

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO DE WIMAX2 (IEEE 802.16M) Y LA FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

FELIPE ARIEL TORRES PORTERO

felipet1988@gmail.com

DIRECTOR: PROF. ING. HUGO WILLIAM CARRIÓN ROBALINO

hugo.carrion@epn.edu.ec

Quito, febrero 2015

DECLARACIÓN

Yo, Felipe Ariel Torres Portero, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Felipe Ariel Torres Portero

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Felipe Ariel Torres Portero, bajo mi supervisión.

Prof. Ing. Hugo Carrión Robalino
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a nuestro Señor, Padre Dios, por todo en mi vida, por ser mi guía, y mi luz.

Quiero agradecer a mis padres y hermana, por ser mis primeros maestros, una de mis fuentes inagotables de sabiduría, y cariño.

A mi señor padre, mi modelo a seguir, y una de mis inspiraciones. A mi señora madre, quien ha hecho lo posible y lo imposible para que pudiera seguir mis estudios además de su cariño, paciencia y comprensión. Nunca podré estar lo suficientemente agradecido con ellos.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Hugo Carrión Robalino, quien no sólo me ha enseñado varios aspectos de las telecomunicaciones, sino también en mi formación ética como profesional y en mi compromiso con mi patria.

A mis maestros y compañeros de clases de quienes aprendí no sólo la parte científica de esta carrera, sino también la parte humana y social que considero aspectos muy importantes en mi vida.

Al personal administrativo de la Escuela de Formación de Tecnólogos, mis jefes, secretarias y compañeras de trabajo quienes me han brindado su apoyo incondicional en todo momento, y que han pasado a formar parte de mis más queridos amigos.

A mis amigos y amigas, verdaderos hermanos y hermanas que no sólo me han apoyado y felicitado en lo bueno, también me han hecho reflexionar en lo malo y me han aceptado tal como soy.

Sinceramente,

Felipe Torres

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, mi mejor ejemplo a seguir. Su cariño y apoyo incondicional son la causa principal de que haya podido aceptar y pasar cualquier desafío en la vida.

A todos los niños y jóvenes de nuestro país, en quienes deposito mis esperanzas para seguir trabajando juntos por un mejor país.

Felipe Ariel Torres Portero

CONTENIDOS

CAPITULO 1. ARQUITECTURA DE RED WIMAX	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Introducción a los estándares IEEE 802.16	6
1.2.1 Evolución de los estándares IEEE 802.16	8
1.3 Arquitectura de red WiMAX.....	10
1.3.1 Principios de diseño de la arquitectura de red WiMAX	10
1.3.2 Modelo de Referencia de Red	16
1.3.2.1 La ASN	17
1.3.2.2 Puerta de Enlace de la Red de Servicio de Acceso (ASN-GW).....	19
1.3.2.3 Puntos de referencia.....	20
1.3.2.4 Red de Servicio de Conectividad (CSN)	22
1.3.3 Autenticación, Autorización y Contabilización (AAA)	23
1.3.4 IP móvil	25
1.3.5 Administración del Recurso de Radio (RRM)	28
1.3.6 Administración de Movilidad	30
1.3.6.1 Movilidad ASN-anclada (ASN-anchored)	31
1.3.6.2 Movilidad CSN-anclada (CSN-anchored).....	34
1.3.7 Paging y Operación de Estado Inactivo	35
1.3.8 Perspectiva general de la arquitectura de red con núcleo de paquetes evolucionado 3GPP	38
1.3.8.1 Entidades Funcionales	40
1.3.8.2 Puntos de Referencia	41
 CAPITULO 2. MODELO DE REFERENCIA IEEE 801.16M Y ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS	 48
2.1 Introducción	48
2.2 El Modelo de referencia IEEE 802.16m	50
2.2.1 Sistema de Administración y Control de Red.	53

2.2.2	Plano de Datos	56
2.2.3	Plano de Control	58
2.2.4	Plano de Administración	60
2.2.5	Punto de Acceso al Servicio (SAP)	60
2.2.6	Modelo de Referencia de Handover Independiente del Medio para IEEE 802.16	61
2.3	Estructura de Protocolos IEEE 802.16m	61
2.3.1	Estructura de protocolos para soporte de Operación Multi-Portadora	66
2.3.2	Estructura de Protocolos para soporte de servicios Multicast y Broadcast	67
2.4	Estructura de protocolos 3GPP LTE/LTE-Advanced.	69
2.5	La sub-capa de convergencia en IEEE 802.16m	76
2.5.1	Clasificación e identificación del flujo de servicio	78
2.5.1.1	Atributos del Flujo de Servicio.	78
2.5.2	Sub-capa de Convergencia de Paquetes	79
2.5.3	sub-capa genérica de convergencia de paquetes	80
2.6	El Protocolo de Convergencia de Paquete de Datos 3GPP LTE	81
2.7	Sub-capa Común de Control de Acceso al medio.	86
2.7.1	Direccionamiento	88
2.7.2	Administración de MoVilidad y HanDover	88
2.7.2.1	Escenarios Handover IEEE 802.16m	89
2.8	Calidad de Servicio	91
2.8.1	Clases de QoS IEEE 802.16m	92
2.9	Sub-Capa de Seguridad IEEE 802.16m	93
2.9.1	Arquitectura de Seguridad	95
2.9.2	Privacidad de Usuario	97
2.10	La Capa Física IEEE 802.16m	97
2.10.1	Esquemas de acceso múltiple uplink y downlink	99

2.10.2	Canales de control downlink	99
2.10.3	Canales de control uplink	100
2.11	Operación Multi-portadora.....	101
2.11.1	Principios de operación multiportadora.....	103
2.11.1.1	Handover multi-portadora	103
2.11.1.2	Administración de potencia multi-portadora	104
2.12	Eficiencia espectral de usuario en los límites de la celda y frecuencias de operación...	104
2.12.1	Eficiencia espectral pico	107
2.12.2	Frecuencias de operación	108
2.13	Capacidad VoIP.....	108
CAPITULO 3. ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SERVICIOS WIMAX.....		110
3.1	Introducción	110
3.2	Estudio de demanda del servicio móvil en Ecuador	111
3.2.1	Estudio de demanda en servicios de telecomunicaciones	111
3.2.1.1	Previsión de abonados	111
3.2.1.1.1	<i>Método de Extrapolación.....</i>	<i>113</i>
3.2.1.1.2	<i>Método de Comparación</i>	<i>113</i>
3.2.1.1.3	<i>Método de Análisis por series de tiempo</i>	<i>113</i>
3.2.1.1.4	<i>Método Económico</i>	<i>114</i>
3.2.2	Condiciones generales del mercado.	114
3.2.2.1	Panorama de la telefonía móvil y 4G en Latinoamérica.....	115
3.2.2.2	Algunas Estadísticas en Ecuador	118
3.2.2.3	Avances de las Telecomunicaciones en Ecuador según MINTEL	122
3.2.3	Estudio de demanda para el servicio móvil avanzado	123
3.2.3.1	Consideraciones.....	123
3.2.3.2	Proyección de la densidad de líneas activas del SMA y porcentaje de penetración de HSPA+ con respecto al número de líneas activas.	126

CAPITULO 4. FACTIBILIDAD LEGAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WIMAX2 COMO ALTERNATIVA 4G EN ECUADOR	133
4.1 Introducción	133
4.2 Ecuador y el estado de su regulación en materia de telecomunicaciones en la actualidad	134
4.2.1 Concesiones relacionadas con WiMAX 2	135
4.3 Consideraciones que debe tomar en cuenta el marco regulatorio con respecto a tecnologías 4g.....	136
4.4 Regulación vigente relacionada con el servicio móvil avanzado.....	137
4.4.1 Ley Especial de Telecomunicaciones reformada	137
4.4.2 Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada (decreto n°. 1790)	138
4.4.3 Reglamento para la prestación del servicio móvil avanzado (Resolución No. 498-25-CONATEL-2002)	140
4.4.4 Reglamento abonados servicios telecomunicaciones y valor agregado (Resolución TEL-477-16-CONATEL-2012)	143
4.4.5 Reglamento de radiocomunicaciones (resolución no. 556-21-conatel- 2000 última modificación 24-nov-2011).....	143
4.4.6 Plan Nacional Para el Buen Vivir (2013-2017).....	144
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
5.1 Resumen de lo expuesto	148
5.2 Conclusiones	149
5.3 Recomendaciones	156
5.4 Tabla resumen	158
BIBLIOGRAFÍA	161
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS.....	165

ANEXO A: BACKGROUND ON IMT-ADVANCED	175
ANEXO B: REPORT ITU-R M.2134	179
ANEXO C: SPECTRUM FOR IMT.....	188
ANEXO D: LATIN AMERICA DEEP DIVE (PP. 5-6).....	192
ANEXO E: PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS (BANDAS SMA).....	195

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1. ARQUITECTURA DE RED WIMAX	1
Figura 1.1 El modelo de referencia de red WiMAX	16
Figura 1.2 Descomposición funcional del ASN	18
Figura 1.3 Modelo de referencia del ASN conteniendo múltiples ASN-GW	19
Figura 1.4 Modelo de referencia de la CSN	23
Figura 1.5 Stack de protocolos para la sub-capa de convergencia IP con ASN enrutada ..	27
Figura 1.6 Escenarios de movilidad soportados por la arquitectura de red WiMAX.....	32
Figura 1.7 Modelo de referencia de la red de paging	36
Figura 1.8 Modelo de referencia de la red de <i>core</i> de paquetes evolucionada 3GPP	39
Figura 1.9 Arquitectura E-UTRAN	42
Figura 1.10 Corte funcional entre E-UTRAN y EPC	43
Figura 1.11 Arquitectura lógica HeNB de E-UTRAN	44
Figura 1.12 Arquitectura general E-UTRAN incluyendo HeNBs.....	46
CAPITULO 2. MODELO DE REFERENCIA IEEE 801.16M Y ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS	48
Figura 2.1 Mapeado de las capas de protocolos para un modelo de red OSI	49
Figura 2.2 Modelo de referencia IEEE 802.16	50
Figura 2.3 Modelo de referencia de red genérico IEEE 802.16	52
Figura 2.4 Particionamiento del NCMS IEEE 802.16.....	53
Figura 2.5 Descomposición del sistema de administración y control de red	54
Figura 2.6 Modelo de referencia IEEE 802.16m.....	55
Figura 2.7 La entidad del plano de datos IEEE 802.16m.....	57
Figura 2.8 La entidad del plano de control IEEE 802.16m	59
Figura 2.9 Stack de protocolos general IEEE 802.16m.....	62
Figura 2.10 Un modelo genérico de coexistencia multi-radio.....	65

