configuración de la arquitectura del sistema.

Trabajar con redes de acceso no 3GPP fue uno de los principales objetivos al diseñar SAE, y para lograrlo fue necesaria una especificación de arquitectura separada completa desarrollada por 3GPP. La arquitectura de sistema para este tipo de soluciones se divide en dos categorías (6).

En la primera categoría se tiene un conjunto de soluciones genéricas para trabajo entre redes, que pueden ser utilizadas con cualquier red de acceso no 3GPP, las soluciones de movilidad incluidas en esta categoría son llamadas handovers sin optimización, y los procedimientos utilizados son iguales para modo conectado como modo en reposo. La segunda categoría incluye una específica y estricta solución para el trabajo de redes con una red de acceso seleccionada, a CDMA2000, esta categoría de solución es llamada handover con optimización y los procedimientos tanto en modo reposo como conectado se trabajan por separado (6).

El trabajo genérico entre redes de acceso no 3GPP, se puede observar en la figura 30, en la cual se describe la solución genérica que se basa en un acoplamiento flexible, que significa una interfaz genérica sin un nivel de interfaces a la red de acceso.

Desde que existen diferentes tipos de red de accesos se han categorizado en dos grupos, red confiable y red no confiable de acceso no 3GPP, dependiendo si puede dar seguridad que la autenticación definida por 3GPP se puede ejecutar por la red. El P-GW, mantendrá la función de anclaje de la movilidad y las redes de acceso no 3GPP serán conectadas a este, ya sea desde la interfaz S2a o S2b, dependiendo si las redes de acceso no 3GPP son confiables o no confiables (6).

La solución para controlar la movilidad de la red es una solución centrada principalmente en el UE, como se muestra en la figura 31, en este tipo de configuración el UE se puede registrar en cualquier red de acceso no 3GPP, recibe una dirección IP y se registra en el P-GW local, esta dirección soluciona la movilidad como una función de superposición. Mientras el UE es atendido por una de las redes de acceso 3GPP es considerado dentro del enlace local, evitando así la sobrecarga causada por las cabeceras adicionales MIP (6).

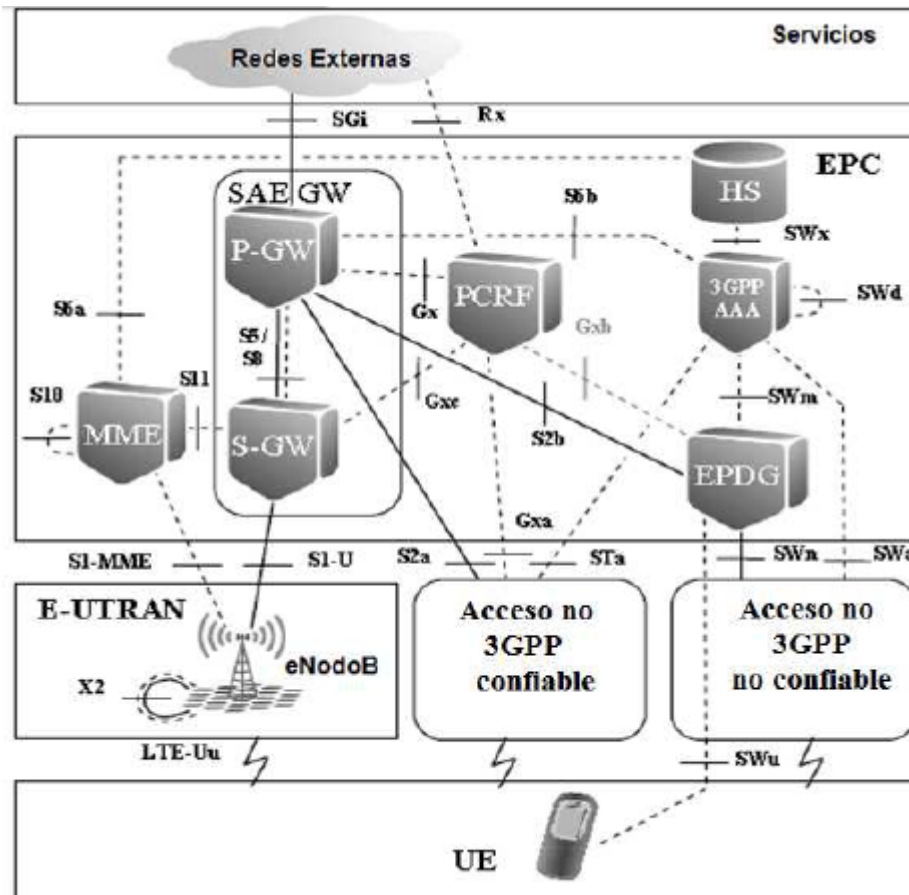


Figura 31. Arquitectura de sistema para redes de acceso 3GPP y no 3GPP(6).

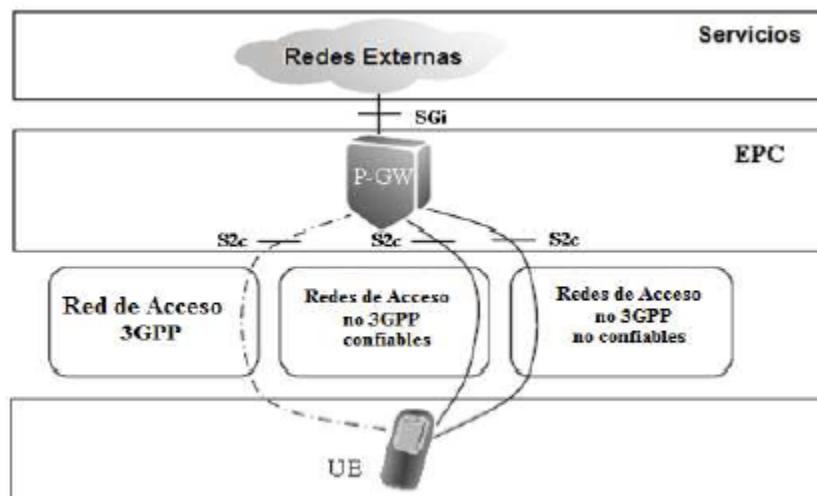


Figura 32. Arquitectura de red simplificada mostrando solamente el S2c(6).

Elementos lógicos adicionales y actualizados para el trabajo entre redes 3GPP

- Equipo de usuario

Para la comunicación entre redes no 3GPP, es necesario que el equipo de usuario sea compatible con las correspondientes tecnologías de radio, y los procedimientos específicos de movilidad, los procedimientos definidos por los handover sin optimización, no realizan suposición acerca de las capacidades del UE para usar los transmisores y receptores de radio simultáneamente, permitiendo usar las configuraciones single y dual en los procedimientos.

Se espera que el tiempo de brecha en el handover sea corto, si las conexiones preparadas hacia el destino pueden empezar mientras los datos aún están fluyendo del lado de la fuente, esto se debe a que el handover sin optimización no tiene procedimientos en la red para ayudar a preparar dicho handover. Estos procedimientos pueden llevar mucho tiempo tenido en cuenta que es necesario incluir procedimientos de autenticación, la decisión de realizar handover depende del UE.

Los handover con optimizaciones, es decir, para el trabajo con redes CDMA2000 HRPD, asumen que incluyen el control de la red en modo conectado, así que la decisión de handover la toma la red, mientras en el modo reposo recae la responsabilidad del handover en el UE, los procedimientos son diseñados asumiendo una configuración simple de radio que sea suficiente para el UE.

3.4.3 Redes de acceso no 3GPP confiables

Este término se refiere a redes que pueden ser confiables para ejecutar tareas de autenticación definidas por el 3GPP, en la especificación de arquitectura de seguridad de la 3GPP para Release 8 para redes de acceso no 3GPP, se establece el método de protocolo de autenticación extensible mejorado para la autenticación (6).

Las redes de acceso no 3GPP confiables son típicamente otras redes móviles, tales como CDMA2000 HRPD, estas redes se conectan a través del P-GW por medio de la interface S2a, la conmutación del flujo en el plano de usuario en P-GW es responsabilidad de las red de acceso no 3GPP confiables cuando el UE se mueve en el área de servicio de la red de acceso (6)

3.4.4 Redes de acceso no 3GPP no confiables

Gran parte de los conceptos de arquitectura que aplican las redes de acceso no 3GPP no confiables son heredadas del trabajo entre Redes Inalámbricas de Área Local (*WLANIW*, por sus siglas en inglés) definidas en el Release 6 (6).

El mayor principio constituye en que las redes de acceso no soportan ninguna función diferente al envío de paquetes, se establece un túnel seguro entre el UE y un nodo llamado Gateway evolucionado de Paquetes de Datos (*EvolvedPacket Data Gateway, EPDG*) a través de la interface SWu, la entrega de datos se lleva a cabo a través de este túnel. Además, el P-GW tiene una

relación confiable con el EPDG conectado a través de la interface S2b, así que no necesita de un nodo que tenga asociación de seguridad con las propias redes de acceso no 3GPP no confiables.

- EPC

Incluye funciones adicionales para soportar redes de acceso no 3GPP, al comparar las configuraciones de arquitectura anteriormente mencionadas, los principales cambios son el P-GW, PCRF y HSS y en el S-GW. Además de incluir elementos nuevos como el EPDG y el AAA. La infraestructura AAA contiene el servidor AAA, este puede contener por separado los proxies de AAA en situaciones de Roaming, en la figura 32, se observan las conexiones y funciones AAA para las redes de acceso no 3GPP.

El EPDG es un nodo dedicado al control del UE y la conexión del trabajo entre redes, cuando una red de acceso 3GPP no confiable es conectada al EPC.

El HSS realiza funciones similares a las realizadas para las redes de acceso 3GPP, almacena la copia principal de perfil de suscripción, así como la clave secreta de seguridad en la parte de AuC, el HSS proporciona estos datos para ser usados en la conectividad del UE a través de las red de acceso no 3GPP. Por otro lado el perfil de suscripción almacenado en el HSS refleja las necesidades de todos los tipos de redes de acceso que son válidos para ese operador (6).



Figura 33. Interfaces del servidores AAA 3GPP y sus funciones principales(6).

3.5 Trabajo con redes de acceso CDMA2000

3.5.1 Arquitectura para el trabajo entre redes CDMA2000 HRPD

El desempeño entre redes en cuanto al tiempo de brecha en handover, se logra mediante la especificación de redes inter-operativas cuando existe un cambio crítico de información, creando una solución específica que solo es válida para dichas redes de acceso, teniendo en cuenta limitación de tiempo y recursos disponibles para un trabajo específico, el número de soluciones en Release 8 de 3GPP pueden ser limitadas (7).

Una solución específica para el trabajo entre redes también requiere cambios en otras redes de acceso, y por definición de desarrollo de las redes de acceso no 3GPP, obviamente no están bajo el control de 3GPP, diseñar una solución requiere especial atención y coordinación entre el desarrollo y los organismos de estandarización. 3GPP en el Release 8 solamente incluye una solución optimizada para el trabajo entre redes con acceso CDMA2000 HRPD (7).

En la figura 33 se puede observar la arquitectura para que los sistemas LTE trabajen con CDMA 2000 o HRPD (*High Rate Packet Data*), además se puede observar el HRPD Evolucionado (Evolved HRPD, E-HRPD) de la red. Donde se han aplicado varias modificaciones para que sea conveniente la conexión con el EPC, por este motivo es llamado E-HDPR. La interface de radio y la red de acceso radioeléctrica, se mantienen en lo posible, pero el Gateway de servicio HRPD (*HRPD Serving Gateway, HSGW*) es un nodo completamente nuevo que puede heredar muchas funcionalidades del S-GW (7).

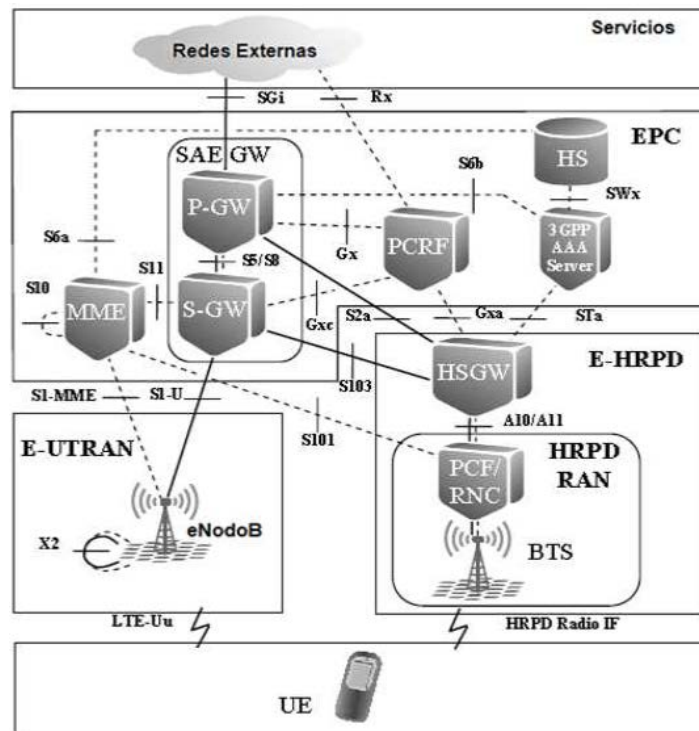


Figura 34. Arquitectura del sistema para el trabajo entre redes 3GPP y CDMA2000(4).

Las redes de acceso 3GPP y las redes de acceso 3GPP2 CDMA2000, tienen algunas similares, ambos sistema utilizan handover preparado, donde la señal del sistema origen al sistema destino, envía parámetros esenciales para poder servir al terminal, a su vez el sistema destino le envía parámetros que pueden ser para el terminal, es decir para guiarlo a realizar el acceso radioeléctrico en la red destino. Mientras existen similitudes entre estos métodos, los parámetros no coinciden del todo, el cual no puede ser utilizado como un protocolo simple de conversión, en función de facilitar la necesidad de alinear todos los elementos de información que deben ser cambiados en el handover, se utiliza un método de transporte de señalización transparente (7).

A continuación se mencionan algunos escenarios de trabajo soportados entre la E-UTRAN y la E-HRPD:

- **E-UTRAN a E-HRPD handover:** se realiza un pre registro antes que el handover se efectúe, asimismo las portadoras son previamente ubicadas en el lado del E-HRPD, desde el punto de vista del E-HRPD el UE se mantiene inactivo (Equivalente al modo espera) antes del handover, cuando las condiciones de radio indican que es necesario realizar handover, eNodeB le indica al UE que requerimiento de canal de tráfico del E-HRPD.
- **E-UTRAN a E-HRPD movilidad en modo espera:** el proceso de pre registro funciona de manera similar que en el proceso de handover, el UE se encuentra en modo de espera en la E-UTRAN, y se mueve dentro del sistema, seleccionando las celdas por sí mismo, en cuanto selecciona una celda E-HRPD, se conecta a la red E-HRPD para obtener los indicadores de movilidad del lado de la E-HRPD.
- **E-HRPD a E-UTRAN handover:** la red de acceso E-HRPD solicita al UE que realice un pre registro solamente cuando el handover sea requerido, el UE procede a solicitar inmediatamente conexiones directamente de una celda E-UTRAN después de completar el registro.
- **E-HRPD a E-UTRAN movilidad en modo espera:** el modo en espera utiliza las mismas pautas que para el handover, pero el UE accede a la E-UTRAN solo informando su nueva localización, no se reservan portadoras para el UE en el lado del E-UTRAN.

3.5.2 Adición y actualización de elemento lógicos para el trabajo entre redes E-UTRAN y CDMA2000 HRPD

El trabajo optimizado entre E-UTRAN y E-HRPD brinda nuevas características a los elementos básicos de la red LTE, e introduce algunos elementos nuevos en el lado de HRPD. El UE, eNodeB, MME y S-GW son modificados para soportar nuevas funcionalidades, el MME y el S-GW abordan nuevas interfaces que permiten la comunicación con el E-HRDP. El E-HRDP se compone de elementos como la estación base, el Controlador de Red Radioeléctrica (*RNC, por sus siglas en ingles*), función de control de paquetes (*PCF, por sus siglas en ingles*) y Gateway de Servicio HRPD (*HSGW, por sus siglas en ingles*). La UE necesita soportar ambas interfaces de radio. Para el diseño del procedimiento se asume que el UE solo puede soportar el modo single únicamente (7).

El principal requisito para el eNodeB es soportar la movilidad hacia la red E-HRDP. Desde la perspectiva de interfaz de radio se realiza de la misma forma que con otras redes 3GPP, dando

instrucciones al UE para realizar mediciones de las celdas vecinas E-HRDP y tomar las decisiones de handover sobre la base de esta información. Para generar handover, el UE envía un requerimiento por el canal de tráfico al E-HRDP utilizando un túnel transparente, y el eNodeB es solo responsable de marcar los mensajes de uplink con la información necesario para el enrutamiento, de esta forma el MME puede seleccionar el nodo correcto en la red de acceso E-HRDP (7).

PARTE 4

4 ESTADO DE LAS REDES MOVILES EN COLOMBIA

4.1 Servicios móviles en Colombia y utilización del espectro.

A pesar de ser considerados mercados diferentes los servicios de telefonía móvil e internet móvil tienen mucho en común como por ejemplo la infraestructura utilizada, las franjas del espectro electromagnético utilizadas y la convergencia entre estos servicios. Además los operadores de telefonía móvil no ofrecen solo el servicio de voz, ya que teniendo la infraestructura necesaria es mayormente sostenible y rentable ofrecer a su vez servicios de datos. Un motivo adicional para la relación de ambos servicios es el acceso que permiten los terminales, ya que además de estar configurados para realizar operaciones con servicios de voz, permiten el acceso a servicios de datos, actualmente son muy pocos los equipos que solo permiten el acceso exclusivo a uno de los dos servicios, aunque el número de dispositivos que ofrecen exclusivamente servicios de datos va en aumento con la aparición de tabletas y dispositivos personales (12).

4.2 Mercado de telefonía móvil en Colombia

En la actualidad el mercado de la telefonía móvil en Colombia cuenta con 49.066.359 abonados para el cuarto trimestre del 2012, con un incremento porcentual de 0,75% y una variación absoluta de 367.142 con respecto al trimestre anterior, como se puede observar en la figura 34 y 35, lo que significa que existen 105,6 abonados por cada 100 habitantes (13).

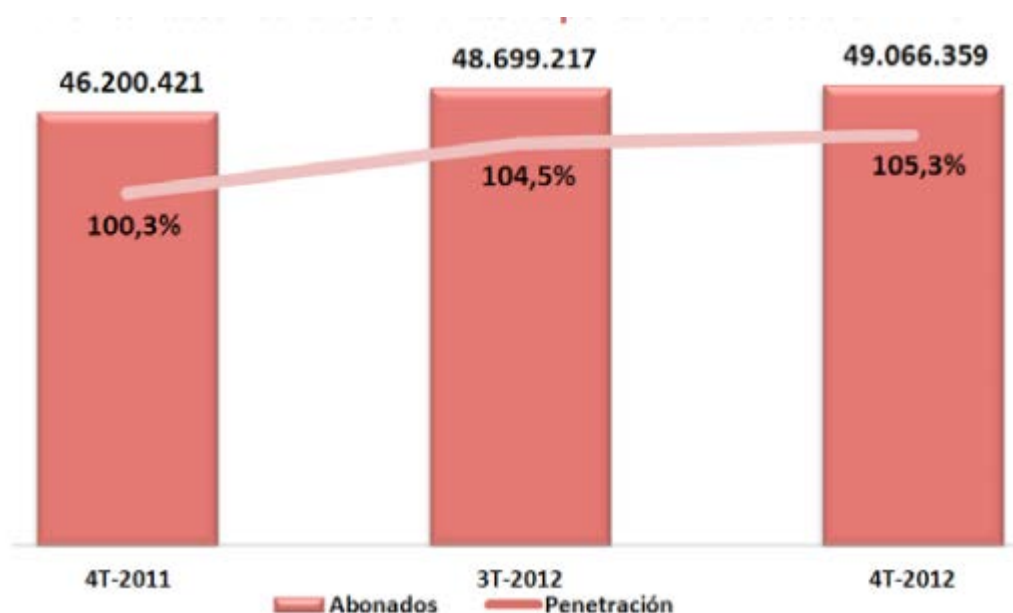


Figura 35. Abonados en índices de penetración de telefonía móvil(13)²⁵

²⁵ Boletín trimestral de las TIC, cifras cuarto trimestre 2012.

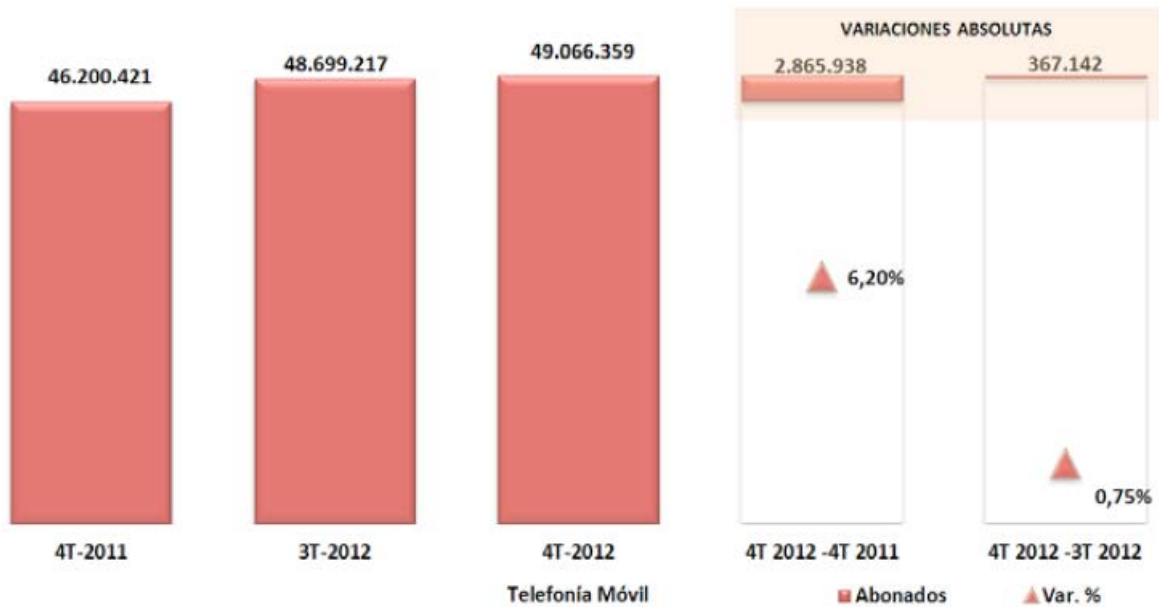


Figura 36. Variación trimestral abonados de telefonía móvil(13)

4.2.1 Participación en el mercado de telefonía móvil.

Referente a la participación en el mercado que tienen los operadores de telefonía móvil en el país, para el cuarto trimestre del 2012, comunicación celular Comcel S.A. (Claro), presento una participación en el mercado de 61,90%, telefónica móviles Colombia S.A. (Movistar) 23,85%, Colombia Móvil S.A. (Tigo) 13,48%, UffMóvil S.A.S. 0,67% y UNE EPM Telecomunicaciones S.A 0,10%, como se puede observar en la figura 36 (13).

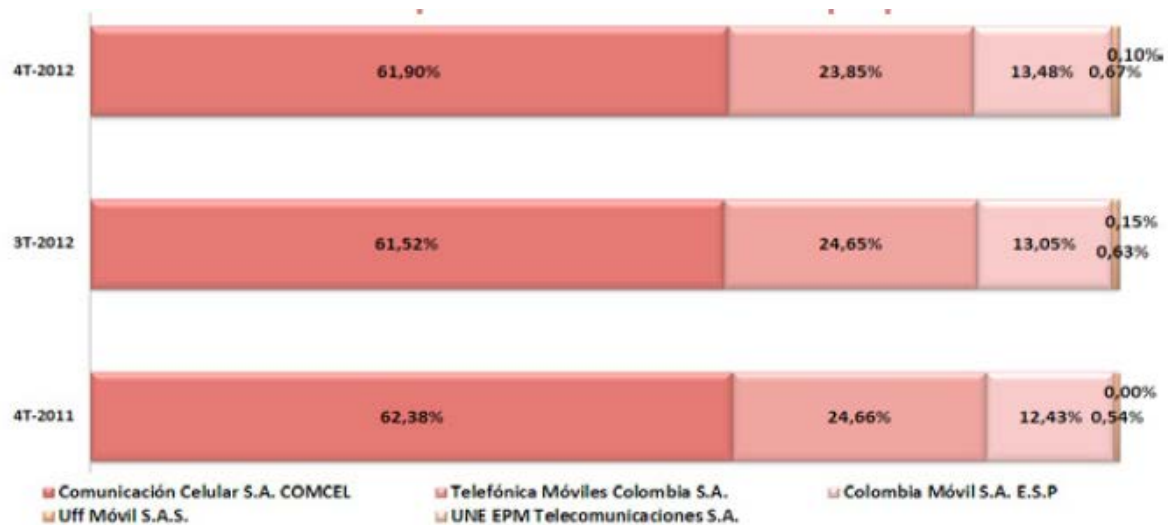


Figura 37. Participación en total de abonados por proveedor.(13)

4.2.2 Participación en el mercadodependiendo la categoría del servicio

Ahora, la participación en el mercado dependiendo el tipo de servicio contratado en telefonía móvil refleja que para el cuarto trimestre del 2012 la categoría postpago alcanzo 19,38% aumentando la participación en 0,52% con relación al tercer trimestre del mismo año, mientras que los abonados en la categoría prepago pasaron de 81,14% de participación en el tercer trimestre del 2012 a 80,62 para el cuarto trimestre del mismo año, como se puede observar en la figura 37 (13).



Figura 38. Participación de abonados en telefonía móvil según la categoría de servicio.(13)

Según los datos reportados por los proveedores de telefonía móvil en el país para finales del cuarto trimestre de 2012 el proveedor Comunicación Celular Comcel S.A. (Claro) Presenta una participación en la categoría prepago de 63,13%, Telefónica móviles Colombia S.A. (Movistar) 21,89%, Colombia Móvil S.A. E.S.P. (Tigo) 14,03%, Uff Móvil S.A.S 0,83% y UNE EPM Telecomunicaciones S.A. E.S.P. 0,12%, mientras que en la categoría postpago los proveedores reportan las siguientes cifras: Comunicación celular Comcel S.A. (Claro) 56,73%, Telefonía Móviles Colombia S.A. (Movistar) 32,10% y Colombia móvil S.A E.S.P. 11,17% como se puede observar en la figura 38 (13).

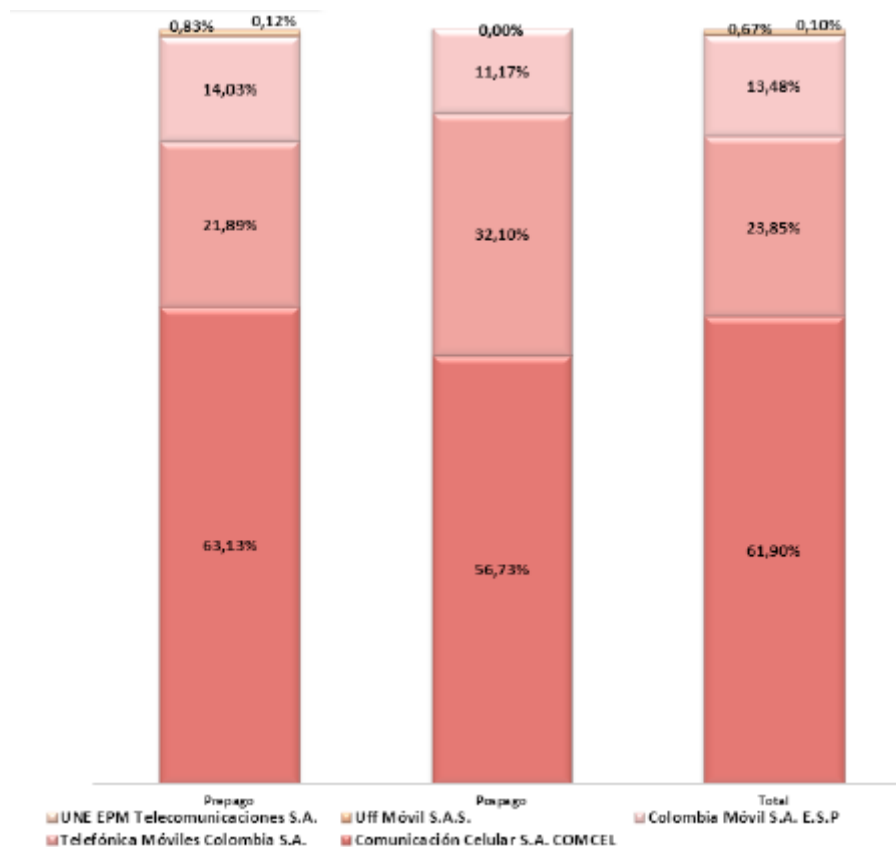


Figura 39. Participación en el mercado de telefonía móvil dependiendo la categoría de servicio.(13)

4.3 Mercado de internet móvil en Colombia.

El internet móvil es un mercado naciente y concentrado en nichos específicos, debido entre otros, al nivel adquisitivo necesario para asumir el valor de los terminales, planes de datos y la infraestructura necesaria para prestar dicho servicio (13).

Para el cierre del cuarto trimestre de 2012 el servicio de internet móvil alcanzo 3.209.059 suscriptores, representado una variación porcentual de -2,5% con relación al tercer trimestre del mismo año. A su vez en relación al cuarto trimestre del año 2011 el crecimiento fue del 15,1% como se puede observar en la figura 39 (13).