Figura 2.11 Operación multi-portadora utilizando una instancia MAC simple	67
Figura 2.12 Desglose de la función E-MBS (plano de control)	69
Figura 2.13 Stack de protocolos de plano de usuario	70
Figura 2.14 Stack de protocolos de plano de control	70
Figura 2.15 Estructura de la capa 2 en 3GPP LTE en el downlink	71
Figura 2.16 Estructura de la capa 2 3GPP LTE en el uplink	71
Figura 2.17 Protocolos de procesamiento de datos y señalización en la eNB y UE	75
Figura 2.18 Ubicación de la sub capa de convergencia en la estructura de protocolos IEEE 802.16m	76
Figura 2.19 Sub-capa PDCP y estructura de la PDU PDCP	82
Figura 2.20 Descomposición funcional de entidades PDCP	83
Figura 2.21 Funciones MAC CPS de plano de control IEEE 802.16m.....	86
Figura 2.22 Flujo general de llamadas handover.....	90
Figura 2.23 Ubicación de la sub-capa de seguridad en el stack de protocolos IEEE 802.16m	93
Figura 2.25 El proceso de protección de mensaje de administración IEEE 802.16m	96
Figura 2.26 Ubicación de la capa física en el stack de protocolos IEEE 802.16m	98
Figura 2.27 Capacidad de VoIP, llamadas bidireccionales/Sector/MHz.....	109
CAPITULO 3. ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SERVICIOS WIMAX.....	110
Figura 3.1 Redes LTE en América Latina y el Caribe	118
Figura 3.2 Servicio Móvil Avanzado - Densidad de Servicio	119
Figura 3.3 Participación de cada operadora en el mercado	120
Figura 3.4 Servicio Móvil Avanzado - Internet Móvil.....	121
Figura 3.5 Densidad de líneas activas SMA y curva de regresión extrapolada dos años en el futuro.....	126
Figura 3.6 Densidad de líneas activas SMA.....	127

Figura 3.7 Porcentaje de penetración abonados HSPA+ con respecto al total de abonados del SMA	130
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

CAPITULO 4. FACTIBILIDAD LEGAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WIMAX2 COMO ALTERNATIVA 4G EN ECUADOR 133

Figura 4.1 Porcentaje de Hogares urbanos y rurales con acceso a internet por zona (2008-2012)	146
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Figura 4.2 Densidad de conexiones de banda ancha fija (2011)	147
---------------------------------------------------------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 2. MODELO DE REFERENCIA IEEE 801.16M Y ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS	48
Tabla 2.1 Eficiencia espectral de celda y de usuario en los límites de la celda	105
Tabla 2.2 Bandas de operación de IEEE 802.16m	106
Tabla 2.3 Tasa de datos pico normalizada	107
CAPITULO 3. ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SERVICIOS WIMAX.....	110
Tabla 3.1 Servicio Móvil Avanzado - Densidad del servicio	119
Tabla 3.2 Servicio Móvil Avanzado - Internet Móvil	121
Tabla 3.3 Abonados Claro (Concel) por Tecnología (2010-Actualidad).....	124
Tabla 3.4 Abonados Movistar (Otecel) por Tecnología (2010-Actualidad) (continúa) ...	124
Tabla 3.4 Abonados Movistar (Otecel) por Tecnología (2010-Actualidad).....	125
Tabla 3.5 Abonados CNT E.P. por Tecnología (2010-Actualidad).....	125
Tabla 3.6 Tabla para cálculo de curva de regresión logarítmica.	128
Tabla 3.7 Cálculo de la curva de regresión logarítmica aplicada a la densidad de líneas SMA activas.....	128
Tabla 3.8 Porcentaje de penetración abonados HSPA+ con respecto al total de abonados del servicio móvil avanzado.	129
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
Tabla 5.1 Conclusiones (continúa)	158
Tabla 5.1 Conclusiones.....	159
Tabla 5.2 Recomendaciones	160

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPITULO 3. ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SERVICIOS WIMAX.....	110
Ecuación 3.1 Densidad de desarrollo telefónico	112
Ecuación 3.2 Densidad telefónica según el Método Econométrico	114
Ecuación 3.3 Ecuación de regresión logarítmica para densidad de líneas activas SMA en el período 2008-2013	126
Ecuación 3.4 Forma general de la curva de regresión logarítmica	127
Ecuación 3.5 Cálculo del coeficiente "a" de la forma general de regresión logarítmica ..	127
Ecuación 3.6 Cálculo del coeficiente "b" de la forma general de regresión logarítmica ..	128

RESUMEN

El presente trabajo “Estudio de WiMAX2 (IEEE 802.16m) y la factibilidad de implementación en el Ecuador” tiene como objetivo analizar el estándar IEEE 802.16m y su implementación en nuestro país. Este proyecto está conformado por cinco capítulos desarrollados de la siguiente manera:

El Primer Capítulo trata una breve introducción a la arquitectura de red IEEE 802.16m y las características generales de los sistemas IMT-Advanced. Se tomó en cuenta particularmente aspectos como soporte de movilidad basado en IP móvil, uso eficiente de los recursos de radio gracias a la entidad de Administración de Recurso de Radio, paging, entre otros.

En el Segundo Capítulo el estudio se centra de forma general en el modelo de referencia IEEE 802.16m y su estructura de protocolos. Se analizan algunas de sus entidades del plano de control, el plano de datos, el plano de control, etc. Siguiendo se tiene una revisión rápida de la estructura de protocolos 3GPP LTE LTE-Advanced.

De particular importancia también se explica la sub-capa de convergencia IEEE 802.16m y su función, la clasificación del flujo de servicio, entre otros. Además se incluye una revisión del protocolo de convergencia de paquete de datos 3GPP LTE.

Para finalizar, se tratan aspectos de calidad de servicio, eficiencia espectral de una celda, capacidad de VoIP, frecuencias y anchos de banda de operación.

En el Tercer Capítulo se realiza un estudio de mercado tomando en cuenta la situación de las tecnologías 4G en el mundo, particularmente en América Latina. Se revisan las técnicas utilizadas para el estudio de mercado de telecomunicaciones. Al final se hace un recuento de la situación entre LTE e IEEE 802.16m, la tendencia en uso de ambas tecnologías y algunas razones por las que se está prefiriendo LTE-Advanced sobre IEEE 802.16m.

El Cuarto Capítulo es una revisión de la situación del marco regulatorio en el país, en particular lo correspondiente a tecnologías 4G. También se listan algunas consideraciones a tomar en cuenta para la regulación de tecnología 4G y por último se realiza un repaso de la regulación vigente relacionada con el servicio móvil avanzado, incluyendo el Proyecto de Ley de Telecomunicaciones propuesto en 2011 y en el Plan Nacional para el Buen Vivir.

El Quinto Capítulo contempla las conclusiones y recomendaciones.

PRESENTACIÓN

En nuestro país se ha dado inicio a la actualización de los sistemas del servicio móvil avanzado a plataformas tecnológicas que provean los servicios que serán necesarios dentro de los próximos años. En el transcurso de los últimos años se ha escuchado de varias tecnologías tales como HSPA, LTE, WiMAX, etc. Pero a partir de la última declaración de la Unión Internacional de Telecomunicaciones que declara que las únicas tecnologías 4G reconocidas como tales son 3GPP LTE y WiMAX 2 IEEE 802.16m, se hace necesario un estudio comparativo y su posible aplicación en el Ecuador.

Este cambio conlleva varias transiciones, no sólo a nivel técnico sino también a nivel de mercados, políticas, leyes, entre otros. Para poder continuar con esta evolución, es necesario que tanto empresas operadoras, el Estado, y los profesionales de la rama de las Telecomunicaciones tengan una idea clara del panorama actual y venidero. Se hace requisito indispensable contar con una serie de estudios técnicos, económicos y legales para determinar si es factible empezar a implementar esta clase de redes.

Este trabajo se centra particularmente en una visión global, tanto del estándar IEEE 802.16m y su homólogo LTE-Advanced, mientras que se dejan criterios y observaciones que deberían tratarse en futuros temas de análisis, como por ejemplo una comparación técnica de ambas tecnologías así como lo relacionado al marco regulatorio y sus cambios necesarios que satisfagan tanto los intereses del Estado y su pueblo, de las operadoras, y que brinde un ambiente menos restrictivo legalmente fomentando la libre competencia y el mayor desarrollo de las TIC en el Ecuador.

CAPITULO 1

ARQUITECTURA DE RED WIMAX

1.1 GENERALIDADES

Para hablar del estándar de cuarta generación IEEE 802.16m al igual que su arquitectura y los nuevos estándares 3GPP, es necesario hacer una pequeña introducción a estos sistemas en forma general.

Los Sistemas Avanzados de Telecomunicaciones Móviles Internacionales son sistemas de acceso inalámbrico móvil de difusión que incluyen nuevas características que van más allá de los sistemas IMT-2000. Los sistemas *IMT-Advanced* proveen un marco a nivel global para el desarrollo de nuevas redes de acceso inalámbrico que permiten bajos retardos de tiempo, altas velocidades de transmisión, acceso bidireccional de datos y la difusión inalámbrica de multimedia en forma de nuevas clases de servicios. Todo esto provee una variedad de servicios de telecomunicación móvil a través de una red de acceso/*core* enteramente basada en paquetes. Así mismo, los sistemas IMT-Advanced soportan una amplia gama de aplicaciones que van desde las que tienen poca movilidad hasta las de alta movilidad en un amplio rango de tasas de datos, proporcionales al uso de los modelos y la densidad de usuarios. El desarrollo concerniente a la cuarta generación de tecnologías de interface de radio puede variar desde varias perspectivas, pero tienen algunos puntos en común como los siguientes:

Usuario final:

- Acceso a Internet móvil de forma ubicua;
- Fácil acceso a aplicaciones y servicios de alta calidad a costos razonables;

- Una interface amigable para el usuario;
- Baterías con mayor tiempo de vida;
- Una amplia variedad de terminales de acceso a elegir;
- Políticas de facturación amigables para el usuario;

Proveedor de contenido:

- Facturación flexible;
- Capacidad de adaptar el contenido a los requerimientos del usuario dependiendo del tipo de terminal, la ubicación, movilidad y las preferencias del usuario;
- Acceso a un mercado escalable basado en la similitud de las interfaces de programación de aplicaciones;

Proveedor de Servicio:

- Creación rápida y abierta de servicios, validación y aprovisionamiento;
- Calidad de servicio y administración de seguridad;
- Adaptación automática de servicio como una función de la tasa de transmisión disponible y el tipo de terminal;
- Facturación flexible;

Operador de Red:

- Optimización de los recursos en términos de espectro y equipamiento;
- Calidad de servicio y administración de seguridad;
- Capacidad de proveer servicios diferenciados;
- Configuración flexible de red;
- Costo reducido de terminales y equipo de red basado en economías globales de escala;
- Suave transición desde sistemas heredados a nuevos sistemas;
- Proceso único de autenticación independiente para el acceso a la red;
- Facturación flexible;

Fabricante o Desarrollador de Aplicaciones:

- Costo reducido de terminales y equipo de red basado en economías de escala;
- Acceso a los mercados globales;
- Interfaces lógicas y físicas abierta entre subsistemas modulares e integrados;
- Plataformas programables-configurables que permiten un desarrollo rápido y a bajo costo;

IMT-Advanced va más allá de los estándares anteriores, proveyendo un nuevo marco de lo que podemos definir como “viable” en el campo de las telecomunicaciones [1].

El grupo IEEE 802.16 empezó a desarrollar una enmienda para la línea base de IEEE 802.16 en enero de 2007, como una interface de aire que cumpla con los requerimientos establecidos por la ITU-R con respecto a lo que se denominan tecnologías IMT-Advanced, tal como está establecido en la Recomendación ITU-R M.1645.

El estándar IEEE 802.16m fue pensado para asegurar la competitividad entre sistemas emergentes de cuarta generación, a la vez que se mejoraba las capacidades y cualidades del sistema anterior. Para ello, se tomaron en cuenta las mejoras en los mecanismos de control/señalización, reducción del *overhead*, control del tráfico y cobertura en el límite de las celdas, retardos en la interface de aire, consumo de potencia en los terminales, cabeceras MAC, soporte para FDD, técnicas avanzadas MIMO para un sólo usuario o para múltiples usuarios, mejoras en los servicios basados en localización, auto configuración de redes, etc.

Los requerimientos para IMT-Advanced fueron publicados en el reporte ITU-R M.2134, y fueron la meta a seguir para el estándar IEEE 802.16m. Estos requerimientos son el subconjunto establecido para IEEE 802m, esto hace que dichos requerimientos establecidos por la ITU-R se vuelvan menos restrictivos con respecto a la línea base que se planteó para el desarrollo de este estándar,

además permite que cualquier pequeña mejora que se haga en el proceso cumpla de forma indirecta con los requerimientos establecidos por ITU-R y ser catalogada como una tecnología IMT-Advanced [2].

De esta manera, la propuesta candidata entregada a la ITU-R (802.16m) probó cumplir y exceder los requerimientos para sistemas IMT-Advanced y por ello ser calificada como una tecnología IMT-Advanced.

Una de las diferencias notables con respecto a las enmiendas anteriores, es que para el desarrollo de este estándar se estableció un método unificado para la selección de criterios que inevitablemente convergían siguiendo una línea guía. Se desarrolló, a groso modo, una descripción de la arquitectura RAN y las entidades IEEE 802.16m, lo que estableció un marco para la especificación del estándar.

Para asegurar una suave transición desde el *Release 1.0* de *mobile WiMAX* a la especificación del estándar IEEE 802.16m se tuvo como objetivo una compatibilidad hacia atrás, tal como se hizo en otras tecnologías que siguieron un camino como cdma2000 o WCDMA. En ambos casos, se utilizaron los anteriores protocolos base y se hicieron algunas añadiduras con nuevos protocolos. De esta manera se tienen sistemas que siguen estrictamente los requerimientos necesarios para tener compatibilidad hacia atrás.

Sin embargo, la visión de una compatibilidad hacia atrás y la nueva enmienda resultaron ser totalmente diferentes. A partir de este momento se crea un nuevo sistema que fue desarrollado más o menos desde cero. Un gran número de protocolos heredados de capa física y protocolos MAC fueron reemplazados con nuevos protocolos y funciones que no tienen compatibilidad hacia atrás.

Para que ambas tecnologías (la nueva y la anterior) puedan convivir juntas en una misma portadora de radio frecuencia se necesita multiplicación por división de tiempo o frecuencia en el sistema anterior así como nuevos protocolos en las zonas operando con ambas.

Aunque IEEE 802.16m especifica mecanismos de handover desde y hacia sistemas heredados, los protocolos de handover, mensajes MAC, y *triggers* son

diferentes y requieren un *stack* de protocolos distinto para una implementación dual de ambos sistemas.

Como resultado del desarrollo de IEEE802.16m, así como sus cambios y características, se obtuvo que la eficiencia espectral por celda del nuevo sistema superaba al antiguo, lo que hace posible la futura implementación de una amplia gama de nuevos servicios y aplicaciones de alta calidad y capacidad.

De forma similar, la evolución de 3GPP se encaminó bajo bases estrictas de desarrollo para crear un sistema que pueda cumplir los requerimientos de una tecnología IMT-Advanced. Aquí se ve un paso de UMTS a LTE/LTE-Advanced que es, en muchas formas, similar a IEEE 802.16m en lo que respecta a la percepción del usuario. Así mismo se tratarán a lo largo de este estudio, algunas de las características en común que comparten ambos estándares.

Actualmente, uno de los marcos que se ha tomado como punto de partida para ambos estándares es el uso del protocolo IP para el transporte de cualquier tipo de tráfico, como por ejemplo voz sobre IP (VoIP), video y otros servicios multimedia.

3GPP especificó una arquitectura bastante desarrollada que permite reducir la carga del procesamiento, disminuyendo y simplificando varios componentes, pero principalmente a través del desarrollo de un *handover* compatible con otras tecnologías inalámbricas de acceso fijo, dándoles la capacidad a los operadores de ofrecer una movilidad perfecta entre sistemas.

El mayor objetivo de 3GPP LTE fue minimizar la complejidad del sistema y consecuentemente la complejidad de los equipos que permita una utilización flexible del espectro en las nuevas bandas de frecuencia existentes, así como la coexistencia con tecnologías de acceso inalámbrico 3GPP.

A pesar de que LTE Advanced ha sido reconocida como una tecnología IMT-Advanced. Las operadoras están migrando sus sistemas a tecnologías como

HSPA demostrando que aún no están listas para adoptar un nuevo sistema de acceso inalámbrico. De tal forma que aún se siguen desarrollando enmiendas para estándares como UMTS que permitan alargar la vida actual de las redes basadas en esos sistemas.

Luego de algunos estudios, se concluyó que ambos sistemas (IEEE 802.16m y 3GPP LTE) son muy similares y funcionarán de similar forma bajo las mismas condiciones de operación. Por esta razón, se tratará de forma muy superficial algunos aspectos de LTE que están relacionados con el estándar de WiMAX móvil.

A continuación se procederá a la introducción al estándar IEEE 802.16m, su arquitectura de red y superficialmente algunos aspectos relacionados con 3GPP LTE/LTE Advanced.

1.2 INTRODUCCIÓN A LOS ESTÁNDARES IEEE 802.16

Antes de proceder a revisar los aspectos relacionados con IEEE 802.16m, es necesario hacer una breve reseña de la evolución de los estándares IEEE 802.16 [3].

El Comité de Estándares IEEE LAN/MAN tiene como objetivo desarrollar estándares LAN y MAN, así como protocolos que cubran las capas más bajas del modelo OSI¹ (la capa física y la capa de enlace de datos). IEEE 802 divide la capa de enlace de datos del modelo OSI en dos sub-capas: la sub-capas MAC (Control de Acceso al Medio) y la sub-capas LLC (Control de Enlace Lógico). Dentro del comité se encuentran varios grupos de trabajo que se enfocan en diferentes métodos de difusión por cable y de forma inalámbrica.

¹ El modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) es una descripción abstracta de comunicaciones divididas en capas, y el diseño de protocolos computarizados de red, el cual fue desarrollado como parte de la iniciativa Interconexión de Sistemas Abiertos. El modelo OSI divide la arquitectura de red genérica en siete capas, las mismas que se definen, desde arriba hacia abajo, como: Capa Aplicación, Capa Presentación, Capa Sesión, Capa de Transporte, Capa de Red, Capa de Enlace de Datos y Capa Física.

Para el desarrollo de nuevos estándares, se toman en cuenta cinco criterios referidos a: potencial de mercado, compatibilidad, identidad distintiva, factibilidad técnica y viabilidad económica.

Luego de un proceso que incluye una autorización de pedido de proyecto y una llamada de interés, se selecciona un grupo de estudio para que desarrolle una propuesta y ser aprobada siguiendo los lineamientos de IEEE a través del Comité de Revisión IEEE-SA (Asociación de Estándares de IEEE).

Una vez que dicha propuesta es aprobada, un Task Force o Grupo de Acción es designado para elaborar un borrador del estándar.

A través de varias revisiones y correcciones mediante consenso con el Grupo de Trabajo, se va puliendo el estándar que deberá ser aprobado dentro de un plazo máximo de 5 años luego de la autorización de la propuesta. Así mismo, durante dicho lapso se pueden hacer enmiendas y correcciones. Además, dado el caso de una actualización significativa es posible pedir una revisión del estándar.

Generalmente se busca refinar el estándar para no demorar su aprobación debido a las correcciones.

Una vez que el estándar ha sido aprobado, tiene una vigencia de cinco años a partir de la fecha de aprobación hecha por IEEE-SA Standards Board. Luego de eso, se puede pedir una reafirmación del estándar, demostrando su vigencia para hacerlo válido de nuevo.

Luego del período de vigencia de cinco años, el estándar puede ser revisado (nuevos cambios), reafirmado (demostrando su vigencia) o dado de baja.

El desarrollo de los estándares IEEE 802.16, en conjunto con las enmiendas y revisiones del caso, es responsabilidad del grupo de trabajo IEEE 802.16. Este es miembro del grupo IEEE 802 para Redes Inalámbricas de Área Metropolitana. La Parte 16 en particular: *Interfaz de Aire para Sistemas de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha*. El grupo de trabajo recomienda prácticas para apoyar el desarrollo

y despliegue de sistemas de acceso inalámbrico móvil de banda ancha. Las actividades de IEEE 802.16 iniciaron en agosto de 1998.

El interés inicial del grupo de trabajo se centró en el rango de 10-66 GHz. En marzo del 2000 se aprobó una enmienda para el rango de 2-11 GHz (IEEE 802.16a). Los cambios involucraban principalmente el desarrollo de un nuevo conjunto de especificaciones para la capa física. En adición, se completó el estándar IEEE 802.16a.2, para la coexistencia con la banda de 10-66 GHz, y a través de la enmienda (proyecto IEEE 802.16.2a) expandir sus recomendaciones para incluir la banda licenciada de 2-11 GHz. Las capacidades para el manejo de movilidad fueron añadidas al estándar IEEE 802.16 en diciembre de 2005, cuando el proyecto IEEE 802.16e fue culminado y refinado a través de una serie de enmiendas y correcciones.

De esa forma, los estándares IEEE 802.16 han evolucionado desde la línea de vista (LOS) de tecnología inalámbrica fija de única portadora a No-LOS (NLOS), tecnología inalámbrica de banda ancha móvil de múltiples portadoras durante la última década.

1.2.1 EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES IEEE 802.16

Aunque las enmiendas revisiones y correcciones del estándar IEEE 802.16 han mantenido la esencia de su estándar base, no necesariamente han mantenido la compatibilidad hacia atrás.

Cuando se habla de la evolución de estos estándares, se debe mencionar que a través de las varias versiones, se puede ver una combinación de las varias capas físicas con protocolos de control de acceso al medio del estándar original (como por ejemplo: portadora única y las capas físicas OFDM).

Sin embargo, dependiendo de las capacidades de la capa física se hicieron algunos cambios en los protocolos de la capa de enlace de datos, como handover y esquemas de control de potencia para soportar la movilidad en IEEE 802.16e.

Los principios para los protocolos de la capa de enlace de datos de IEEE 802.16 fueron heredados del estándar DOCSIS², que funcionaron bien en un principio, pero que mostraron problemas con el soporte de movilidad de las versiones posteriores de IEEE 802.16 [4]. De esta manera, los estándares 802.16 no mantienen necesariamente compatibilidad hacia atrás.

Para propósito de este estudio, interesa el estándar IEEE 802.16-2009 que es la segunda revisión del estándar IEEE 802.16. Esta revisión es la que servirá de base al estándar IEEE 802.16m.

El estándar IEEE 802.16-2009 contiene algunas características relativas a IEEE 802.16e-2005, incluyendo duplexación por división de frecuencias (FDD) habilitación de modo y arreglo de errores, operación de terminal con half-dúplex FDD, programación persistente, soporte de ancho de banda de 20 MHz, transmisión multi-antena y esquemas mejorados de procesamiento, ampliación de servicios multicast y broadcast, coexistencia multi-radio, servicios basados en la ubicación así como balanceo de carga. También mejoras en la capacidad VoIP y menor latencia de transmisión en el enlace de aire.