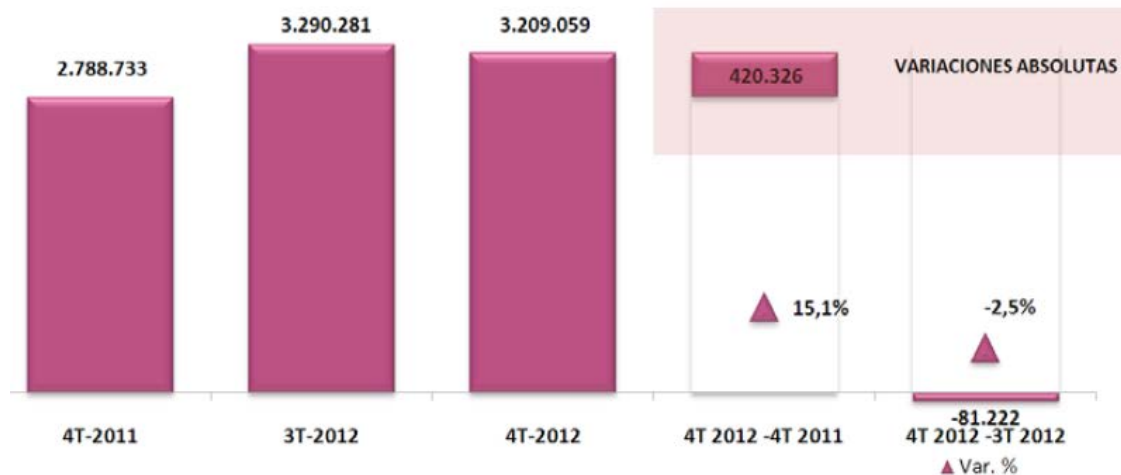


Figura 40. Suscriptores con acceso a internet móvil, relación IV-2011 vs IV-2012; III-2012 vs IV-2012. (13)

4.3.1 Participación en el mercado de internet móvil.

Para finales del cuarto trimestre del 2012 el mercado de servicio de internet móvil se compone de la siguiente manera, teniendo en cuenta los datos reportados por los proveedores del servicio: Telefónica móviles Colombia S.A. (Movistar) (49,69%), Comunicación celular S.A. Comcel S.A. (Claro) (22,99%), Colombia Móvil S.A E.S.P (Tigo) (20,96%), UNE EPM Telecomunicaciones S.A. E.S.P (5,03%), Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá S.A E.S.P. (ETB) (1,29%) y Avantel S.A.S. (0,03%) como se puede observar en la figura 40 (13).

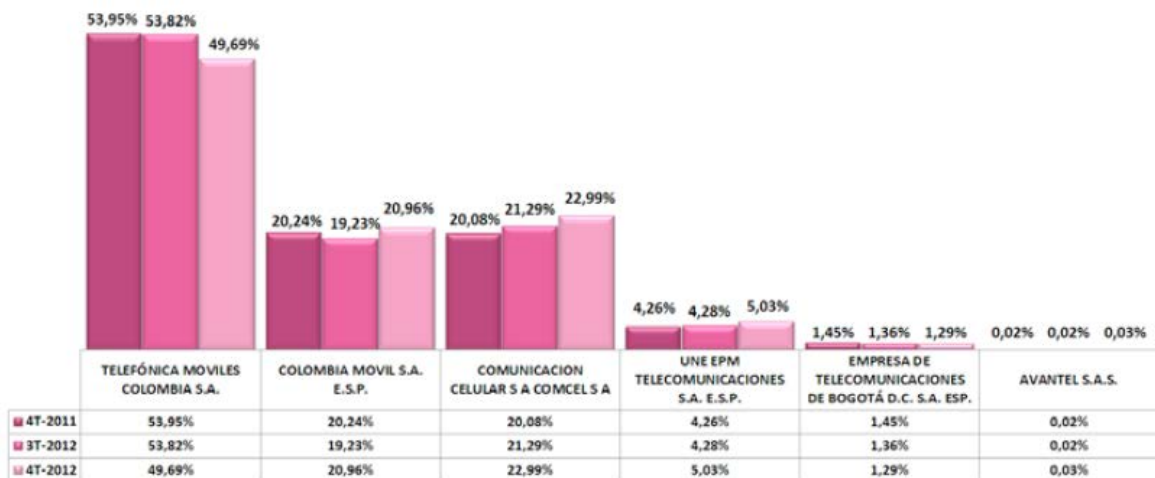


Figura 41. Participación en el mercado de internet móvil por proveedor.(13)

4.3.2 Participación en el mercado de internet móvil dependiendo la tecnología de acceso (Generación)

La composición de los accesos a internet móvil dependiendo la tecnología utilizada (generación) para el cuarto trimestre de 2012 muestra un incremento de 2,9% a través de equipos de tercera generación, pasando de 69,3% en el tercer trimestre de 2012 a 72,2% para el cuarto trimestre del mismo año, mientras tanto la participación de accesos por medio de tecnologías de segunda generación disminuyó pasando de 30,2% en el tercer trimestre de 2012 a 26,7% en el cuarto trimestre del mismo año, finalmente los accesos por medio de tecnologías de cuarta generación presentaron una participación de 1,1%, como se observa en la figura 41 (13).

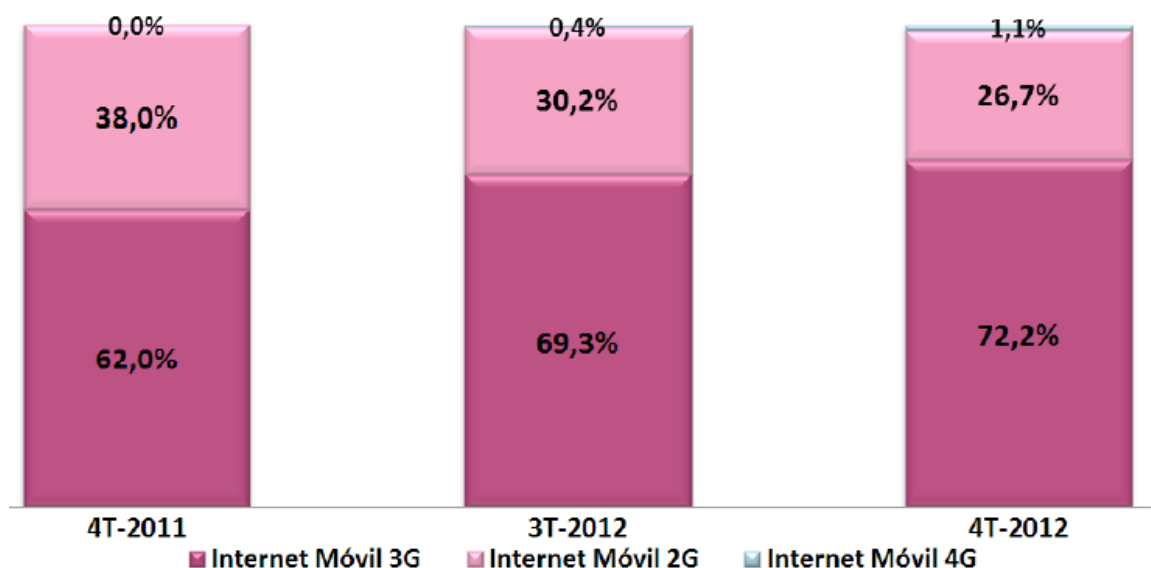


Figura 42. Participación en el mercado dependiendo la tecnología de acceso (generación) utilizada(13).

En Colombia, los servicios de banda ancha móvil se ofrecen desde la llegada de la tecnología 3G y 3.5G al país por la mayoría de los operadores de telefonía móvil, sin embargo los altos costos de implementación de este tipo de servicios se ve reflejado en la velocidad y cobertura que ofrece (13).

En Colombia, las zonas de cobertura HSPA (Claro, Movistar y Tigo) o LTE (UNE) se concentran en las grandes ciudades, en el resto del territorio nacional se presta un servicio de menor velocidad que dificulta la navegación por internet, sin embargo a medida que los proveedores han invertido y migrado más eficientes, han podido ampliar su base de clientes de internet móvil (13).

4.4 Espectro asignado en Colombia

La telefonía móvil e internet móvil utilizan la misma infraestructura y franjas de espectro para la prestación de sus servicios, por tal motivo los proveedores de estos servicios solo necesitan un ancho de banda adicional para ofrecer el servicio de internet móvil de cuarta generación. En Colombia inicialmente la asignación de espectro se realizaba por vías administrativas, posteriormente esta asignación se realiza por medio de subasta, sin embargo cuando se realizaba esta asignación no se definían claramente las obligaciones que adquirirían los proveedores, lo que generó un retraso notable en la calidad con que se prestaban estos servicios. En la tabla 11 se observa la asignación de espectro que se ha realizado hasta la fecha (13).

Frecuencia (MHz)	700	850	1700/2100	1900	2300	2500	1400	Total
Claro		25		30				55
Telefónica		25		30				55
Colombia Móvil				55				55
UNE						50		50
Total		50		115		50		215

Tabla 9. . Distribución del espectro en Colombia por operador y frecuencia

La asignación en Colombia se realiza inicialmente con 25MHz otorgados a Claro y Movistar, sobre los cuales iniciaron sus actividades en el país, posteriormente a estos dos operadores se les asigna 20MHz en la banda de 1900MHz, sobre los cuales montaron sus redes actuales y comenzaron a ofrecer servicio de tercera generación (14).

El siguiente operador que entra al mercado en Colombia es Tigo, al cual se le otorga un segmento de 55MHz cercanos a la banda 1900MHz donde inicia sus operaciones, finalmente ingresa al mercado colombiano en el sector de telecomunicaciones móviles UNE a quien se le asigna 50MHz en la banda de 2500MHz, lo que le permite ser el único operador que ofrece servicios de cuarta generación en el país (14)

El gobierno nacional tiene propuesto asignar un total de 300MHz entre los operadores interesados, con el fin de fomentar la reducción de la brecha digital que existe en el país, alcanzando un total de 490MHz asignados.

El espectro en Colombia ha venido segmentándose y adjudicándose de acuerdo a las necesidades que han presentado las firmas que operan en el país y de acuerdo con las metas de cobertura digital que han impuesto los diferentes gobiernos. Sin embargo como se puede observar en la tabla 12, en países con población mucho más grande que Colombia se han asignado niveles similares de espectro, lo cual podría implicar un manejo más eficiente de este bien público (14).

	Espectro asignado y por asignar a 2012 (MHz)	Cantidad de suscriptores (Millones)	Razón
Colombia	490	46,2	10,61
Argentina	260	55	4,73
Estados Unidos	547	331,6	1,65
Chile	380	22,4	19,96
Brasil	524	242,31	2,16

Tabla 10. Razón entre espectro asignado y número de usuarios²⁶

El caso más particular es Estados Unidos, país que posee siete veces más población que Colombia y tiene asignado 9 veces menos espectro por usuario, el mismo análisis se repite para Brasil y en menos medida para Argentina.

Aunque una tecnología instalada con un límite de usuarios suscritos podría saturar una red, en la práctica los operadores pueden invertir en mejores tecnologías y redistribuir el espectro. En su informe de 2010 Comcel (Claro actualmente) establece que en un solo año ha instalado 400 torres llegando a una cobertura de 99% del país llegando a 1112 municipios.

Además en el caso de Colombia la concentración del espectro no se relaciona con la calidad del servicio prestado, según el informe de la SIC (*superintendencia de industria y comercio*) sobre la calidad de servicios de telefonía móvil, para el primer trimestre del 2012, Claro es responsable del 37,61% de las quejas interpuestas, Movistar es responsable del 18,89% y Tigo del 30,86% (13)

4.5 Espectro e inversiones tecnológicas

El espectro electromagnético a pesar de ser un bien limitado no es escaso, ya que la calidad y cantidad de datos que son transportados, depende entre otros factores como la inversión de antenas que comunican y retransmiten las señales, la eficiencia de la tecnología utilizada (14).

Entre los factores que determinan el valor de espectro se tienen los siguientes: calidad de la propagación, la competencia de aplicaciones dentro de una misma frecuencia y la armonización internacional de los anchos de banda. Dejando al resto como aspectos constantes.

- **Calidad de la propagación:** los segmentos de ancho de banda de baja frecuencia tienen un alcance geográfico amplio (estos segmentos de ancho de banda se distorsionan y atenúan menos al paso de objetos o barreras físicas), mientras los segmentos de ancho de banda de alta frecuencia tienen un alcance geográfico reducido. Para usos similares se requiere menor inversión en el primer caso (14).

²⁶ Elaboración de tabla con datos obtenidos de <http://www.itu.int>

- **Aplicaciones dentro de un mismo sistema:** existen aplicaciones en las que se prefiere que la propagación sea excelente según la ITU (2012:8), como por ejemplo la radio navegación (GPS, radares) y las emisiones terrestres, esto conlleva a la alta competencia por el acceso a estas frecuencias, así como su ingreso promedio por usuario (*ARPU, por sus siglas en inglés*). Por último la combinación de técnicas disponibles y la homogenización del uso de frecuencias asignadas genera economías a escala en la fabricación de equipos que se pueden utilizar en diferentes países, esta armonización del espectro genera valor por estandarización (14).

Según la ITU (2012: 9-17), los factores externos que influyen en el valor del espectro están las características físicas del mercado, las características socioeconómicas del mismo y las regulaciones y políticas del espectro. Entre las características físicas del mercado encontramos la congestión, la densidad espacial de viviendas, el acceso a electricidad, el tipo de clima y la topografía; Estas características tienen impacto sobre los ingresos por MHz y los costos de implementación y mantenimiento, entre las características socioeconómicas encontramos la densidad de población, la densidad de la capacidad de pago y demanda por los diferentes productos (14).

Uno de los factores más relevantes es la regulación y políticas del espectro, debido a que este cambia de valor de acuerdo a las disposiciones sobre acceso abierto a terceros, las obligaciones de cobertura o tecnología, las reglas de protección de interferencia en la misma frecuencia dentro del país y en frecuencias adyacentes dentro de un mismo país, la política de competencia, la existencia de topes en el tamaño de bloques de espectro adjudicados, las obligaciones de roaming y las reglas de asignación de bloques de espectro (mediante subastas o procesos administrativos) (14)

La ausencia de presión competitiva puede llevar a que las empresas con mayor cantidad de espectro dejen de invertir en la actualización tecnológica de las redes que poseen, lo que conllevaría a un deterioro de servicio a medida que el nivel de suscriptores vaya aumentando. Esto quiere decir que existe una diferencia entre inversión y espectro para los operadores que debe tenerse en cuenta en los procesos de adjudicación del espectro, de esta forma no se vería comprometidas las metas de cobertura geográfica y la remuneración recibida por la explotación del mismo (14).