Desde enero de 2007, el Grupo de Trabajo IEEE 802.16 se ha embarcado en el desarrollo de una nueva enmienda del estándar IEEE 802.16 (el estándar IEEE 802.16m) como una avanzada interfaz de aire que cumpla con los requerimientos de ITU-R/IMT-Advanced para sistemas 4G, y de Redes móviles de Próxima Generación³. Dependiendo de la disponibilidad de ancho de banda y del modo multi-antena, los sistemas IEEE 802.16m serán capaces de tasas de transferencia

² Especificación de la Interfaz de Servicio de Datos sobre Cable (DOCSIS) es un estándar internacional que define los requerimientos de la interfaz para un sistema de datos por cable. Permite la transferencia de datos a alta velocidad sobre un sistema de televisión por cable existente. Es empleado por varios operadores de televisión por cable para proveer acceso a Internet sobre su fibra híbrida existente o infraestructura coaxial.

³ Una Red de Próxima Generación (NGN) es una red de acceso por conmutación de paquetes, capaz de proveer servicios de telecomunicación a través del uso de múltiples anchos de banda, tecnologías de transporte con QoS habilitado en las que las funciones relacionadas con el servicio son independientes de las tecnologías de transporte subyacentes. Estas redes ofrecen acceso sin restricciones para los usuarios hacia diferentes proveedores de servicio. Soporta movilidad generalizada, lo cual permite una provisión consistente y ubicua de servicios para los usuarios.

de datos sobre aire de más de 1 Gbit/seg y soporte de un amplio rango de servicios y aplicaciones basados en IP de alta calidad y alta capacidad, a la vez que se mantiene una compatibilidad con los sistemas WiMAX móviles existentes.

1.3 ARQUITECTURA DE RED WIMAX

Es importante aclarar que el estándar base para IEEE 802.16m, sólo define protocolos para las capas física y de acceso al medio. Al disponer de otras entidades tales como IETF (Internet Engineering Task Force o en español Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet), no necesita de una estructura de protocolos para tecnologías celulares dada su naturaleza.

Con el fin de crear el estándar, vendedores y operadores han establecido grupos de industria adicionales para que desarrollen modelos de referencia de red estándar que sirvan para interfaces de red abiertas. Entre estos grupos se tiene El Grupo de Trabajo de Red del Foro WiMAX que se ha enfocado en la creación de especificaciones de red de alto nivel para sistemas WiMAX nómadas, portátiles y móviles más allá de lo que se definen en los estándares IEEE 802.16 [5].

La arquitectura de red WiMAX es no-jerárquica en un marco de “todo IP” de extremo a extremo, para sistemas móviles basados en el uso máximo de protocolos IP estándar no propietarios.

Una característica distintiva de la arquitectura de red WiMAX es el desacoplamiento de acceso, conectividad, y redes de servicio que permiten una combinación de implementaciones multi-vendedor de entidades físicas de red mientras cumplan con los protocolos normativos y procedimientos de cruce de interfaces aplicables en la especificación de red WiMAX.

1.3.1 PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED WIMAX

A continuación se describirán los principios en los cuales se basan todos los *Releases* de la arquitectura de red WiMAX [3].

La arquitectura y el modelo de referencia de red (NRM) dan cabida a todos los modelos de uso provistos por los sistemas WiMAX. La arquitectura del estándar IEEE 802.16 está basada en la conmutación de paquetes, así como el uso de los apropiados protocolos IETF y estándares IEEE Ethernet, lo que permite el desacoplamiento del acceso a la red, conectividad IP de las entidades correspondientes, así como permitir que los elementos de red de la Red de Servicio de Conectividad (CSN) sean agnósticos⁴ a la interfaz de aire IEEE 802.16.

La arquitectura, incluyendo los elementos e interfaces de red, se basa en principios de descomposición funcional, es decir, la descomposición de características en entidades funcionales a lo largo de puntos de referencia de interoperabilidad sin suposiciones específicas de implementación.

Algunas opciones de implementaciones que ofrecen un marco modular y flexible como este son:

- Redes escalables WiMAX;
- Diversos medios de propagación de radio, tales como el urbano, sub-urbano, rural;
- Topologías de red jerárquicas, no- jerárquicas o en malla, así como sus variantes;
- Coexistencia de modelos de uso fijo, nómada, portátil y móvil;
- Interworking e integración con redes de *core* no-WiMAX, como las 3GPP, etc.;

La arquitectura de red WiMAX soporta el acceso a servicios del operador a través de funciones y especificaciones abiertas de interworking, y puntos de referencia estándar entre varios grupos de entidades funcionales de red, en particular, entre una estación móvil (MS), Redes de Servicio de Acceso (ASN), y Redes de Servicio de Conectividad (CSNs), para permitir la interoperabilidad multi-

⁴ Los servicios de conectividad agnósticos, y el acceso agnóstico se refiere a la capacidad de una red de tener una variedad de dispositivos conectados a través de diferentes tecnologías.

vendedor. Es suficientemente flexible para acomodar futuras expansiones/extensiones al conjunto de estándares IEEE 802.16.

Esta arquitectura de red soporta caminos de evolución entre varios modelos de utilización sujetos a suposiciones y restricciones técnicas razonables. Esto no descarta implementaciones multi-vendedor basadas en diferentes combinaciones de entidades funcionales de red mientras las mismas cumplan con los procedimientos y protocolos normativos a lo largo de puntos de referencia aplicables. El diseño estructural soporta un modelo de uso simple en el que un solo operador puede desplegar una ASN junto con un limitado conjunto de funciones CSN para que, de esa forma, pueda ofrecer acceso básico a Internet sin consideración de roaming o interworking.

Los requerimientos para la arquitectura de redes WiMAX móviles en cuanto al diseño de servicio y aplicación son:

1. Soporte de servicios de voz y multimedia, así como otros servicios obligados por la regulación tales como servicios de emergencia e interceptación legal;
2. Posibilitar el acceso a una variedad de redes ASP (Proveedoras de Servicios de Aplicación) independientes;
3. Soporte de comunicaciones móviles usando VoIP en escenarios aplicables de roaming, mayor soporte de la definición de políticas inter-operador, distribución y reforzamiento necesarios para las comunicaciones por voz;

La arquitectura soporta las siguientes capacidades:

- a. Administración de recursos basados en SLA para suscriptores;
 - b. Múltiples sesiones de voz para un suscriptor en particular;
 - c. Sesiones simultáneas de voz y datos;
 - d. Priorización de llamadas de emergencia por voz y alta prioridad para sesiones de datos;
4. Interface con varios gateways interworking y de medios que permiten la entrega de servicios heredados sobre IP a redes de acceso WiMAX;
 5. Soporte de entrada de servicios IP broadcast y multicast sobre redes de acceso WiMAX;

En cuanto a la seguridad, se requiere:

1. Un marco de seguridad que sea agnóstico al tipo de operador y topología ASN, y que se aplique constantemente a lo largo de redes WiMAX móvil y los modelos de despliegue interworking y los escenarios de utilización;
2. Que la arquitectura soporte una autenticación robusta del MS basada en el marco de seguridad de los estándares IEEE 802.16;
3. Una MS que sea capaz de soportar todos los mecanismos de autenticación comúnmente desplegados y la autenticación en escenarios dentro y fuera de casa basado en un marco de autenticación consistente y flexible. Además, que una MS sea capaz de seleccionar entre varios métodos de autenticación basado en el tipo de NSP (Proveedor de Redes de Servicio);
4. Integridad de datos, protección de contestación y confidencialidad usando longitudes aplicables de claves dentro del acceso WiMAX;
5. El uso de inicio y terminación de mecanismos seguridad del MS tales como VPNs (Redes Virtuales Privadas);
6. Estándares de mecanismos seguros de administración de direcciones IP entre la MS y su NSP local o extranjero;
7. Que se garantice la privacidad de la MS y los estados específicos del host, tales como estado de autenticación, configuración IP del host y aprovisionamiento de servicio;
8. Que las comunicaciones grupales se limiten exclusivamente a una membresía de grupo autorizada.

Consideraciones de diseño de movilidad y handover:

1. Handovers inter-tecnología, como por ejemplo Wi-Fi, 3GPP, y 3GPP2, cuando dicha capacidad sea habilitada;
2. Administración de movilidad basada en IPv4 e IPv6 se considera en el diseño de referencia de red. Además, las redes WiMAX soportan una MS con múltiples direcciones IP y conexiones IPv4 e IPv6 simultáneas;
3. El diseño de red no descarta roaming entre NSPs. Esto permite que una simple NAP sirva a varias MSs usando diferentes dominios IP públicos y

privados de propiedad de diferentes NSPs. La NSP puede ser uno o un grupo de operadores;

4. El handover robusto y perfecto en diferentes condiciones de movilidad del usuario sean apoyados por configuraciones dinámicas y estáticas de direcciones;
5. La red WiMAX permita asignación dinámica del agente principal de IP móvil (*Home Agent* o HA) en la red del proveedor de servicios como una forma de optimización de enrutamiento, así como dentro de la red doméstica (home) IP como una forma de balanceo de carga;
6. La arquitectura permita asignación dinámica del HA en CSN Home (H-CSN) o CSN Visited (V-CSN) basado en políticas.

Las consideraciones de Calidad de Servicio (QoS) para operación de red son:

1. El diseño de red debe soportar niveles diferenciados de QoS, control de admisión⁵ y asignación de ancho de banda para poder soportar con flexibilidad usos simultáneos de un conjunto diverso de servicios IP;
2. Los protocolos de red dan soporte a la implementación de políticas como se definen por varios operadores para QoS basados en sus SLAs, incluyendo reforzamiento de la política por usuario y grupo de usuarios, etc., en el que las políticas de Calidad de Servicio podrían coordinarse entre operadores dependiendo del SLA del suscriptor;
3. El diseño de referencia emplea mecanismos IETF estándar para definición de administración de políticas y reforzamiento de políticas entre operadores.

Otras consideraciones para operación de red que incluyen escalabilidad, extensibilidad, cobertura, etc., pueden resumirse de la siguiente forma:

⁵ Control de admisión es la capacidad de admitir o controlar la admisión de un usuario a la red, basado en el perfil de servicio del usuario y los parámetros de desempeño de la red, tales como carga instantánea y retraso promedio. Nótese que el control de admisión se implementa para asegurar la calidad de servicio y es diferente de la autenticación y la autorización, las cuales también son utilizadas para admitir o denegar el acceso a la red.

La arquitectura permite que un usuario seleccione automática o manualmente NAPs y NSPs. También permite que los diseños de los sistemas CSN y ASN crezcan o disminuyan en términos de cobertura, rango o capacidad mientras acomoda una variedad de diseños ASN. Esto facilita aún más una variedad de enlaces *backhaul*, por cable o inalámbricos con características diferentes de latencia y *throughput*, así como un incremento en el despliegue de la infraestructura. La red WiMAX soporta el despliegue por fases de servicios IP en escala, incrementando el número de usuarios activos y los servicios IP simultáneos por usuario.

La arquitectura soporta la integración de estaciones base de cobertura y capacidad variables, como por ejemplo, estaciones base pico, micro y macro, que permite la descomposición e integración flexible de las funciones ASN en los despliegues de una red ASN, para poder permitir el uso de esquemas de balanceo de carga para el uso eficiente del espectro de radio y de recursos de red. Inter-working es soportado basado en estándares IETF y conjuntos de protocolos IEEE con redes inalámbricas existentes (como las 3GPP y 3GPP2) o redes cableadas (como DSL).