4.6 Dividendo digital

El desarrollo de tecnologías que permiten optimizar el uso del espectro, disminuyendo así el uso del mismo para llegar a toda la población, esta optimización de uso es denominado “dividendo digital”. La asignación de segmento de frecuencias altas permite una mayor intensidad en la transmisión de datos, factor que alivia la dependencia existente por los segmentos de frecuencia baja y de mayor cobertura potencial. El *Dividendo Digital* posibilita redistribuir el espectro actual migrando servicios entre frecuencias permitiendo así liberar segmentos antes utilizados y redestinarlos a mejores usos (15).

El segmento de 700MHz que será subastado en el 2013, traerá como dividendo digital la posibilidad de ofrecer servicios de telecomunicaciones móviles de gran cobertura, permitiendo así llegar con estos servicios a gran parte del territorio colombiano en las mejores condiciones financieras, debido a que esta señal puede ser transmitida hasta a 10Km de distancia con menores costos en infraestructura que al operar en otras frecuencias (15).

El impacto económico del “*Dividendo digital*” en la región latinoamericana, está ligado a un notable incremento en la cobertura de internet móvil, que en el caso de Colombia llegara a ser de un 90%²⁷. Además se estima que la mayor explotación de banda ancha móvil a través de la utilización de nuevas frecuencias estará directamente asociada a mayores excedentes del consumidor (15).

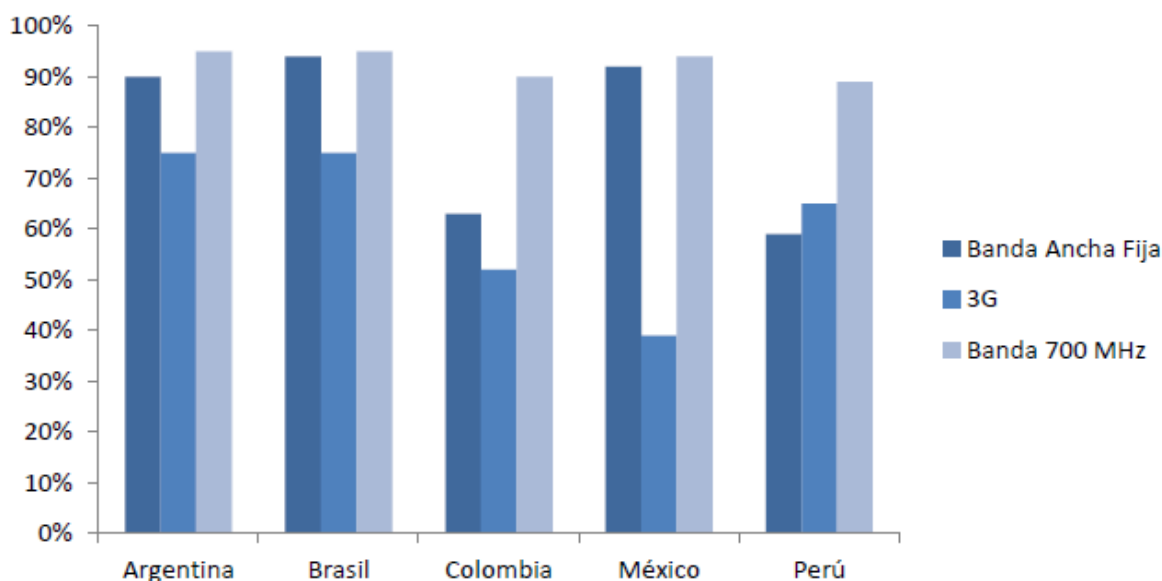


Figura 43. Cobertura adicional esperada en banda ancha móvil con el uso del dividendo digital(15).

Como se observa en la figura 43, Colombia se beneficiara con U\$ 333 millones en el año 2015 (16)²⁸.

²⁷ Datos esperados por el MinTIC, luego de la subasta pública de espectro para tecnologías 4G.

²⁸ Beneficios económicos del dividendo digital para América Latina; TELECOM ADVISORY SERVICES, LLC; Karts, R & Flores-Roux; 2011

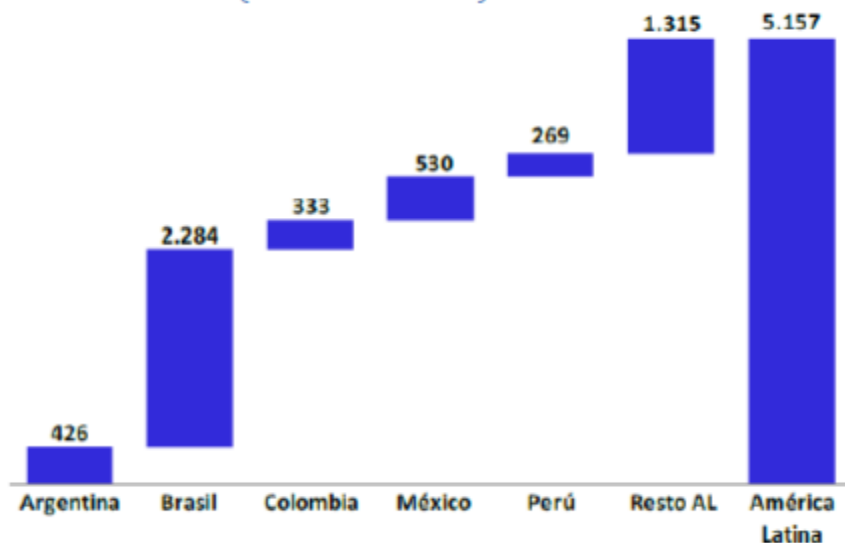


Figura 44. Contribución por excedente del consumidor generado por banda ancha móvil (valores en U\$ millones)(16).

Existen varias formas de valorar el espectro radioeléctrico, entre las cuales tenemos; El pago que recibe el estado por su adjudicación o subasta a los operadores privados, por los beneficios que represente esta cadena de telecomunicaciones al resto de economías o por el aumento en el excedente del consumidor generado por el mejoramiento de las condiciones de competencia o de eficiencia tecnológica en el mercado. La apropiada valoración y explotación del espectro debe tener como principal factor el bienestar de los consumidores y la inversión tecnológica, al tiempo que maximice las ganancias obtenidas por el gobierno en los procesos de asignación, esto conlleva a modelos dinámicos que prevengan la subutilización del espectro por parte de empresas que no utilizan al máximo el segmento que les ha sido asignado, empresas que no invierten para evitar costos en infraestructura y en segmento poco utilizados como los servicios de emergencia (16).

4.7 El manejo de espectro en otros países

El negocio de las telecomunicaciones ha pasado por diferentes procesos de estatización y privatización en los últimos años que han dado forma al modelo de mercado actual para la telefonía móvil. En muchos casos la asignación de espectro se realizaba por licitación, concurso abierto o postulaciones voluntarias, lo que conllevaba a que el primero que aplicara le sería adjudicado en espectro en condiciones de explotación muy favorecedoras. Sin embargo, el tamaño de los mercados, el acceso a la tecnología y el grado de competencia, hacen de cada país un caso particular sobre el manejo del espectro, a continuación se mostraran algunos de los casos particulares (16).

Brasil y los requerimientos de cobertura

La entidad encargada de regular las telecomunicaciones brasileñas es Anatel (*Agencia Nacional de Telecomunicaciones*), esta entidad ha impuesto obligaciones de cobertura demográfica a las empresas a las cuales se les ha asignado espectro, además promueve la oferta total de la canasta de productos; Voz, Internet y Televisión al determinar usos concretos a frecuencias específicas, evitando así la concentración de algún segmento del espectro por parte de un operador (16).

El mecanismo utilizado actualmente en Brasil para la asignación de espectro es la subasta abierta en la cual se imponen requisitos de inversión en infraestructura y calidad del servicio de forma que se asegura que el operador que obtenga el segmento de espectro no lo subutilice, al no poner nuevas torres y no invertir en nuevas tecnologías ni sobreexplotara sus segmentos saturando de nuevos clientes sus redes, llevando a un detrimento del servicio (16).

En enero de 2008 Anatel, adjudicó cuatro licencias nacionales para la utilización de tecnología 3G bajo obligaciones de cobertura nacional, para las cuales tienen un plazo máximo de 8 años después de dicha adjudicación, con el fin de permitir a los nuevos operadores alcanzar las economías de escala necesarias para asegurar la competencia, fue permitido compartir espectro e infraestructura entre operadores de forma que fuese financieramente sostenible para llegar a las poblaciones más alejadas (16).

Unión Europea y los mercados de espectro secundarios

Cada miembro de la Unión Europea se encarga de supervisar el manejo del espectro a nivel nacional. Sin embargo existe legislación a nivel comunitario encargada de promover la armonización de los sistemas y de la regulación lo que promoviendo así la competencia y liberando la mayoría de mercado (15).

Entre las decisiones regulatorias se ha optado por reconocer que existen beneficios en el comercio de espectro solo en ciertos segmentos, justificado por razones que benefician la competencia. En el 2010 se propuso que un tercio del espectro 3G tuviese derechos especiales de comercialización.

Con la conformación de mercado de espectro secundario, no solo se promueve una mejor utilización del espectro, debido a que las empresas con menor cantidad de clientes y gran cantidad de espectro asignada, puedan re-segmentar y vender partes de su espectro, con el fin de cubrir los costos de operación y nuevas empresas que no han podido entrar a nuevos mercados pueden participar en el mercado secundario y al mismo tiempo aumentar el grado de competencia (15).

Reino Unido

En 1998 fue aprobado el acto legislativo "*Administrative Incentive Prices*" (AIP) que pretende fomentar el uso eficaz del espectro por parte de las firmas a quien le fue otorgado. Para lograr este objetivo se estructuraron pagos anuales que deben pagar dichas firmas y que dependen del

cumplimiento de una serie de objetivos sobre el uso del espectro, entre los cuales tenemos el manejo eficiente, el crecimiento y las innovaciones realizadas, entre otros. El valor de esta licencia es utilizada actualmente como una proxy de los costos de oportunidad del espectro representativo que debe asumir quien vende dicho segmento en caso de decidir no participar en el mercado (15).

La organización reguladora en Reino Unido OFCOM (*Office of Communications*), es un ejemplo mundial del manejo eficiente del espectro. Ha logrado niveles elevados de competencia en todos los nichos de mercado de telefonía móvil y aseguro cobertura total de las grandes ciudades inglesas para las olimpiadas de 2012, actualmente en el Reino Unido se plantean reformas sobre la flexibilización del manejo del espectro a través de la liberación de los derechos de uso y la comercialización del mismo. Para llevar a cabo estas propuestas se están promoviendo los métodos de asignación competitivos que se irán adoptando a medida que se vean involucrados los mercados y segmentos banda correspondientes (15).

4.8 Propuesta técnica para la migración de los operadores actuales a redes 4G en Colombia.

Luego de haber realizado un estudio de las tecnologías actuales y como estas pueden interconectarse con LTE, es necesario analizar la factibilidad con la que cuentan los operadores en Colombia para llegar a una migración a las redes de cuarta generación, considerando aspectos como las redes actuales, las bandas de frecuencia disponibles luego de la subasta y la experiencia de países con una situación similar a Colombia en el sector de las telecomunicaciones (14).

En Colombia el sector de las telecomunicaciones ha tenido una evolución considerable en los últimos años, como consecuencia del aumento en la calidad de vida de los ciudadanos lo que les permite tener acceso a nuevas tecnologías y equipos capaces de soportarla, además del impulso que ha generado el Min TIC (Ministerio de las tecnologías de la información y Comunicaciones), convirtiéndose de esta forma en uno de los principales contribuyentes tributarios para el estado, a pesar de no ser un mercado completamente penetrado, el monto de sus ingresos es muy elevado, esto sin considerar los avances tecnológicos que cada día afectan el comportamiento del consumidor en cuanto al aumento de la demanda (14).

A continuación se realizara un análisis de las consideraciones técnicas que deben tener en cuenta los operadores móviles en Colombia para su migración a tecnologías 4G.

4.9 Nuevas bandas para la implementación de 4G-LTE en Colombia

Uno de los principales objetivos que pretenden lograr las administraciones mundiales con la tecnología 4G es la armonización de las bandas de frecuencia utilizadas para la prestación de servicios móviles, buscando maximizar los beneficios sociales y económicos asociados con la asignación de ERE (*Espectro Radioeléctrico*), en el caso colombiano como se ha analizado anteriormente el esfuerzo está encabezado por Min TIC (*Ministerio de las Tecnologías de la información y Comunicaciones*). Por lo tanto bandas como 700MHz (*dividendo digital*) son ideales para cumplir estos objetivos por la cobertura que ofrece (14).

Adicionalmente, debido a la gran cantidad de tráfico y servicios que se prestan actualmente se están otorgando licencias de bandas de espectro con el fin de agregar capacidad a las redes o simplemente para fomentar nuevo servicios con tecnologías de cuarta generación. En América las bandas AWS (*AvanceMirelesService*) y 2,5GHz ya han generado una gran capacidad y cobertura en mercados como el Estadounidense, canadiense o chileno, además de la inclusión de nuevos mercados que adelantan procesos para adoptar esta tecnología como es el caso de Colombia, sin embargo algunos gobiernos y operadores se muestran preocupados por la demora que puede tener el acceso a equipos capaces de soportar esta tecnología (14).

En América Latina el nivel de espectro asignado está por debajo del asignado en países como Estados Unidos y algunos países de la región Europea, en la figura 46, se observa la cantidad de espectro asignado adjudicado en algunos países.

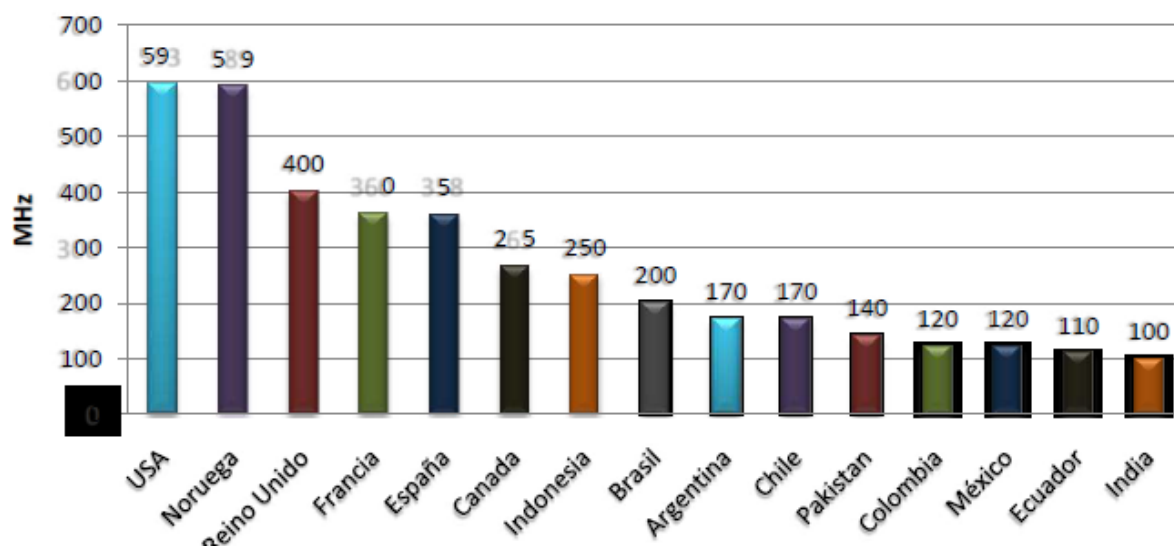


Figura 45. Cantidad de espectro asignado en algunos países seleccionados(14).

Existen 5 factores relacionados con el ERE (*Espectro Radioeléctrico*), que determinan si un operador puede prestar servicios de banda ancha móvil de alta calidad:

- Acceso a bandas armonizadas de espectro
- Acceso a una correcta combinación de frecuencias (Frecuencias bajo y sobre 1GHz)
- Acceso suficiente al espectro (suficiente ancho de banda)
- Acceso al espectro a precios razonables
- Eficientes y transparentes procesos de asignación de ERE (*Espectro Radioeléctrico*)

A continuación se realiza un análisis de las bandas que podrían ser consideradas para el despliegue de 4G en Colombia.

4.9.1 Banda 700MHZ

Para el despliegue de los sistemas IMT (*telecomunicaciones móviles internacionales*) es necesario disponer de parte de espectro en la parte baja del cuadro de frecuencias identificadas para el uso de sistemas IMT en el reglamento de radiocomunicaciones de la ITU (*Unión Internacional de Telecomunicaciones*). De ahí se acogió los resultados obtenidos en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones en 2007 (CMR-7), en el que se identificó el espectro UHF en la región 1 (Incluida Europa), por debajo de la banda actual de 900MHz, y en la región 2 (Américas) por debajo de la banda actual 850MHZ (4).

Para analizar la banda de 700MHZ para el uso de sistemas móviles de cuarta generación se debe hablar del “*Dividendo Digital*” el cual constituye en la liberación de ciertas frecuencias de difusión actuales en la banda de UHF debido al cese de difusiones analógicas, que serán sustituidas por difusiones digitales, lo cual constituye en una gran oportunidad para los países de la región latinoamericana de reasignar la banda 700MHZ a servicios de telecomunicaciones móviles de nueva generación en forma previa al apagón analógico (4).

Otro factor relevante a considerar las características de propagación para las frecuencias por debajo de 1GHz que permiten alcanzar amplias zonas de cobertura, permitiendo así proveer el servicio a regiones distantes, disminuyendo así la brecha digital.

4.9.2 Banda AWS (Advanced Wireless Service)

En la actualidad se está asignando la banda AWS (1710MHz-1755MHz y 2110MHz-2155MHz), en varios países del mundo, debido a la demanda de tráfico y con el fin de agregar capacidad y fomentar nuevos servicios en los mercados móviles, para la sociedad en general la banda AWS libera un nuevo rango de espectro que mejora la capacidad de la banda ancha móvil a fin de beneficiar a los consumidores y aumentar la productividad económica (4).

Sin embargo algunos operadores muestran algo de incertidumbre con la pronta llegada de terminales que permitan el uso completo de esta nueva banda, claro está, dada la proximidad de frecuencia a la banda principal de IMT-2000 (1920MHz-1980MHz pareado con 2110MHz-2170MHz) y las bandas PCS (1800MHz y 1900MHz), el desarrollo y la producción de terminales portátiles y equipos con infraestructura HSPA no presentan un desafío técnico. Una vez en el mercado se cuenten con equipos y el costo de los mismos sea comparable con los terminales existentes, se podrá manejar un crecimiento del mercado AWS. Los operadores que poseen licencias AWS en Norte América están interesados en las licencias AWS en Latino América lo que permitirá un mayor mercado para estos equipos, además de permitir itinerancia (roaming) en esta banda. Asimismo, varios operadores ya implantados en Latino América están interesados en adquirir estas licencias ya que permitirían habilitar nuevos servicios de banda ancha móvil y proporcionar una cobertura más amplia en el sector, este fue sin duda uno de los principales aspectos que motivaron la licitación de la banda AWS en Estados Unidos y Canadá. Esto tiene la misma importancia en los países del Latino América que operan en la banda PCS de 1900MHZ (4).

4.9.3 Banda 2,5GHz

La banda 2500MHz-2690MHz está alineada a lo largo de todas las regiones de la ITU (*Unión Internacional de Telecomunicaciones*), esta armonización podría tener un impacto importante sobre la disponibilidad de equipos debido a las economías de escala global, aun así, existe varios diseños de banda internos, cuyo aspecto central radica en la separación entre FDD y TDD dentro de la banda para evitar interferencia técnica, el diseño de banda más común es la opción 1 de la ITU (2x70MHz para FDD, con 50MHz para TDD en el centro de la banda) (4).

La banda 2,5MHz es un complemento ideal para el dividendo digital (banda 700MHz), juntas estas bandas pueden proveer una cobertura de servicios más eficiente a nivel de costo beneficio, tanto en áreas urbanas como áreas rurales.

En diciembre del 2009, TeliaSonera desplego la primera red móvil con tecnología LTE, empleando para ello la banda de 2,6GHz tanto en Suecia y Noruega, esta red actualmente da cobertura en las ciudades de Estocolmo y Oslo (4).

En las Américas, muchos países han utilizado la banda de servicio de distribución multipunto por microondas (*MMDS, Microwave Multipoint Distribution Service*) para Tv por cable y ahora la están convirtiendo para ser utilizada por los servicios de banda ancha móvil, en Estados Unidos, un consorcio formado por Sprint y Clearwire, están utilizando la banda para tecnologías TDD únicamente (WiMax). En Canadá el ente regulador está analizando el modo de configurar la banda para FDD y TDD (4).

En América Latina la mayoría de entes reguladores está analizando la utilización de la opción 1 de la ITU para introducir las tecnologías FDD y TDD, lo cual permitiría que la banda se utilizara con una tecnología más neutral para LTE y WiMax, Chile, por ejemplo ya ha planificado la utilización de la banda de 2,6GHz para los servicios móviles de acuerdo con la opción 1 de la ITU (4).

La coexistencia de los sistemas IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) con los sistemas MMDS (Servicio de Distribución Multipunto por Microondas) en la banda 2,5GHz es posible si las frecuencias están lo suficientemente separadas, la separación de frecuencias requerida es de 20MHz, pero se puede reducir este valor si los filtros son empleados en los receptores MMDS. La modernización de los sistemas MMDS (de modulación analógica a digital) permitirá reducir la necesidad de espectro en estos sistemas (4).

En agosto del año 2010 Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações, Brasil), decidió reubicar a los operadores MMDS en el bloque central TDD de 50MHz (2570MHz- 2620MHz) y en otro bloque de 2x10MHz en el segmento FDD con 120MHz de separación (2500MHz-2510MHz pareado con 2620MHz-2630MHz) con el fin de adaptarse lo mejor posible a la opción 1 de canalización de la ITU (4).

4.10 Propuestas para la canalización de los canales para la implementación de sistemas 4G-LTE

Canalizar una banda de frecuencias implica dividirla en segmentos con la finalidad que sea empleada por varios usuarios de forma óptima, eficiente y sin que se genere interferencia alguna, la canalización de una banda se debe realizar teniendo en cuenta algunos aspectos técnicos tales como el espectro disponible, ancho de banda que ocupa una tecnología, disponibilidad de equipos y necesidades específicas de un determinado país (4).

Para definir una canalización se debe tener en cuenta la importancia de una armonización internacional, que representaría entre otros los siguientes beneficios:

- Reducción considerable en la producción de equipos.
- Dispositivos asequibles permiten que una mayor cantidad de usuarios tengan acceso a servicios de banda ancha móvil.
- Reducción de interferencia en las fronteras, facilitando la itinerancia (roaming)

Por otra parte, no realizar una canalización armónica internacionalmente podría conllevar a las siguientes condiciones adversas:

- Menor eficiencia técnica, podría provocar problemas de interferencia o la necesidad de incrementar las bandas de guarda.
- Menor eficiencia económica, incremento en la elaboración de equipos.

Teniendo en cuenta lo ejemplos internacionales anteriormente mencionados se puede determinar que las bandas más indicadas para el despliegue de redes LTE en Colombia son las bandas de 700MHz, AWS (1710MHz-1755MHz y 2110MHz-2155MHz) y 2,5GHz, a continuación se observan varias propuestas de canalización para estas bandas.

4.10.1 Banda 700MHz

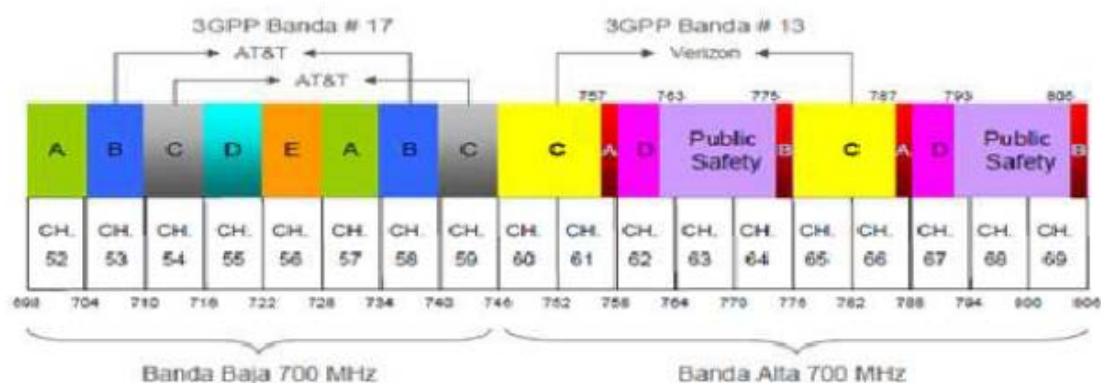
Cabe mencionar que la administración de CITEI (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones), recomienda el uso de la banda 698MHz-806MHz de la siguiente manera:

- La sub-banda 698MHz-764MHz y 776MHz-794MHz, para sistemas inalámbricos avanzados.
- La sub-banda 764MHz-776MHz y 794MHz- 806MHz, para aplicaciones PPDR (Protección Pública y Socorro en casos de desastre)

Actualmente se proponen dos modelos de canalización para esta banda de frecuencias, el primero de ellos basado en la canalización adoptada por los Estados Unidos y el segundo modelo planteado por la APT (Asia Pacific Telecommunity)

Opcion1- Estados Unidos

Como en gran cantidad de países del mundo, la banda de 700MHz estuvo asignada previamente para los sistemas de televisión analógica, específicamente para los canales UHF del 52 al 69, la FCC (*Federal CommunicationComission*) encargada de la regulación de los sistemas comerciales de telecomunicaciones en Estados Unidos, estableció que dichas frecuencias ya no eran necesarias para los broadcasters, debido al incremento de la eficiencia al utilizar transmisiones digitales, por lo tanto dicho espectro fue asignado para el despliegue de redes de cuarta generación, Estados Unidos adopto la canalización que se puede observar en la figura 50 (4).



Bloque	Frecuencias (MHz)	Ancho de banda	Pareamiento	Tipo de área	Licencias
A	698-704, 728-734	12 MHz	2x6 MHz	EA	176
B	704-710, 734-740	12 MHz	2x6 MHz	CMA	734
C	710-716, 740-746	12 MHz	2x6 MHz	CMA	734
D	716-722	6 MHz	no pareado	EAG	6
E	722-728	6 MHz	no pareado	EA	176
C	746-757, 776-787	22 MHz	2x11 MHz	REAG	12
A	757-758, 787-788	2 MHz	2x1 MHz	MEA	52
D	758-763, 788-793	10 MHz	2x5 MHz	NACIONAL	1
B	775-776, 805-806	2 MHz	2x1 MHz	MEA	52

Figura 46. Alternativa de canalización utilizada en Estados Unidos para la banda 700MHz(4)

Dentro de la región 2, el único país que ha definido la canalización para esta banda es Estados Unidos, la asignación de frecuencias para operadores de telefonía móvil en Estados Unidos refleja una canalización histórica basada en los canales de 6MHz igual que para los canales de televisión. Debido a esta canalización no es posible utilizar completamente la banda 698MHz-806MHz (solo es posible utilizar 2x18MHz+2x20MHz), también los operadores están limitados a 2x12MHz lo cual limita velocidad de usuario y crecimiento de LTE (4).

La mezcla de servicios móviles y de seguridad pública puede generar interferencia entre estos sistemas. El aspecto más relevante es que no es posible armonizar esta canalización con el resto de países del mundo, lo que implica potenciales problemas de Roaming.

Opción 2 APT (Asian Pacific Telecommunity)

La APT considera 5 opciones de canalización para esta banda, entre las cuales tenemos:

- Opción 1 APT:

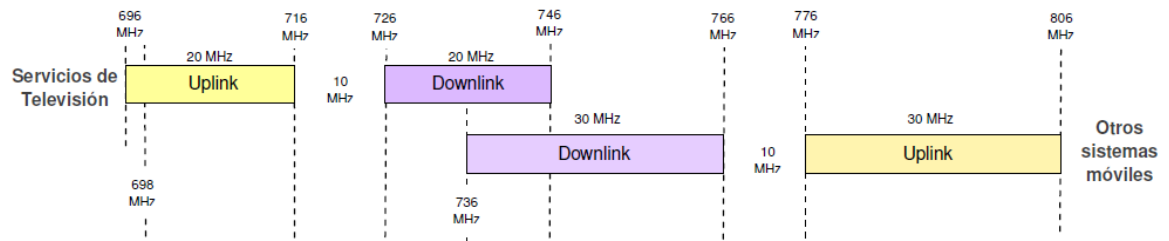


Figura 47. Opción 1 APT para la canalización del canal 700MHz(4).

Se basa en una solución evolucionada a la propuesta de FCC de los Estados Unidos, con el propósito de crear armonización en la producción a escala de dispositivos y en el Roaming, además buscar planes nacionales con opciones flexibles. Esta opción contempla que si se coloca una franja downlink de FDD junto a una banda broadcasting de televisión UHF, existen significantes riesgos de interferencia, la banda FDD de uplink junto a la banda de televisión evita este problema. Como se observa en la figura 51.

- Opción 2 APT:

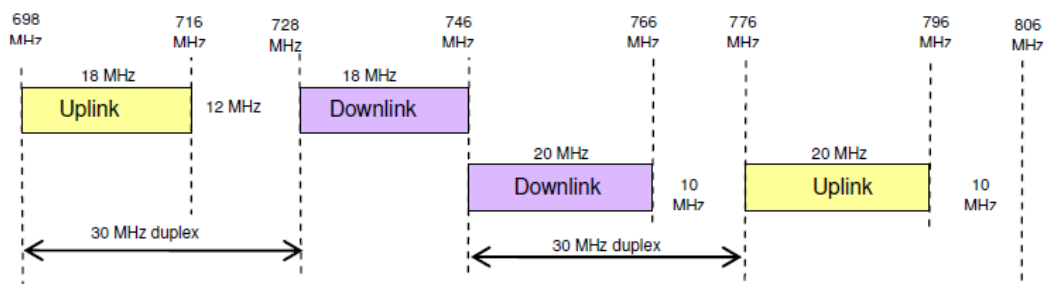


Figura 48. Opción 2 APT para canalización en la banda 700MHz(4).