La red WiMAX soporta roaming global entre redes operadoras WiMAX, incluyendo el soporte para reutilización de credenciales, consistente con el uso de protocolos AAA (Autenticación, Autorización y Contabilización) para la contabilización y recargo, facturación consolidada/común y convenio. Una variedad de formatos de credenciales de autenticación, tales como nombre de usuario/contraseña; certificados digitales, Módulo de Identidad de Suscriptor (SIM), Universal SIM (USIM), y Módulo Removible de Identidad de Usuario (RUIM) tienen soporte.

Los protocolos de red dan cabida al uso de compresión/supresión de la cabecera y/o compresión del *área de datos* para el uso eficiente de los recursos de radio WiMAX. La arquitectura soporta mecanismos que ayudan al cumplimiento máximo posible y al rápido re-establecimiento del QoS de los SLAs debido a problemas de handover.

La red soporta interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes dentro de una ASN y entre ASNs. Tal interoperabilidad incluye interoperabilidad entre la BS y equipo de backhaul dentro de una ASN, entre varios elementos de la ASN (posiblemente de diferentes fabricantes) y la CSN con mínima o sin degradación de funcionalidad o capacidad de la ASN.

El estándar IEEE 802.16-2009 define múltiples sub-capas de convergencia. La arquitectura de red soporta además los siguientes tipos de sub-capas de convergencia (CS): Ethernet CS e IPv4/IPv6 sobre Ethernet CS; IPv4 CS; e IPv6 CS.

1.3.2 MODELO DE REFERENCIA DE RED

El Modelo de Referencia de Red (*Network Reference Model*) es una representación lógica de la arquitectura de red. El NRM identifica entidades funcionales y puntos de referencia sobre los cuales se ha de alcanzar la interoperabilidad [6].

En la Figura 1.1 se describen algunos de sus elementos y la forma en la que se relacionan unos con otros.

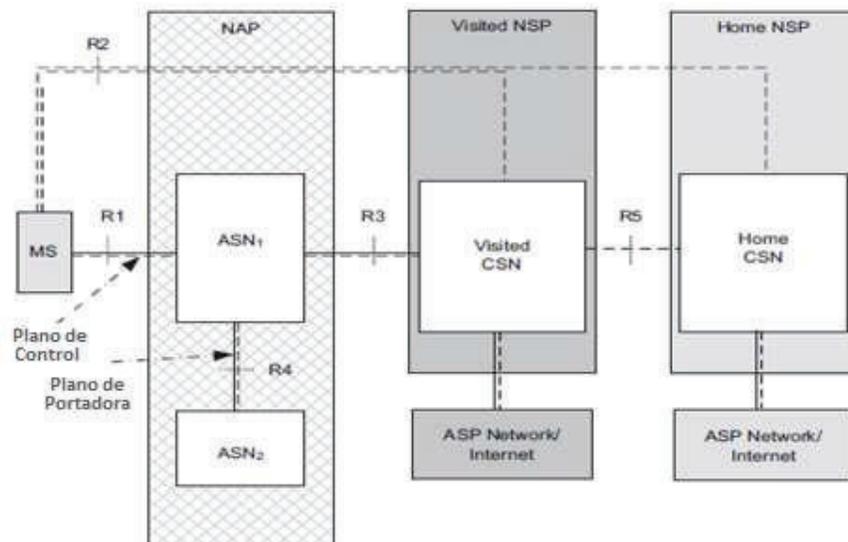


Figura 1.1 El modelo de referencia de red WiMAX⁶

⁶ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

Un NRM consiste en las entidades lógicas: MS (estación móvil), ASN y CSN y también de 8 interfaces que son puntos normativos de referencia (RP).

Cada entidad MS, ASN y CSN representa un grupo de funciones. Cada función puede ser realizada en un ente físico o entre varios. El NRM se usa para asegurar la interoperabilidad entre las diferentes implementaciones de entidades funcionales dentro de la red. Dicha interoperabilidad se verifica en base a la definición de interfaces lógicas para alcanzar una funcionalidad de extremo a extremo, como la seguridad o la administración de movilidad.

Así, los entes funcionales a ambos extremos de un punto de referencia, representan una colección de puntos finales de control o del plano de comunicaciones/multimedia.

La estación móvil (MS) es un dispositivo de comunicación que provee conectividad por radio entre el usuario final y la estación base WiMAX (BS) que cumple con los perfiles móviles de sistema del Foro WiMAX.

1.3.2.1 La ASN

La ASN (Red de Servicio de Acceso) se define como un conjunto completo de funciones de red requeridos para proveer acceso a un terminal, tales como:

- Conectividad capa 2 con la MS;
- Transferencia de mensajes AAA al suscriptor para autenticación, autorización y contabilización;
- Exploración y selección de la red NSP preferida por el suscriptor;
- Funcionalidad de relevo para establecer conectividad capa 3 o asignación de dirección IP a una MS;
- RRM (Administración del Recurso de Radio);
- Para el soporte de movilidad mantener el anclaje, o sujeción de movilidad ASN y CSN, paging, estado de reposo y tunelización⁷ ASN-CSN.

⁷ Tunelización se refiere al mecanismo que permite desarticular redes de paquetes para intercambiar datos o paquetes a través de redes intermedias, mientras se ocultan/disimulan los detalles de los protocolos de las redes intermediarias. La tunelización se implementa genéricamente al encapsular un protocolo de red de extremo a extremo dentro de los payloads que son transportados originalmente sobre las redes intermediarias. Tunelización también es referido alternativamente como “encapsulamiento”.

La ASN consta de una o más estaciones base, y de uno o más Gateways (ASN-GW). También puede ser compartida por más de una CSN (Red de Servicio de Conectividad). La CSN se define como un set de funciones que proveen conectividad IP a usuarios terminales.

La descomposición funcional de la ASN se muestra en la Figura 1.2. Dentro de una ASN, una BS puede estar conectada a más de un ASN-GW para diferentes MSs, pero para una MS dada, la BS está conectada a un solo ASN-GW.

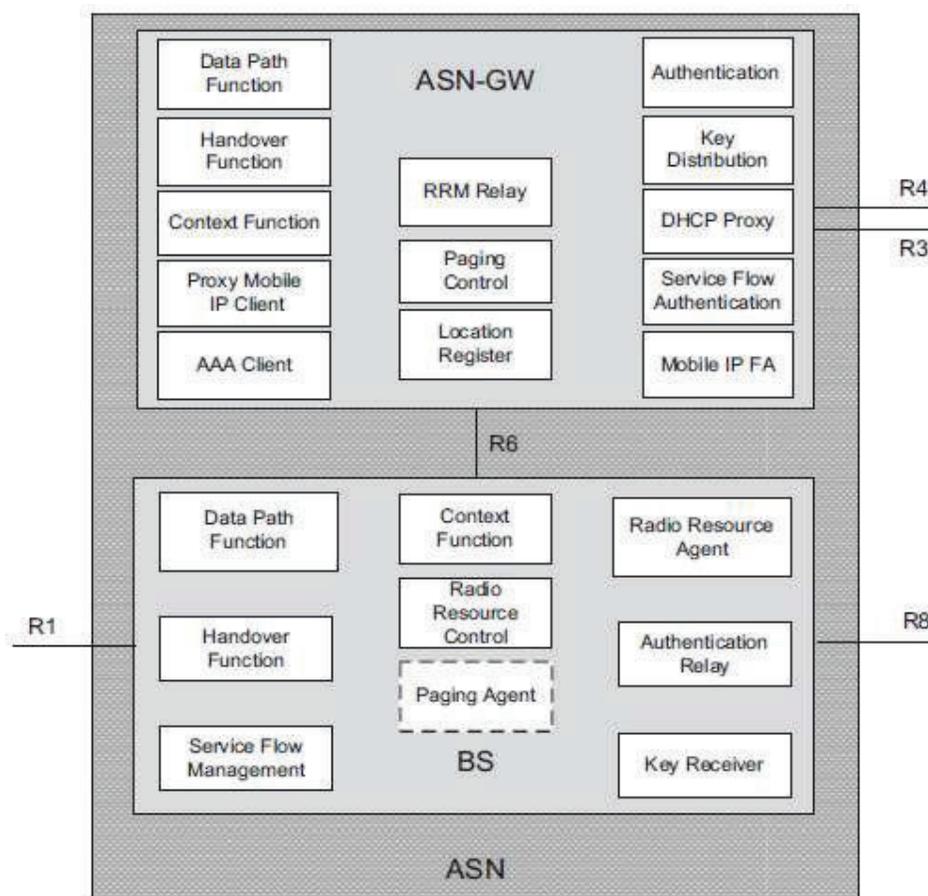


Figura 1.2 Descomposición funcional del ASN⁸

Una ASN comparte puntos de referencia R1, R3 y R4 con una MS, una CSN y con otra ASN respectivamente.

⁸ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

Una BS está conectada lógicamente a uno o más ASN-GWs. El punto de referencia R4 provee control y planos de comunicaciones para interconexión e interoperabilidad entre ASNs similares o heterogéneas. Cuando una ASN está compuesta de múltiples ASN-GWs, la movilidad intra ASN podría involucrar mensajes de control R4 y establecimiento de un plano de comunicaciones.

1.3.2.2 Puerta de Enlace de la Red de Servicio de Acceso (ASN-GW)

Las estaciones base conectadas al mismo ASN-GW (Access Service Network-Gateway) se conectan a través del punto de referencia R8. Además, las estaciones base dentro de un grupo de ASN-GW se conectan separadamente al ASN-GW a través del punto de referencia R6, como se muestra en la Figura 1.3.

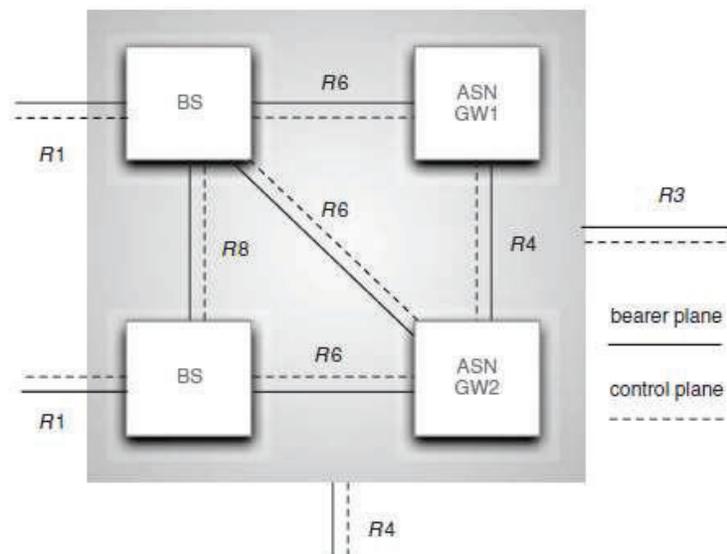


Figura 1.3 Modelo de referencia del ASN conteniendo múltiples ASN-GW⁹

La estación base es una entidad lógica que implementa un conjunto completo de protocolos de capa de Control de Acceso al Medio (MAC) y Capa Física (PHY) como se especifica en el estándar IEEE 802.16-2009 e incluyen una o más funciones de acceso. Una BS representa un sector con una asignación de

⁹ WiMAX Security and Quality of Service - An End-To-End perspective. Primera edición. John Wiley & Sons Ltd. 2010.

frecuencia, incorpora funciones de programación para los recursos de radio *uplink* y *downlink*, los cuales son típicamente especificados por el vendedor.

El ASN-GW es una entidad lógica que representa una agrupación de funciones de control que no están emparejadas con una función correspondiente en la ASN, una función residente en la CSN o una en cualquier otra ASN. Permite además realizar el enrutamiento en plano de comunicaciones o funciones de puenteo. Una BS se asocia con un ASN-GW por defecto, sin embargo, las funciones de la última podrían estar distribuidas entre varios ASN-GW localizadas en una o más ASNs.

Las funciones ASN en un ASN-GW pueden dividirse en dos grupos: la función de Punto de decisión (DP) y la de Punto de Cumplimiento (EP). La categoría EP incluye funciones de plano de comunicaciones, y la DP incluye funciones de plano de control. Si se da esta separación en un ASN-GW, ambos grupos funcionales son interconectados usando el punto de referencia R7.

1.3.2.3 Puntos de referencia

Un punto de referencia (RP) es una interfaz lógica entre dos grupos de funciones o protocolos. Todos los protocolos asociados con un RP se originan y terminan en diferentes entidades funcionales. Un punto de referencia sólo se convierte en una interfaz física cuando las entidades funcionales en cualquiera de sus extremos están contenidas dentro de diferentes módulos físicos [7].

Punto de Referencia R1

Consiste en los procedimientos y protocolos sobre la interfaz de aire entre el MS y ASN como se especifica en el estándar IEEE 802.16-2009 y el perfil de sistema WiMAX móvil. Además incluye protocolos adicionales relacionados al plano de administración.

Punto de Referencia R2

Es un punto de referencia lógico (no una interfaz directa de protocolos) entre la MS y CSN. Consiste en protocolos y procedimientos entre la MS y CSN asociados

con autenticación, autorización y administración de la configuración de la IP del host. Los protocolos de autenticación en el punto de referencia R2 trabajan entre la MS y CSN, y son administrados por el NSP de origen; sin embargo, bajo ciertas condiciones, las ASN y CSN operados por el NSP de visita pueden procesar estos protocolos. El punto de referencia podría soportar administración de configuración del IP del host ejecutándose entre la MS y la CSN.

Punto de Referencia R3

Consiste de un conjunto de protocolos de plano de control entre la ASN y CSN para soportar AAA, cumplimiento de políticas, y capacidades de administración de movilidad. También abarcan los protocolos de plano de comunicaciones, incluyendo tunelización para la transferencia de datos de usuario entre la ASN y la CSN.

Punto de Referencia R4

Comprende un conjunto de protocolos de control y de plano de información originados y/o terminados en varias entidades funcionales de un ASN, que coordinan la movilidad de la MS entre las ASNs y ASN-GWs garantizando la interoperabilidad entre ASNs similares o heterogéneas.

Punto de Referencia R5

Consiste de un conjunto de protocolos de control y plano de comunicaciones para el inter-networking entre la CSN operada por el NSP local, o por un NSP de visita.

Punto de Referencia R6

Al igual que los anteriores, comprende un conjunto de protocolos de control y plano de información entre la BS y la ASN-GW dentro de una ASN simple. El plano portador consiste de transferencia de datos intra-ASN entre la BS y el ASN-GW. El plano de control también incluye protocolos para el establecimiento del plano de datos, modificación y liberación de control correspondientes a la movilidad del MS.

Punto de Referencia R7

Esta interfaz lógica comprende un conjunto de protocolos de plano de portadora y control tales como AAA y la coordinación de políticas en el ASN-GW, así como otros protocolos para la coordinación entre los dos grupos de funciones identificados en R6. Este punto de referencia ha sido removido de la arquitectura de red WiMAX móvil en el *Release 1.5*.

Punto de Referencia R8

El punto de referencia R8 dentro de una ASN consiste en un conjunto de mensajes de control intercambiados entre las estaciones base para garantizar un handover rápido y sin contratiempos. El plano de control consiste del protocolo de comunicación inter-BS consistente con el estándar IEEE 802.16-2009 y el perfil de sistema de WiMAX móvil, así como protocolos adicionales para envío de mensaje entre estaciones base.

1.3.2.4 Red de Servicio de Conectividad (CSN)

La Red de Servicio de Conectividad se define como un conjunto de funciones de red que proveen conectividad IP a los usuarios terminales. Una CSN puede proveer las siguientes funciones:

- Dirección IP a la MS y parámetros de localización de extremo final para sesiones de usuario;
- Acceso a Internet;
- Servidor/Proxy AAA;
- Política de control de admisión basado en perfiles de usuario;
- Soporte de tunelización ASN-CSN;
- Facturación del abonado;
- Tunelización inter-CSN para roaming;
- Administración de movilidad inter-ASN y agente de funcionalidad IP home móvil;
- Servicios de red tales como conectividad para servicios *peer-to-peer*, aprovisionamiento, autorización y/o conectividad a servicios IP multimedia, y habilitar la interceptación legal;

- Conectividad a Internet y servicios administrados tales como el Subsistema de IP Multimedia (IMS¹⁰), Servicios Basados en la Ubicación (LBS¹¹), Servicios de Multicast y Broadcast (MBS), etc.;
- Activación y aprovisionamiento sobre-aire para terminales WiMAX móviles;

Además, la CSN puede englobar los elementos de red tales como *routers*, servidores/proxy AAA, bases de datos de usuarios, y funciones de interworking.

El modelo de referencia de la CSM se presenta en la Figura 1.4.

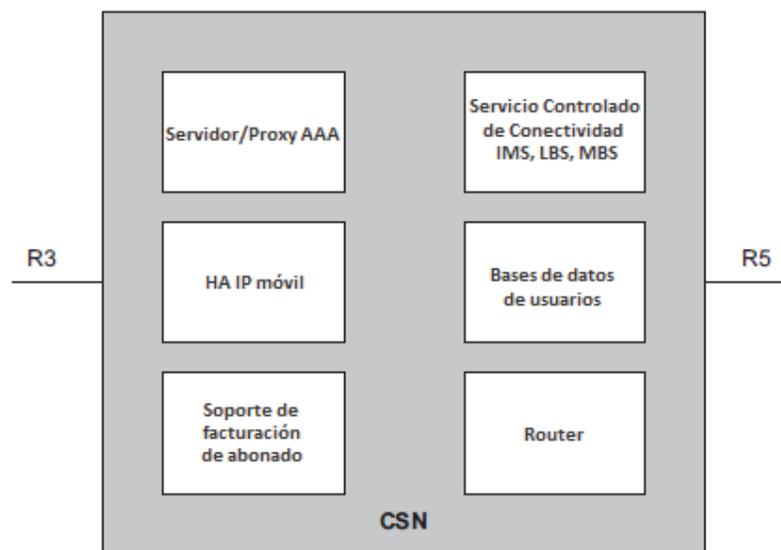


Figura 1.4 Modelo de referencia de la CSN¹²

1.3.3 AUTENTICACIÓN, AUTORIZACIÓN Y CONTABILIZACIÓN (AAA)

AAA se refiere a un esquema basado en protocolos IETF, el Servicio Remoto Dial-in de Autenticación de Usuario (RADIUS) o Diameter, los cuales especifican los procedimientos para autenticación, autorización y contabilización asociados con los servicios suscritos del usuario terminal entre diferentes tecnologías de acceso [3].

¹⁰ IMS es una arquitectura para la entrega de servicios IP multimedia.

¹¹ Un servicio basado en la ubicación es un servicio provisto al suscriptor basado en la actual localización geográfica de la estación móvil.

¹² Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

Incluye mecanismos para el intercambio y distribución seguros de credenciales de autenticación y claves de sesión para encriptación de datos.

Entre los servicios que ofrece tenemos:

- Autenticación incluyendo al dispositivo, usuario o la combinación de ambos;
- Autorización incluyendo la entrega de información para configurar la sesión para acceso, movilidad, QoS y otras aplicaciones;
- Contabilización incluyendo la entrega de información de facturación y otra información que puede usarse para auditar la actividad de sesiones por el H-NSP y el V-NSP;

El esquema AAA soporta roaming global entre operadoras, incluyendo soporte para la reutilización de credenciales y el uso consistente de autorización y contabilización. Además soporta roaming entre la H-NSP y la V-NSP.

Este marco se basa en el uso de RADIUS o Diameter en la ASN y CSN. Da cabida a la administración de Seguridad (SA) de IPv4 móvil e IPv6 móvil. También a varios escenarios de red para sistemas fijos o con movilidad completa.

AAA provee el soporte para el despliegue de autorización a la MS, autenticación de usuario y autenticación mutua entre la MS y la NSP, basado en la Administración de la Clave de Seguridad (PKMv2¹³).

AAA soporta mecanismos de autenticación basados en el Protocolo de Autenticación Extensible (EAP) que incluye contraseñas, módulo de identidad de suscriptor, módulo universal de identidad de suscriptor, tarjeta universal de circuito integrado, módulo removible de identidad de usuario, y certificados X.509 digital, con lo que se garantiza la interoperabilidad. Es capaz de proveer a la V-CSN (CSN visitada) o a la ASN con un identificador temporal que representa al usuario sin revelar la identidad del mismo.

¹³ El protocolo PKM es un modelo cliente/servidor entre la estación base y la estación móvil, que es utilizado para asegurar la distribución del material para las claves.

El NAP podría desplegar un proxy AAA entre dos NASs (Estratos de No-Acceso) en una ASN y el AAA en la CSN para poder proveer seguridad y manejabilidad mejoradas. El proxy AAA también permitiría que el NAP regule los atributos AAA recibidos desde la CSN de visita, y añadir atributos adicionales que podrían ser requeridos por los NASs en la ASN.

1.3.4 IP MÓVIL

El soporte de movilidad dentro de una arquitectura de red WiMAX se basa en el esquema IP móvil. IP móvil es un protocolo IETF que permite a los usuarios móviles moverse desde una red a otra mientras mantienen sus direcciones IP. Este protocolo permite un enrutamiento transparente de datagramas IP en Internet. Cuando se está lejos de la red local, un nodo móvil se asocia con una dirección dinámica, lo cual provee información acerca de su ubicación actual. El protocolo IP móvil especifica de qué forma un nodo móvil registra con su Home Agent (HA) y de cómo el mismo envía los datagramas al nodo móvil a través de un túnel. Usando IP móvil, los nodos pueden cambiar su punto de acoplamiento al Internet sin cambiar sus direcciones IP, permitiendo que los protocolos de capa aplicación y transporte mantenga a la perfección una conexión mientras se traslada [8]. Las características generales de IP móvil se pueden resumir en:

- Transparencia de la movilidad del usuario a los protocolos de capa de transporte y aplicación;
- Interoperabilidad con hosts estacionarios ejecutando protocolos IP convencionales;
- Escalabilidad en toda la Internet;
- Seguridad para la prevención de que un atacante se haga pasar por un host móvil;
- Macro movilidad al garantizar una conexión a largo plazo mientras se está lejos del HA.

La movilidad del nodo se realiza sin propagar rutas específicas a través de Internet. Cada dispositivo móvil tiene dos direcciones, una primaria o permanente

para la red propia, y una secundaria o temporal de consideración, la misma que se asocia con la red para indicar que dicho nodo está de visita.

En IP móvil se tiene dos tipos de entes:

- Un HA que almacena la información acerca de los nodos móviles cuyas direcciones permanentes se encuentran dentro de la red de origen
- Un agente externo o *foreign agent* (FA) el cual almacena la información acerca de los nodos móviles que visitan su red. Los agentes externos también anuncian las direcciones dinámicas.