Esta implementación tiene dos pares de bloques con espaciamiento de 30MHz, similar al plan de frecuencia de Estados Unidos. Esta opción es ideal para una administración de dividendo digital a partir de 698MHz, esta canalización provee un par de 18MHz y un par de 20MHz en bandas dúplex para sistemas móviles celulares. Las dos franjas dúplex de

(12MHz y 10MHz). Así como también la porción de 10MHz al final de la banda pueden ser utilizados para otros servicios con potencias bajas. Por lo tanto un total de 2x38MHz están disponibles para IMT, como se muestra en la figura 52.

- Opción 3 APT:

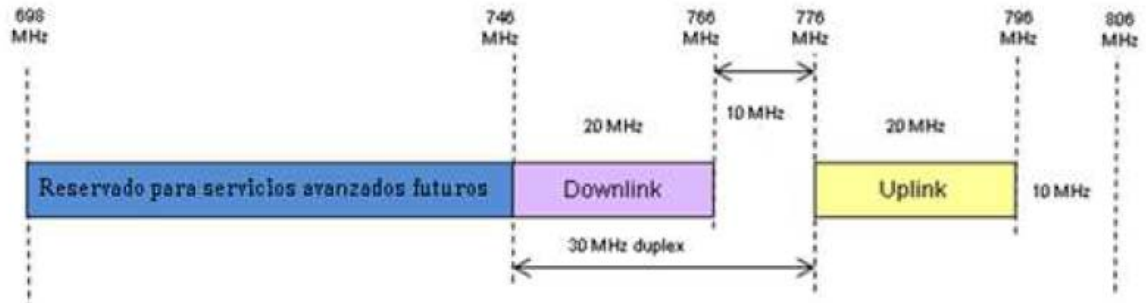


Figura 49. Opción 3 APT para la canalización de 700MHz(4).

La opción 3 permite optimizar la armonización con la región 2 en la parte alta de la banda 700MHz y reserva espectro en la parte baja de dicha banda para un uso futuro en caso de existir diferencias en el dividendo digital en cada administración.

Esta opción refleja las diferentes situaciones que presentan las administraciones de la APT, por ejemplo algunas administraciones aún no han establecido fecha ni plan para el apagón analógico, como se puede observar en la figura 53.

- Opción 4 APT:



Figura 50. Opción 4 APT para canalización 700MHz(4).

Un grupo de administraciones y de empresas de Telecomunicaciones han propuesto un simple pero eficiente arreglo de frecuencias con tecnología FDD en la banda 698MHz-806MHz que cuenta con las siguientes características:

- Arreglo de 2x50MHz con una banda central de 8MHz de separación entre el Uplink y el Downlink.
- Espaciamiento dúplex de 58MHz
- Transmisión dúplex invertida.

Este arreglo de frecuencias FDD, permite una máxima utilización del espectro, debido a que se emplean 100MHz de los 108MHz disponibles en la banda en la figura 54 y 55 se detallan los diferentes arreglos de canales que se pueden utilizar con dicha opción.



Figura 51. Arreglos de canales que se pueden utilizar en la opción 4 APT(4).

- Opción 5 APT:

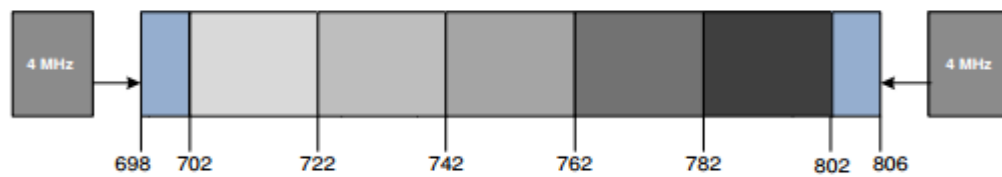


Figura 52. Opción 5 APT para canalización 700MHz(4).

Este arreglo de frecuencias con opción TDD en la banda 698MHz-806MHz, puede ser separada en 5 bloques de 5MHz cada uno, con bandas de guarda de 4MHz en la parte baja y alta de la banda, como se observa en la figura 56.

4.10.2 Banda AWS (Advanced Wireless Service)

A continuación se analiza la opción de canalización establecida por la FCC para esta banda en los Estados Unidos, canalizando un total de 2x45MHz de espectro, en este caso la banda canalizada corresponde a la banda conocida como AWS-1, la cual está comprendida entre el rango 1710MHz-1755MHz y 2110MHz-2155MHz, la canalización se puede observar en la figura 57 (4).



Figura 53. Propuesta de canalización para la banda AWS propuesta por la FCC(4).

Esta canalización es una muy buena opción para LTE, teniendo en cuenta que está comprendida por canales múltiplos de 5 lo que permite una implementación adecuada de la tecnología antes mencionada, adicionalmente se puede asignar este espectro a varios operadores.

4.10.3 Banda 2,5GHz

La ITU en la recomendación ITU-R M.1036-3 ha definido tres opciones para la canalización de la banda 2,5GHZ que se analizan a continuación:

Opción 1 ITU:

Asignación pre-configurada de espectro para FDD pareado y TDD no pareado, 2x70MHz para FDD y 50MHz para TDD, como se observa en la figura 58 (6).

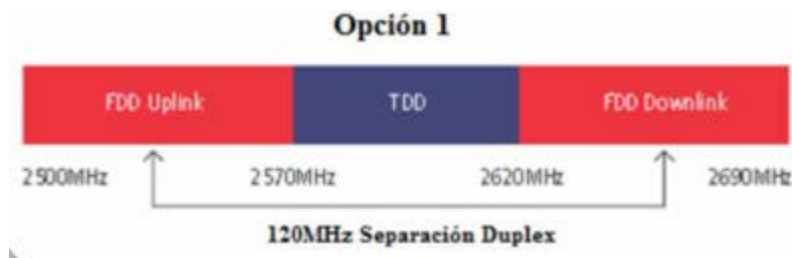


Figura 54. Opción de canalización ITU para la banda de 2,5GHz(6)

Opción 2 ITU:

Solamente se asigna espectro pareado para FDD y existe un bloque FDD para el uplink cuya banda pareada para el downlink estaría en una banda aún no determinada, como se observa en la figura 59 (6).



Figura 55. Opción 2 ITU para la canalización de la banda 2,5GHz(6).

Opción 3 ITU:

Flexibilidad, los operadores pueden decidir la forma en que ellos quieren asignar el espectro radioeléctrico que tienen asignado, se adquiere para operar par (FDD) o impar (TDD), como se observa en la figura 60 (6).

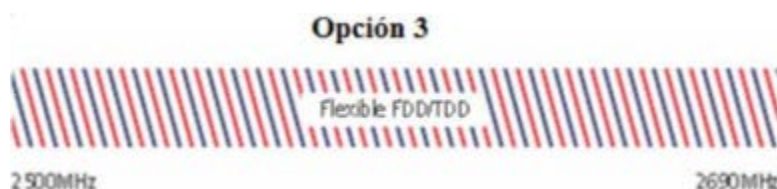


Figura 56. Opción 3 ITU para canalización de la banda 2,5GHz(6)

GSMA (*GSM Association*), se encuentra actualmente promoviendo una campaña para que la banda 2,5GHz sea utilizada de acuerdo a la opción 1 planteada por la ITU, debido a que permite el despliegue de servicios en FDD sin que intervengan con los servicios TDD, constituyendo así la única opción completa, debido a que considera la neutralidad tecnológica (6).

La opción 2 ha sido altamente rechazada, teniendo en cuenta que incumple el principio de neutralidad tecnológica y no se adapta a la demanda de espectro no pareado de la tecnología TDD (6).

Entre tanto la opción 3, provoca incertidumbre con respecto a la interferencia y a modelos de negocio para trabajar con tecnologías en espectro pareado que necesitan 120MHz de separación dúplex (6).

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones GSMA considera más viable la opción 1 ITU que la opción 3 ITU, debido a que ofrece ciertas ventajas como por ejemplo:

- Gestión en interferencias (no posee conflictos con Roaming)
- Costos y disponibilidad de equipos
- Cobertura y duración de batería para los dispositivos
- Modelo de negocio atractivo para los inversionistas
- Mayor eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico.

Por su parte la opción 3 ITU cuenta con varios puntos débiles entre los que se presentan:

- Diversos bloques de espectro para FDD y TDD, lo que implica pérdida de cobertura, interferencia entre dispositivos (difícil de evitar) y reducción del espectro utilizable debido a la necesidad de más bandas de guardia.
- Genera diversos números de planes de frecuencias en diferentes países (Falta de armonización) lo que conlleva a problemas de roaming.
- Necesidad de equipamiento específico en cada país, lo que conlleva a un incremento en costos (no hay economías de escala)
- Complicaciones significativas en el tratamiento de la interferencia.
- Reduce la potencia RF, lo que conllevaría a requerir estaciones base adicionales.

Según estudios realizados y diferentes foros técnicos de carácter internacional la banda de guarda mínima para evitar potenciales interferencias entre sistemas FDD y TDD que operan adyacentes en una misma área geográfica es de 5MHz.

La opción 1 ITU requiere solamente dos interfaces entre el espectro FDD y TDD, con reglas claras para la coordinación de frecuencias y gestión de interferencias. Obteniendo como resultado dos bandas de guarda de 5MHz que deben ser consideradas en los rangos 2570MHz-2575MHz y 2615MHz-2620MHz, siempre que la opción 1 ITU sea adoptada por todos los países vecinos, estas mismas normas se aplican en las fronteras y entre las regiones dentro de los países (4).

4.11 Consideraciones a nivel de red

Los operadores más grandes en Colombia (Claro, Movistar y Tigo), tiene actualmente implementadas tecnologías GSM y UMTS/HSPA, cuyas redes pueden ser interconectadas a una red LTE, mediante interconexión de la red LTE con BSC y RNC, respectivamente, a través de las interfaces definidas para tal efecto, con lo anteriormente mencionado, se aconseja que estos operadores desplieguen una red LTE en su totalidad, a la cual se interconectarán la UTRAN y GERAN para poder brindar servicio a los usuarios que no dispongan de terminales LTE (14).

Además, es importante que los elementos de la UTRAN y GERAN deban realizarse ciertas configuraciones y actualizaciones con el propósito de trabajar conjuntamente con el E-UTRAN.

4.12 Consideraciones a nivel de Espectro Radioeléctrico

A continuación se plantean las alternativas más viables para el uso de las bandas de espectro radioeléctrico para la implementación de sistemas LTE en Colombia, considerando la actual ocupación o disponibilidad, además se plantea la mejor canalización para cada una de las bandas, sin embargo se debe tomar como alternativa, debido a que el ente regulador en el país deberá tomar en cuenta la canalizaciones y políticas adoptadas en otros países a fin de mantener la homogeneidad en la región (14).

Banda 700MHz

Teniendo en cuenta las características de propagación de la banda 700MHz (*Dividendo digital*) podría considerarse la más indicada para la implementación de LTE en Colombia, donde a pesar de no ser un territorio geográficamente extenso, cuenta con regiones alejadas de las ciudades principales lo que conlleva al aumento de la brecha digital, como se observa en la figura 61, la relación entre la banda que se emplea, la cantidad de estación base requeridas y el alcance de cada una de estas estaciones (14).

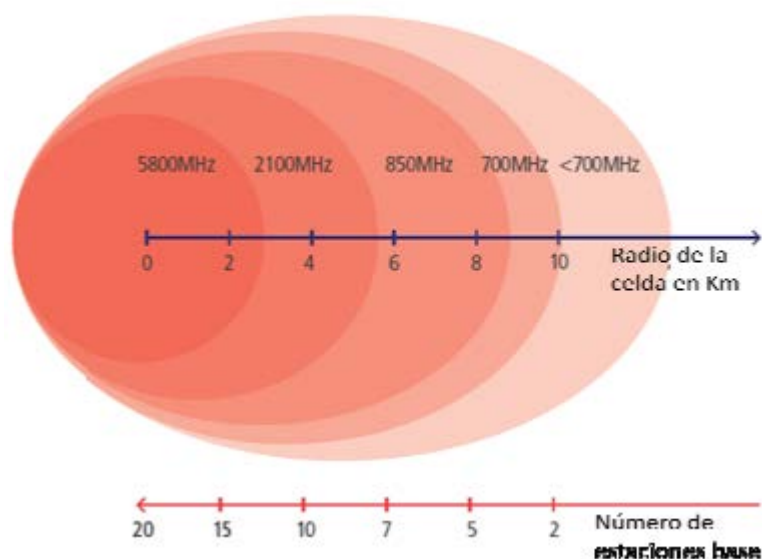


Figura 57. Radio de cobertura Banda-Frecuencia vs Cantidad de estaciones base(14).

Sin embargo, actualmente existen porciones de esta banda utilizadas para la radiodifusión de servicios de televisión principalmente utilizada por el estado en canales públicos. En agosto de 2011 la CNTV (Comisión nacional de televisión) publicó el proyecto para reglamentar la prestación del servicio TDT, en el que se dan algunos lineamientos para el reordenamiento del espectro de televisión, entre los que se encuentra la liberación de espectro de la banda 698MHz-806MHz para obtener el dividendo digital (14).

Desde el punto de vista tecnológico y económico, la liberación de esta banda es esencial para el interés de la nación, debido a que las ganancias captadas por los servicios de comunicaciones

móviles son notablemente superiores que los obtenidos por los servicios de radiodifusión terrestre como se observa en la figura 62 (14).

	Radiodifusión	Banda Ancha Móvil	
Ingresos adicionales del sector y contribución al crecimiento del PIB	\$ 53	\$ 388	x 7,3
Contribución a la creación de empleo	420	1541	x 3,7
Contribución impositiva acumulada	\$85	\$ 425	x 5
Excedente del consumidor	~\$0	\$ 333	

Figura 58. Beneficio económico comparado según utilización de la banda de 700MHz en Colombia (cifras en millones de dólares)²⁹

Con respecto a la canalización más adecuada para el caso colombiano se aconseja la opción 4 APT, teniendo en cuenta la completa liberación de esta banda, debido a que se tiene 10 posibles canales de 5x5MHz, permitiendo así una mayor flexibilidad para la implementación de LTE por parte de varios operadores (15).

Banda AWS

La banda AWS también es una propuesta interesante para la implementación de LTE, debido a que su utilización ha sido atribuida para sistemas IMT, de acuerdo a la *Atribución de frecuencias del espectro radioeléctrico* proporcionada por Min TIC (Ministerio de las tecnologías de la información y comunicaciones) (14).