Un nodo que desea comunicarse con el nodo móvil utiliza la dirección permanente de origen del nodo móvil como dirección de destino para los paquetes de salida. Ya que la dirección primaria corresponde lógicamente a la red asociada con el HA, los mecanismos convencionales de enrutamiento IP envían dichos paquetes al HA. En lugar de enviarlos al destino que está físicamente dentro de la misma red que el home agent, el HA re-direcciona estos paquetes hacia un agente externo. El HA busca las direcciones a considerar en una tabla de movilidad vinculante, y luego tuneliza los paquetes hacia la dirección dinámica del nodo móvil al anexar una nueva cabecera IP al paquete IP original. Lo cual preserva la cabecera IP original. Los paquetes son detectados en el final del túnel al remover la cabecera IP añadida por el home agent y son entregados al nodo móvil.

El nodo móvil envía directamente los paquetes a otro nodo de comunicación a través de un agente externo sin la participación del home agent, usando su dirección permanente como dirección fuente para los paquetes IP, es decir, un enrutamiento triangular. El agente externo puede utilizar tunelización inversa al enviar los paquetes del nodo móvil al HA, el cual los envía al nodo de comunicación. Este mecanismo es necesario en redes cuyos routers Gateway tienen habilitado el filtrado de ingreso, y de ahí que la dirección IP de la fuente del host móvil necesita pertenecer a la subred de la red ajena; de otra forma, los paquetes sería descartados por el router.

El protocolo IP móvil define un procedimiento de registro autenticado a través de lo cual un nodo móvil informa a su home agent de su dirección de consideración,

el descubrimiento del router (lo que permite a los nodos móviles explorar eventuales HAs y agentes externos), y las reglas del enrutamiento de paquetes hacia y desde los nodos móviles, incluyendo la especificación de un mecanismo de tunelización obligatorio y varios opcionales.

La Figura 1.5 representa el stack de protocolos para la Sub-Capa de Convergencia IP (IP CS), una capa de protocolos que proveen una interfaz entre la MAC IEEE 802.16-2009 con una capa de red sobre el plano de datos, con una ASN enrutada.

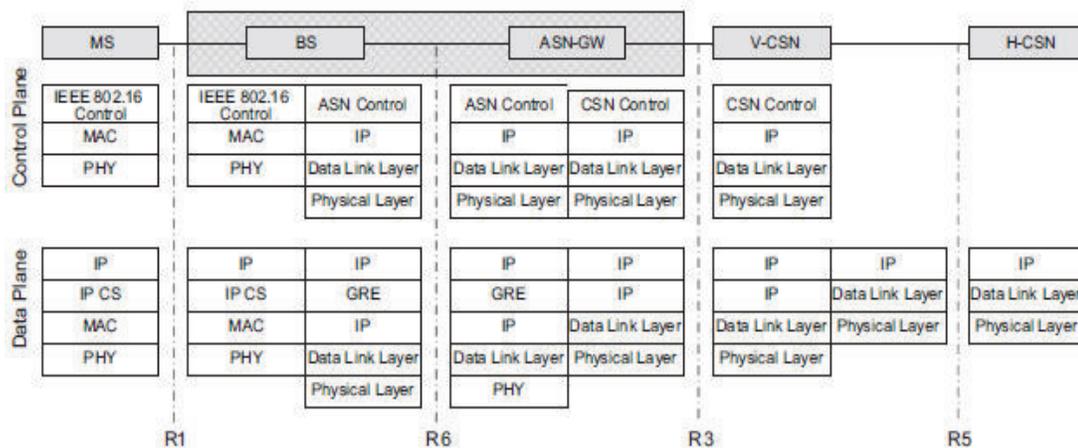


Figura 1.5 Stack de protocolos para la sub-capa de convergencia IP con ASN enrutada¹⁴

El enrutamiento sobre la ASN se realiza usando protocolos de encapsulamiento IP-in-IP tales como Encapsulamiento Genérico de Enrutamiento (GRE). El GRE es un protocolo de tunelización que puede encapsular diferentes tipos de protocolos de paquetes de capa de red dentro de túneles IP, creando un enlace virtual punto a punto hacia los routers en puntos remotos sobre una red IP. La tunelización IP es un método para conectar dos redes IP inconexas sin caminos nativos de enrutamiento entre sí a través de un canal de comunicación, es decir, un túnel IP, el cual utiliza técnicas de encapsulamiento entre una red

¹⁴ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

intermediaria. En la tunelización IP, cada paquete IP con su dirección de red IP de fuente y destino se encapsula dentro de otro formato de paquete propio de la red de tránsito.

Para poder mantener una sesión IP cuando las direcciones IP cambian debido a la movilidad, pueden usarse los protocolos Cliente IP Móvil (CMIP) definidos por la IETF. CMIP permite que un terminal móvil mantenga su conexión de transporte y que continúe siendo alcanzable mientras se mueve a lo largo de una red. También provee una movilidad de capa IP entre diferentes tecnologías de acceso. Esto sería bastante atractivo para operadores móviles operando redes de acceso por radio de diferentes tipos, tales como WiMAX móvil o 3GPP Long Term Evolution (LTE), etc.

Aunque CMIP garantiza movilidad sin problemas para la sesión IP, introduce algunas desventajas tales como *overhead* de señalización sobre la interfaz de aire y complejidad adicional en la MS para soportar los protocolos IP de movilidad del cliente [9].

El Proxy IP Móvil (PMIP) definido por la IETF, es un esquema de administración de movilidad basado en la red, fue introducido para eliminar el *overhead* de señalización y reducir el costo/complejidad, así como eliminar el requerimiento para que una red cambie direcciones IP cuando el nodo móvil cambia a un nuevo enrutador.

La arquitectura de red WiMAX brinda soporte a ambos esquemas de movilidad (CMIP y PMIP).

1.3.5 ADMINISTRACIÓN DEL RECURSO DE RADIO (RRM)

El uso eficiente de los recursos de radio dentro de una red de acceso es realizado por la entidad de administración del recurso de radio. La RRM de WiMAX móvil tiene origen en una arquitectura genérica, define los mecanismos y procedimientos para compartir la información relacionada con el recurso de radio entre la BS y el ASN-GW.

Los procedimientos de RRM permiten que varias estaciones bases se comuniquen entre sí o con una entidad RRM que resida en la misma ASN o en una diferente, para intercambiar información relacionada con la medición y la administración de los recursos de radio. Cada BS realiza una medición del recurso de radio localmente basada en un mecanismo de distribución RRM.

Esta entidad puede desplegarse en una ASN usando varias estaciones base con funciones RRM, así como con una entidad RRM centralizada que no resida en las BS y recolecte y actualice los indicadores del recurso de radio desde varias BSs tales como la elección de la BS objetivo, admisión o rechazo de flujos de servicio, etc. [3].

Los procedimientos RRM facilitan las siguientes funciones de red WiMAX:

- Control de admisión de la MS y de la admisión de conexión. Es decir, ya sea que se requiera o no que el recurso de radio está disponible en una BS objetivo antes del handover;
- Control de la admisión del flujo de servicio, creando o modificando los flujos de servicios adicionales o existentes para una MS en la red, selección de valores para conjuntos de parámetros de QoS admitido y activo para los flujos de servicio;
- Balanceo de carga al administrar y monitorear el sistema y usar contramedidas para permitir que el sistema regrese a la condición normal de carga;
- Preparación y control del handover para mejorar y mantener los indicadores generales de desempeño. Por ejemplo, la RRM podría asistir en el balanceo de carga del sistema facilitando la selección de la estación base más adecuada durante un handover.

La RRM está compuesta de dos entidades funcionales: RRA (Agente de recurso de radio) y RRC (Control del recurso de radio).

Cada BS incluye un RRA, el mismo que mantiene una base de datos de los indicadores del recurso de radio. Una entidad RRA es responsable por asistir a la RRM local, así como comunicarle al RRC para que recolecte y mida los indicadores del recurso de radio desde la BS y desde una mayoría relativa de terminales móviles servidas por la estación base usando procedimientos de administración MAC como se indica en las especificaciones IEEE 802.16.

RRA también comunica a la MS la información RRM de control sobre la interfaz de aire como se define en las especificaciones IEEE 802.16.

RRC es una entidad funcional que puede residir en la BS, en el ASN-GW, o en un servidor independiente en una ASN, y es responsable por la recolección de los indicadores del recurso de radio desde los RRAs asociados.

La entidad funcional RRC puede comunicarse con otras RRCs en BSs vecinas que podrían estar en la misma o diferente ASN y comunicar con otras RRAs en el punto de referencia R6. Cuando RRC se ubica en la ASN, cada RRA se asocia con un solo RRC.

Se requieren procedimientos estándar para la entrega de los indicadores del recurso de radio desde el RRA al RRC, y entre RRCs a través de las interfaces de red para asegurar la interoperabilidad.

RRM primitivos pueden ser usados para el reporte de los indicadores del recurso de radio (es decir desde el RRA al RRC o entre RRCs), o comunicar decisiones desde el RRC al RRA.

La información disponible del recurso de radio provista por las RRAs a la RRC es utilizado por el RRC para el balanceo de carga. EL RRC puede interactuar con el controlador del handover para garantizar dicho balanceo.

1.3.6 ADMINISTRACIÓN DE MOVILIDAD

La arquitectura de red WiMAX soporta dos tipos de movilidad: movilidad ASN-*anchored* o anclada (intra ASN) y movilidad CSN-*anchored*. La primera se refiere a un escenario en el que un terminal móvil se mueve entre dos estaciones base, pertenecientes a la misma ASN mientras mantiene el mismo agente externo en el ACN. El handover en este caso utiliza los puntos de referencia R6 y R8.

Movilidad CSN-*anchored* se refiere a un escenario de movilidad inter-ASN en el que la estación móvil se mueve a un agente de anclaje externo y el nuevo FA (Agente Externo) y CSN intercambian mensajes de señalización para establecer caminos para el envío de datos. El handover en este caso se realiza por el punto de referencia R3 con tunelización sobre R4 para transferir paquetes no entregados.

1.3.6.1 Movilidad ASN-anclada (ASN-anchored)

La administración de movilidad ASN-anclada o ASN-*anchored* se define como el escenario de movilidad que no involucra actualización de direcciones dinámicas (es decir, un nuevo registro MIP).

Los procedimientos descritos también aplican para movilidad en redes que no están basadas en IP móvil. Los requerimientos funcionales para esta administración incluyen:

- Soporte de diferentes clases, minimización de pérdida de paquetes y latencia de handover mientras se mantiene el orden de los paquetes, en cumplimiento con la arquitectura de seguridad definida en la especificación IEEE 802.16-2009 y los protocolos EAP IETF;
- Soporte de direcciones privadas repartidas por el H-NSP o el V-NSP;
- Soporte de HandOver de Macro Densidad (MDHO) y mecanismos FBSS (Rápida Conmutación de Estaciones Base) de handover;
- Soporte de la MS en modo activo, inactivo y suspensión, minimización del número de señalizaciones de ida y vuelta entre la BS y el punto de anclaje de movilidad intra-ASN para ejecutar handover, etc.

La Figura 1.6 ilustra tres escenarios de movilidad distintos soportados en redes WiMAX. Cuando la estación móvil se mueve de la posición 1 a la 2, o de la 1 a la 3, implica una movilidad ASN-anclada a través de los puntos de referencia R8 o R6 respectivamente, mientras que moverse de la posición 1 a la 4 involucra un esquema de movilidad CSN-anclada a través del punto de referencia R3.