Anteriormente en esta banda se asignaban enlaces auxiliares para sistemas de radiodifusión y televisión, la mayor parte de estos han sido migrados a otras bandas, en la actualidad existen pocos enlaces radioeléctricos en esta banda que deberán ser migrados lo antes posible para facilitar el despliegue de IMT (14).

Ahora, la mejor propuesta de canalización para esta banda es la suministrada por la FCC, pero dividiéndola completamente en bloques de 5MHz, lo que ofrecería mayor flexibilidad a la hora de asignar dicho espectro, la propuesta planteada se observa en la figura 63.

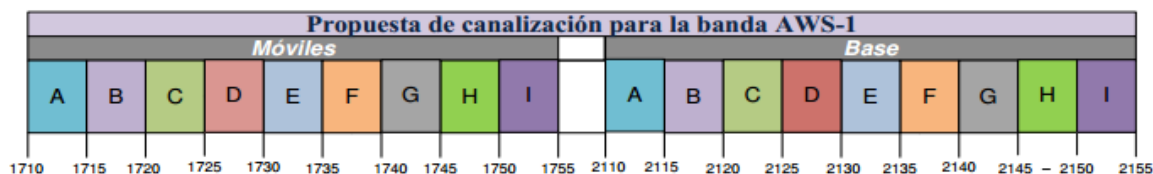


Figura 59. Propuesta de canalización para la banda AWS en Colombia(14).

²⁹ Grafica obtenida teniendo en cuenta el SMMLV y datos proporcionados por MinTIC (Ministerio de las tecnologías de la información y comunicaciones) y SIC (Superintendencia de Industria y Comercio).

Banda 2,5GHz

Esta banda puede ser considerada en un mediano plazo, debido a que por sus características de propagación es una banda utilizada para dar soporte en áreas urbanas o con altas cargas de tráfico, sin embargo, referente a costes de implementación se incrementan con respecto a las otras dos bandas, debido a su relativo poco alcance, como se observaba en la figura 52, entre sus principales ventajas esta que podría ser considerada como la banda que permitirá la armonización de los servicios móviles a nivel internacional, otra de sus ventajas es la neutralidad tecnológica que permitiría trabajar con sistemas TDD y FDD, con bandas de guarda suficientes que eliminarían las interferencia entre ellas. Esta banda puede ser considerada para la implementación de servicios 4G en operadores establecidos, debido que un operador entrante que no cuenta con un mercado establecido, necesitaría una inversión alta para prestar el servicio, teniendo en cuenta el incremento de infraestructura que se debe implementar con respecto a las otras bandas en las que se puede implementar esta tecnología, por último se debe considerar que mientras un operador establecido puede ofrecer el servicio de voz sobre otra tecnología ya existente el operador nuevo debería implementar el servicio de voz también sobre 4G, aspecto que influye considerablemente sobre el costo de prestación del servicio (14).

Según lo anteriormente mencionado se considera que la mejor opción para canalizar la banda 2,5GHz en Colombia es la opción 1 presentada por la ITU, subdividida en canales de 5MHz como se observa en la figura 64.

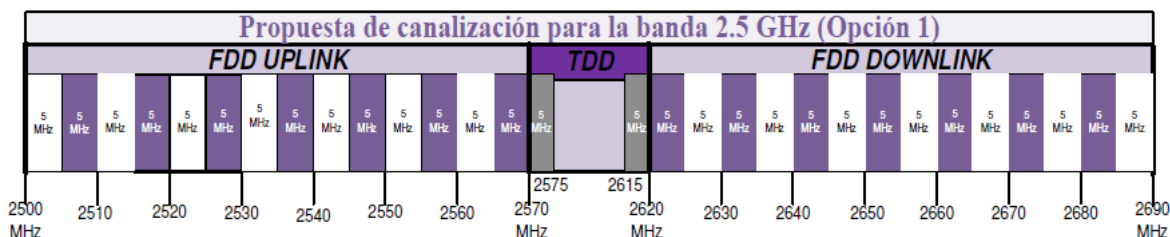


Figura 60. Propuesta para la canalización de la banda 2,5GHz en Colombia(14).

4.13 Consideraciones a nivel de terminales

A nivel de terminales los operadores en Colombia deben ofrecer a sus usuarios que cumplan con las normas establecidas por el estándar LTE, estas normas se pueden resumir en los siguientes factores:

- Interoperabilidad entre GSM, HSPA y LTE.
- Dispositivos multimodo y multibanda.
- Dual Stack (IPv4/IPv6)
- Roaming y handover entre tecnologías.

Según lo anteriormente mencionado, los entes reguladores en Colombia deben asegurar que los equipos comercializados en el territorio nacional soporten la tecnología LTE y adicionalmente las

tecnologías UMTS/HSPA y GSM/EDGE, así como también que trabajen en las frecuencias establecidas en el país para los sistemas IMT.

PARTE 5

5 ENFOQUE HUMANISTICO

La evolución de las telecomunicaciones ha sido intrínseca al desarrollo de la humanidad, siendo uno de los principales factores que ha permitido la transmisión del conocimiento de generación en generación y la correlación de diferentes tribus de una misma época por medio de técnicas que han ido evolucionando de acuerdo a las necesidades de cada era. Este suceso se viene repitiendo desde tiempos primitivos donde los antecesores del hombre actual se valían de diferentes métodos de comunicación que han ido evolucionando a través de la historia. Avances en el campo de la física como el tratamiento de la electricidad por parte de Benjamín Franklin, Alessandro Volta, entre otros, hasta la que puede ser considerada la primera aplicación de la electricidad en el campo de las telecomunicaciones; el telégrafo por parte de Samuel Morse en 1833, han abierto el extenso camino que las telecomunicaciones han recorrido hasta la actualidad.

Uno de los grandes logros que ha tenido las telecomunicaciones es el desarrollo de tecnologías móviles que permiten a los usuarios desplazarse, abriendo un gran número de aplicaciones en campos como la industria, la educación, el entretenimiento, entre otros. Desde este punto de vista los agentes involucrados en el desarrollo e implementación de estos servicios, han tenido la compleja tarea de desarrollar constantemente soluciones que permitan ofrecer estas tecnologías a la gran cantidad de usuarios que cada día la adoptan, teniendo en cuenta las necesidades cada vez más complejas que dichos usuarios exigen.

Para la creación de este documento se ha tenido en cuenta la misión de la Universidad Santo Tomás que cita “La Misión de la Universidad Santo Tomás, inspirada en el pensamiento humanista cristiano de Santo Tomás de Aquino, consiste en promover la formación integral de las personas, en el campo de la educación superior, mediante acciones y procesos de enseñanza-aprendizaje, investigación y proyección social, para que respondan de manera ética, creativa y crítica a las exigencias de la vida humana y estén en condiciones de aportar soluciones a la problemática y necesidades de la sociedad y del país” (17)partiendo de esta misión se puede observar la importancia que tiene la información para Santo Tomás como medio de desarrollo del ser humano. Teniendo como base este enfoque humanístico se parte con la investigación que busca encontrar cual es la mejor opción de migración de tecnologías móviles en beneficio del país.

Teniendo en cuenta la vida y obra de Santo Tomás de Aquino, se hace notable que fue uno de los pensadores para los cuales el conocimiento era fundamental como paso previo al pensar, además como se puede evidenciar en sus tratados hablaba de la originalidad del hombre, partiendo de la intelectualidad, a la que describe como el proceso por el cual se producen conceptos a partir de sensaciones, para finalmente emitir juicios y reflexiones, proceso que lo diferencia de los demás seres vivos. Además recalcando la necesidad del hombre por conocerlo todo y comunicarlo por medio del lenguaje, factor que lo transforma en un ser único entre los seres vivos (18)

Ahora, partiendo de este fundamento se hace primordial para el ser humano transmitir conocimiento por medio del lenguaje utilizando las herramientas con las que cuenta a su alrededor, en la actualidad gracias a los grandes desarrollos que se han realizado en la telecomunicaciones, sumando las grandes exigencias de los usuarios por contar con servicios que le permita optimizar tiempo, recursos y sin que imponga limitaciones de ubicación geográfica, la evolución de las telecomunicaciones móviles es una de las más aceleradas con respecto a otras tecnologías.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se puede considerar a la comunicación como un acto social, una forma de socialización humana; manifestando un carácter esencialmente social que permite a los individuos expresar las características que lo hacen particular, a pesar de pertenecer a una misma clase de ser vivo. La comunicación permite dar a conocer sentimientos, gustos, inconformidades, maneras de pensar, teniendo como objetivo esencial encontrar otros individuos que compartan los mismos grupos, dando la oportunidad de crear grupos, factor primordial que ha permitido al ser humano evolucionar y perdurar exitosamente en el planeta tierra como especie dominante.

Teniendo en cuenta cada uno de los aspectos anteriormente mencionados se puede concluir que el ser humano es una especie comunicativa por naturaleza, que está en constante búsqueda de métodos que le permitan mejorar las técnicas de comunicación que utiliza a través del tiempo.

La optimización de las formas de comunicación ha permitido pasar de un mundo donde la información era privativa de una región o estado a ser de conocimiento para cualquiera que esté interesado en acceder a ella, de esta forma en la actualidad es posible consultar información cuyo creador está alejado por miles de kilómetros desde un dispositivo que cabe en la palma de las manos, claro está, apoyado en grandes avances tecnológicos no solo en el campo de las telecomunicaciones, sino también en el campo del desarrollo de contenido, formas de almacenamiento de información en formato digital, entre otros, dando paso a mejorar los sistemas convencionales por los cuales se difundía el conocimiento.

El desarrollo de estos sistemas de lenguaje ha permitido a la sociedad modificar su participación dentro de la misma, convirtiéndose en un grupo de individuos participativos, interactivos y constructivos.

Finalmente el desarrollo de esta monografía es un ejemplo del papel que representa el desarrollo de las telecomunicaciones, permitiendo conglomerar fuentes de información de varios lugares en un único documento que a su vez espera servir de soporte para todo aquel que esté interesado en adquirir los conocimientos aquí consignados. Estando acorde con la misión de la universidad la cual se invita a todos los participantes de la comunidad tomasina a participar en procesos de investigación respondiendo de manera ética, crítica y creativa a las exigencias de la vida humana aportando soluciones a la problemática y necesidades de la sociedad y del país.

PARTE 6

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer por parte de los entes reguladores planes de liberación de espectro de las bandas que son utilizadas para implementar tecnologías 4G (LTE), permitiendo así un uso más eficiente de los recursos que podrían estar disponibles.
- Se recomienda a los operadores de servicios móviles establecidos utilizar métodos de migración que permitan hacer uso de las redes con las que cuenta actualmente, de tal forma que la implementación de esta tecnología no tenga un impacto económico muy relevante.
- Se recomienda a los operadores entrantes que no sean MVNO implementar redes 4G de tal forma que les permita estar preparados para ofrecer servicios basados completamente sobre IP, en momento que se vayan estandarizando.
- Se recomienda a los operadores móviles generar estrategias de mercadeo que permita la inclusión de la mayor cantidad de usuarios, de tal forma que se la inversión realizada para prestar servicios 4G (LTE) no sea de gran impacto, poniendo en peligro su permanencia en el mercado.
- Se recomienda a los entes reguladores establecer normas que permitan mejorar el servicio prestado en la actualidad en los servicios móviles, como norma para permitir la implementación y comercialización de servicios 4G (LTE)
- Se recomienda a los entes reguladores establecer normas que finalicen con las prácticas de monopolio que se ven en el país y que afectan la calidad del servicio ofrecido a los usuarios.

6.1 Análisis del escenario de migración más óptimo para los operadores móviles en Colombia

Según se ha observado en la parte 3 de este documento, existen múltiples opciones que permiten a los operadores realizar la migración de las actuales tecnologías con las que cuenta hacia las redes de cuarta generación (LTE), estos escenarios de migración al igual que el documento en general está enfocado a operadores que cuentan con infraestructura propia, es decir, no se estudian los escenarios de migración posibles para operadores móviles virtuales (MVNO), debido a que las modificaciones que deben realizar dichos operadores están enfocada a actualización de software y no de infraestructura como tal. Existen escenarios de migración en los que se plantea realizar un cambio completo de los equipos, antenas, torres, por nombrar solo algunos de los elementos que se deberían cambiar; este tipo de migración aunque prepara y actualiza al operador, supone un alto riesgo financiero, debido a que teniendo en cuenta los casos actuales en algunos países como por ejemplo Estados Unidos donde según un estudio realizado por la Piper Jaffray³⁰ el 47% de los usuarios de servicios móviles en Estados Unidos sienten que no necesitan servicios 4G, no se espera una pronta adopción de esta tecnología por parte de los usuarios, disminuyendo el ingreso medio por usuario (*ARPU por sus siglas en inglés*) razón que expone a dichos operadores a tener pérdidas durante el periodo inicial de ingreso al mercado de dicha tecnología. Por otro lado se cuenta con escenarios de migración donde el operador realizando algunos cambios y adiciones en su infraestructura podrán prestar servicios de voz sobre su infraestructura actual (servicios de voz sobre redes de tercera generación) y servicios de datos de alta velocidad haciendo uso de las tecnologías de cuarta generación (LTE), aunque en estos escenarios igualmente se debe realizar inversión en infraestructura, comparada con la inversión de una migración completa a LTE es bastante bajo.

Partiendo de esta premisa se considera que de cara a los operadores el escenario de migración más conveniente es hacer uso de la infraestructura con la que cuentan actualmente, actualizándola con los elementos de red necesarios para los servicios de cuarta generación (LTE).

Finalmente luego de analizar los diferentes escenarios de migración se considera que para el caso específico de los operadores móviles en Colombia que cuenten con infraestructura propia deberían empezar la migración hacia redes de cuarta generación (LTE) utilizando Circuit Switched Fallback (CSFB).

Se considera la migración por medio de Circuit Switched Fallback (CSFB) teniendo en cuenta las características propias de esta tecnología tales como:

- **La transferencia del dominio de conmutación de paquetes (LTE) al dominio de conmutación de circuitos (GSM/UMTS) de forma sencilla**, como se ha mencionado anteriormente depende de la necesidad del usuario el equipo de usuario (*UE, por sus siglas en inglés*) cambiara automáticamente al dominio que requiera, estando constantemente en el dominio de paquetes y cambiando al dominio de circuitos solo

³⁰ Fondo de inversión estadounidense, fundado en 1895, con sede principal en Minneapolis, Minnesota.

cuando se registra un llamada entrante o el usuario realice una petición para dar inicio a una llamada (19).

- **El tiempo de establecimiento de llamada saliente, teniendo en cuenta el cambio del dominio de conmutación de paquetes (LTE) al dominio de conmutación de circuitos,** como se observa en la figura 61, el tiempo de establecimiento de llamada utilizando CSFB en comparación con el establecimiento de llamada saliente en GSM/UMTS no es demasiado alto si se tiene en cuenta que en el caso de GSM/UMTS se trabaja en mismo dominio, mientras que en CSFB como se ha mencionado anteriormente se trabaja en dos dominios,

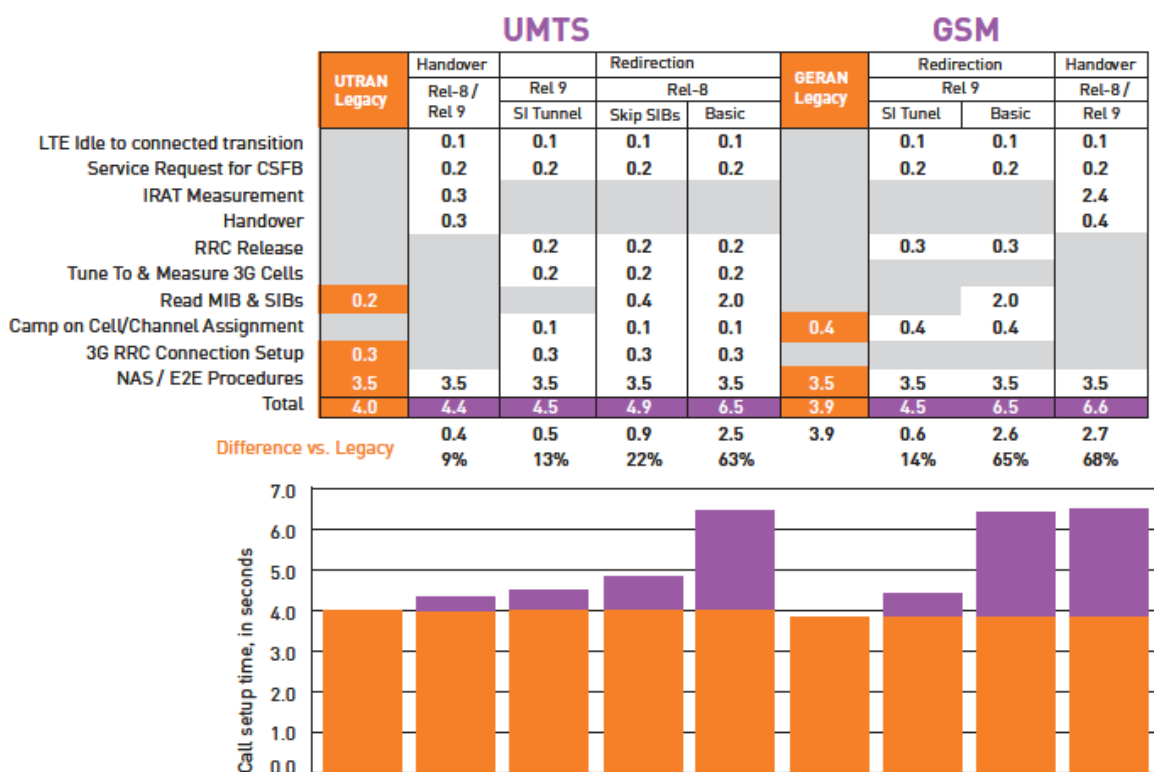


Figura 61, tiempo de establecimiento de llamada saliente utilizando CSFB en comparación con el establecimiento de llamada en GSM/UMTS, unidades en segundos(19)

- **Tiempo de establecimiento de llamada entrante**, aunque para el usuario que recibe la llamada el tiempo de establecimiento de llamada entrante, a nivel técnico es necesario considerar estos tiempos, según pruebas realizadas por Qualcomm se obtienen los datos observados en la figura 62:

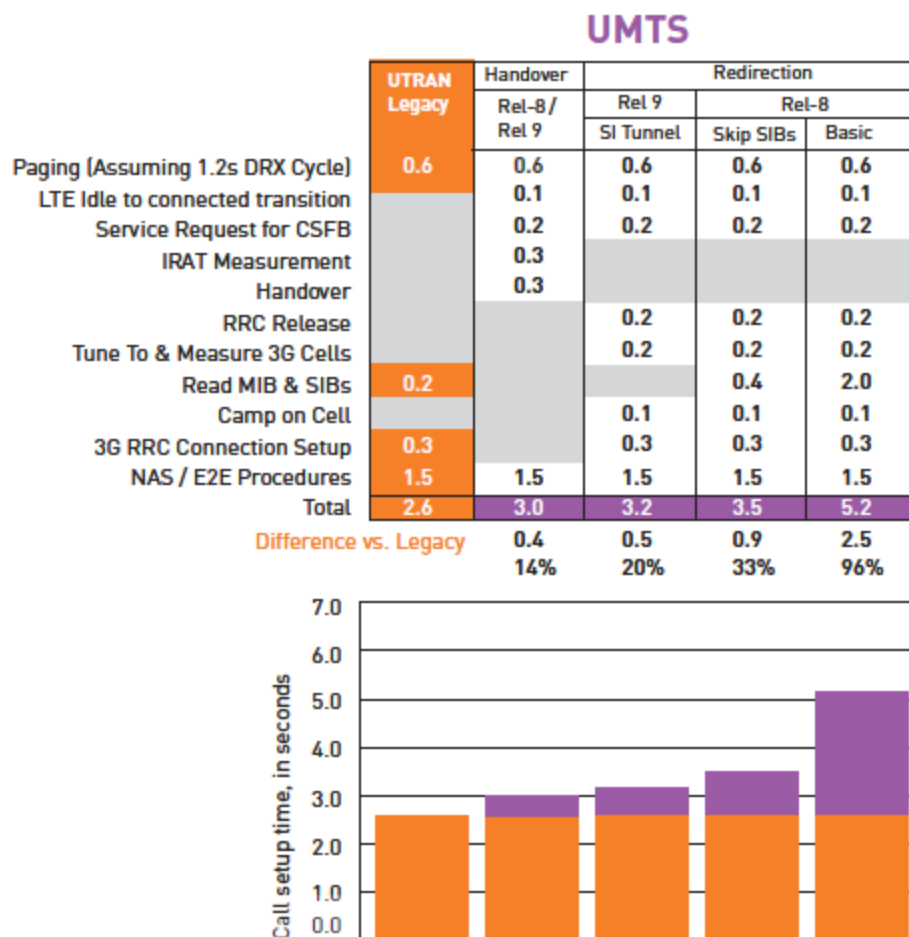


Figura 62. Tiempo de establecimiento de llamada entrante utilizando CSFB en comparación con UMTS, unidades en segundos(19).

Como se observa en la figura 62 el tiempo de establecimiento de llamada entrante utilizando CSFB no se incrementa en forma relevante comparado con el tiempo de establecimiento de llamada entrante de UMTS.

- Aunque los operadores deben enfocarse en implementar redes basadas completamente en IMS, a medida que la demanda por el servicio de redes de cuarta generación vaya aumentando y el ingreso medio por usuario (*ARPU por sus siglas en inglés*) lo permita, teniendo en cuenta que las exigencias de los usuarios crecen de manera exponencial a medida que los UE (*User Equipment*) continúen evolucionando y las aplicaciones a las cuales tienen acceso sean más exigentes, el uso de CSFB continuara como solución a prestar servicios de datos en zonas donde no se cuente con cobertura LTE, teniendo en

cuenta esta premisa la inversión en la implementación de SCFB para prestar servicios de cuarta generación traerá beneficios a largo plazo para los operadores móviles.

Como se puede observar según las características anteriormente mencionadas el uso de CSFB (Circuit Switched FallBack) trae beneficios a los operadores móviles dándole la posibilidad de prestar servicios de cuarta generación (LTE) con una calidad de servicio (Qos) que si bien esta degrada en comparación a las tecnologías antecesoras (GSM/UMTS) es bastante alta de cara a los usuarios, aspecto que finalmente dará fiabilidad a dichos usuarios y una mayor adopción de los mismos de las tecnologías de cuarta generación aumentando así los ingresos percibidos por los operadores, lo que le permitirá realizar inversiones significativas en infraestructura para mejorar el servicio haciendo al país más atractivo para la inversión extranjera, dando un empujón a la economía de la nación.

PARTE 7

7 CONCLUSIONES

- La constante evolución de las tecnologías móviles, ha permitido a los operadores y suscriptores aprovechar al máximo las redes de banda ancha, a su vez el continuo y actual uso de tecnologías tales como GSM y EDGE, han permitido que los operadores recuperen las grandes inversiones que han hecho en el país. Con tecnologías como UMTS/HSPA, las ventajas tecnológicas para los servicios de banda ancha móvil incrementaron significativamente, que a su vez constituyeron un paso hacia el desarrollo de tecnologías móviles basadas en IP. Ahora con la entrada al mercado de LTE, los operadores cuentan con una plataforma robusta, que permitirá la implementación de dicha tecnología en varios países del mundo.
- Teniendo en cuenta que los operadores móviles con mayor número de usuarios en Colombia tienen implementadas redes GSM y UMTS/HSPA, les será más fácil desplegar la tecnología LTE, ya que la interconexión con E-UTRAN no es muy compleja. Por este motivo los operadores establecidos deberán implementar redes LTE en su totalidad, a las cuales se interconectarán la UTRAN y GERAN para poder ofrecer servicio a los usuarios que no dispongan de terminales LTE.
- Teniendo en cuenta que los sistemas LTE pueden coexistir con sistemas móviles de generaciones anteriores, se puede afirmar que la migración se realiza de manera segura sin que sea vea afectado el servicio durante la puesta en marcha.
- Aunque los operadores móviles en un futuro deberán implementar una red móvil basada en un entorno completamente IP, en la actualidad las posibilidades de migración les permite prestar algunos servicios con la redes actuales, de esta forma los usuarios que no puedan acceder a terminales de última generación se verán relegados respecto a los nuevos beneficios pero no dejarán de tener los servicios actualmente contratados.
- Debido al constante crecimiento del tráfico en las redes de datos móviles actuales (UMTS/HSPA) se hace necesario contar con tecnologías que permitan incrementar el número de usuarios sin sacrificar una cantidad de espectro electromagnético ventaja con la que cuenta LTE dependiendo en que banda se implanten dicha tecnología.
- Las entidades reguladoras en el país deben presentar estrategias y planes de migración para liberar el espectro utilizado actualmente por algunos servicios en las bandas que serán utilizadas para implementar LTE en la mayor brevedad posible, de esta forma podrán ser asignados a los operadores que estén interesados en cada una de ellas.

- Las restricciones puestas actualmente en la licitación para la asignación de las bandas de frecuencia utilizadas por LTE permitirá hacerle frente al actual problema que afronta el país al tener un operador dominante que controla más del 50% de los usuarios, asimismo la entrada de nuevos operadores al país que implementen infraestructura propia permitirán la entrada de MVNO (operadores móviles virtuales) lo que permitirá competencia entre los operadores por los precios con los que se presta el servicio, viéndose beneficiados los usuarios finales, que podrán acceder a las nuevas tecnologías sin correr con los elevados costos que se manejan actualmente.
- Teniendo en cuenta las características geográficas del país la banda que más beneficiaría a los usuarios a nivel nacional sería la banda 700MHz (Dividendo digital) por sus características de propagación, además esta banda sería la más indicada para los nuevos operadores, teniendo en cuenta que la inversión requerida para su implementación es menor.
- Durante la investigación se ha visto reflejado que no existen fuentes de información en las cuales se concentre todos estos aspectos, por el contrario la información acerca de implementación de las tecnologías 4G en el país es muy limitada. Con la creación de la siguiente monografía se espera aportar un documento que pueda ser utilizado de consulta para los interesados en el tema, tomando como ejemplo la situación de varios países de la región en los cuales la situación es similar a la del territorio nacional.

8 Bibliografía

1. **Mouly, Michael y Pautet, Marie-Bernadette.** *The GSM system for mobile communications*. s.l. : Telecom Publishing, 1992.
2. *Evolución de los sistemas móviles celulares GSM*. **Pachón de la Cruz, Álvaro**. 2005, S & T Revista de Ingeniería de sistemas e Ingeniería Telemática.
3. **Campos, Hugo.** *Redes Móviles Celulares*. Bogotá DC : USTA, 2009. ISBN 9789586316057.
4. **Ghosdm, Arunabha, y otros, y otros.** *Fundamentals of LTE*. s.l. : Prentice Hall, 2011.
5. **3G Americas.** UMTS Evolution from 3GPP Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE. [En línea] Junio de 2008. www.4gamericas.org.
6. **Holman, Harri y Toskala, Antti.** *LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA based Radio Access*. s.l. : John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
7. **Sessia, Estefania, Toufik, Issam y Baker, Mathew.** *LTE: The UMTS Long Term Evolution: from Theory to Practice*. s.l. : John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
8. **Alcatel-Lucent.** Long Term Evolution (LTE) Overview. [En línea] Octubre de 2008. <http://www.alcatel-lucent.com>.
9. *Evolución de la plataforma de servicios CAMEL mas allá de los sistemas 3G*. **Lopez Lavado, Miguel y Barba Marti, Antonio**. 2006, IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS.
10. *LTE/SAE, una apuesta segura en la evolución de las redes móviles*. **Miñarro Lopez, alfonso**. 2009, Antena de Telecomunicación.
11. **4G Americas.** The Mobile Broadband Evolution: 3GPP RELEASE 8 AND BEYOND. *HSPA+, SAE/LTE AND LTE-ADVANCED*. [En línea] Febrero de 2009. <http://www.4gamericas.org>.
12. **Sims, M.** *Price of Mobile Spectrum Falls in real terms*. 2012.
13. **MinTIC.** *Boletín trimestral de las TIC. cifras cuarto trimestre de 2012*. Bogotá DC : s.n., 2013.
14. **Restrepo Piedrahita, Jose Fernando.** Análisis y estudio técnico de la transferencia de tecnología para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través de operadores móviles virtuales soportados por tecnología LTE. Bogotá DC : Universidad Nacional de Colombia, 2011.
15. **Fedesarrollo.** Promoción de la competencia en la telefonía móvil en Colombia. Bogotá DC : s.n., 2012.
16. **Kartz, R y Flores-Roux, E.** *Beneficios economicos del dividendo digital para America Latina*. s.l. : TELECOM ADVISORY SERVICES, LLC, 2011.

17. **Universidad Santo Tomas.** Nuestra Insitución. [En línea] 2 de enero de 2012. [Citado el: 12 de febrero de 2013.] www.usta.edu.co.
18. **Sanguinetti, Juan Jose.***La filosofía de la ciencia según Santo Tomás.* España : Universidad de Navarra, 1977. ISBN: 84-313-0253-4.
19. **Qualcomm.** Qualcomm. [En línea] 7 de Mayo de 2012. [Citado el: 12 de Agosto de 2012.] www.qualcomm.com.
20. **University Of Maryland.***Spectrum auction Design, Working Paper.* s.l. : Cramton, 2012.
21. **Klemperer, P.***What Really Matters in Auction Design.* s.l. : Journal of Economic Perspectives, 2002.
22. **Bauer, J. M.***Regulation Public Policy, and investment in communications infraestructure.* 2010.
23. **Staple, G y Kevin, W.***The end of Spectrum Scarcity.* s.l. : IEEE Spectrum/NA, 2004.