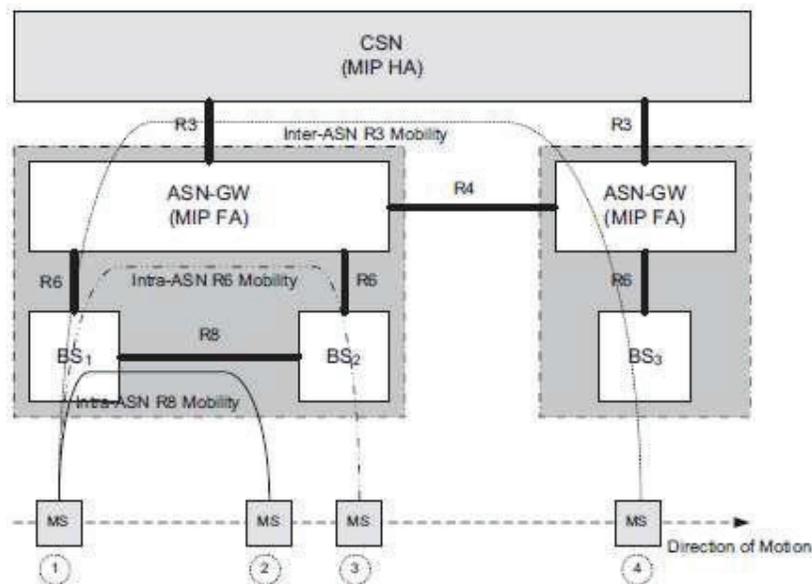


Figura 1.6 Escenarios de movilidad soportados por la arquitectura de red WiMAX¹⁵

La administración de movilidad ASN-anchored se define por una Función de Camino de Datos (DPF), la cual controla el establecimiento del camino de datos e incluye los procedimientos para la transmisión de paquetes de datos entre dos entidades funcionales, función de handover, la misma que controla la decisión general para el handover y procedimientos de señalización relacionados con el handover, y función contexto, el cual ejecuta los cambios requeridos para poder establecer cualquier estado o recuperación de cualquier estado en los elementos de red. Cada una de estas funciones es vista como una interacción *peer-to-peer* correspondiente a la función.

¹⁵ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

DPF administra el establecimiento del plano de datos entre dos pares. Esto incluye el establecimiento de los túneles que sean, y/o funcionalidades adicionales que podrían ser requeridas para el manejo del plano de comunicaciones. La DPF se utiliza para establecer planos portadores entre estaciones base, otras entidades tales como gateways, o entre gateways y estaciones base. Cualquier requerimiento adicional tal como soporte de multicast y broadcast también puede ser manejado por esta función. DPF soporta además el uso de número de secuencia de paquetes.

Existen dos tipos de DPF:

1. DPF Tipo 1: Usada para el envío de paquetes IP o Ethernet con transporte Capa 2 o Capa 3. Los paquetes se envían usando bridging capa 2 (con protocolos Ethernet por ejemplo) o enrutamiento capa 3 (protocolos IP-in-IP o GRE) entre dos DPFs;
2. DPF Tipo 2: Es un esquema de envío con transporte Capa 2 o Capa 3. Para este tipo de DPF, el camino típicamente es un protocolo genérico de tunelización Capa 3, tal como IP-in-IP o GRE, o protocolo de bridging Capa 2 tal como Ethernet. El payload es un paquete de datos Capa 2, el cual se define como una Unidad MAC de Servicio de Datos (MSDU) IEEE 802.16-2009, o parte de esta añadida con información opcional como Identificador de Conexión (CID) de la BS de destino, parámetros ARQ, etc.

La función HandOver (HO) toma las decisiones de handover y ejecuta los procedimientos de señalización relacionados al mismo. Esta función soporta mecanismos de handover de movilidad inicializada y red inicializada.

Esta función puede ser mejor clasificada por su rol en la operación del handover de la siguiente manera:

- La **Función de Servicio de HO**, la cual controla la decisión de operación general del handover y de los procedimientos de señalización relacionados con el mismo. Indica la función objetivo del handover a través de cero o más funciones handover para que se preparen para el handover, y envía el resultado a la MS;

- La **Función de Relevo de HO** envía mensajes de control relacionados con el handover entre las funciones servidora y objetivo de handover. Una función de relevo puede modificar el contenido de los mensajes de handover y tener mayor impacto en la decisión del handover;
- **Función Objetivo HO** selecciona el objetivo u objetivo potencial para el handover.

La información relacionada con la estación móvil debe ser actualizada debido a la movilidad intra-NAP, así que se definen varios contextos de información relacionados con este aspecto.

1.3.6.2 Movilidad CSN-anclada (CSN-anchored)

La movilidad CSN-anclada o *CSN-anchored* se refiere a la movilidad entre distintas ASNs, o alternativamente a la movilidad entre diferentes subredes IP, y de ese modo se requiere administración de movilidad de capa de red. Los protocolos IP móvil son usados para administrar la movilidad entre subredes IP, y para habilitar la movilidad CSN-anclada.

A continuación se describe la macro movilidad basada en IP móvil entre la ASN y la CSN a lo largo del punto de referencia R3. En el caso de IPv4, esto implica re-anclaje del actual FA al nuevo FA, y consecuentemente actualizaciones de vinculación (o re-registro MIP) para actualizar los caminos de envío de datos *upstream* y *downstream*. En movilidad CSN-anclada, el agente externo de anclaje IP móvil de la MS se cambia. La nueva FA y CSN intercambian mensajes para establecer el camino de envío de datos. La administración de movilidad CSN-anclada se establece entre la ASN y CSN que están en la misma o en distintos dominios administrativos.

Los procedimientos para la administración de movilidad CSN-anclada y del punto de acoplamiento de la MS a la ASN podrían no estar sincronizados. En este caso, los procedimientos podrían tener un retraso relativo a la finalización del handover de capa de enlace por la MS.

En un escenario de movilidad R3 Intra-NAP, una MS se mueve entre FAs dentro de un solo dominio NAP. El evento de movilidad R3 resulta en un handover entre dos FAs, de ahí que se reubica el punto de referencia de acoplamiento R3 de la ASN en la NAP. Nótese que movilidad R3 no termina automáticamente, o de otra manera, interferiría con la operación de estado inactivo/suspensión de la MS.

Movilidad CSN-anclada da cabida al escenario en el que la MS permanece en estado inactivo o en modo de suspensión hasta que esté lista para transmitir tráfico *uplink* o es notificada de tráfico *downlink* por la BS de servicio. En todos los escenarios en los cuales no se ejecuta el roaming, el HA está ubicado en la CSN del H-NSP. Para escenarios de roaming, la HA está localizada ya sea en la CSN del H-NSP o del V-NSP, dependiendo del acuerdo de roaming entre ambas, el perfil y política de suscripción de usuario en la H-NSP. Dentro de un simple dominio administrativo NAP no se introduce latencia o pérdida de paquetes significativa.

Las actividades de movilidad CSN-anclada son transparentes a la MS. La MS usa DHCP¹⁶ para la asignación de direcciones IP y la configuración del host.

1.3.7 PAGING Y OPERACIÓN DE ESTADO INACTIVO

Paging se refiere a los procedimientos usados por la red para notificar a las estaciones móviles (en la zona de cobertura de un conjunto predefinido de estaciones base identificado como grupo paging) que se encuentran en modo inactivo de tráfico downlink pendiente. La actualización de ubicación se refiere a los procedimientos para obtener la actualización de la ubicación por un MS en el modo inactivo. Los procedimientos de paging se implementan usando mensajes MAC de control intercambiados entre la MS y la BS controlados a través de funciones de control de paging de capa superior.

¹⁶ DHCP es un protocolo de aplicación de red usado por los dispositivos para obtener información de la configuración para operación en una red IP. Este protocolo reduce la carga de trabajo de la administración del sistema, permitiendo que los dispositivos sean añadidos a la red con mínima intervención del usuario.

El *estado inactivo* se refiere al estado de una estación móvil en el que puede estar disponible de forma periódica para el tráfico broadcast downlink sin registrarse con una estación base en específico. El estado inactivo comprende dos modos separados, modo de paging disponible y modo de paging no disponible. Durante el estado inactivo, la MS podría intentar ahorrar energía al conmutar entre el modo de Paging Disponible y el de Paging no Disponible. En el primer modo, la MS podría ser contactada por la BS. Si la MS responde, se realizan los procedimientos de re-ingreso a la red. La MS ejecuta el procedimiento de actualización de ubicación durante el Estado Inactivo.

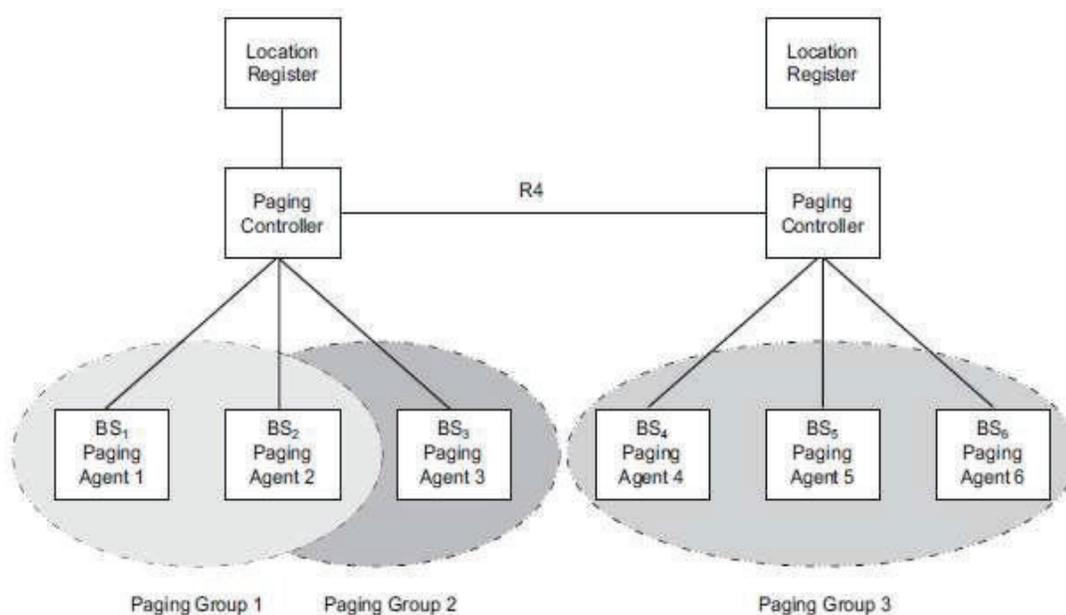


Figura 1.7 Modelo de referencia de la red de paging¹⁷

Como se muestra en la Figura 1.7, el modelo de referencia de paging puede ser descompuesto en tres entidades funcionales separadas:

1. **Controlador de Paging (PC)** es una entidad funcional que administra la actividad de una MS en estado inactivo en la red. Se define por un Identificador PC, y puede estar ubicada con la BS o separada de la

¹⁷ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

misma en el punto de referencia R6. Existen dos tipos de PCs: *Anchor PC* que mantiene la información actualizada de ubicación; y *Relay PC* que participa en el relevo de los mensajes de control de paging y ubicación entre el agente de paging y el PC de anclaje [7];

2. **Agente de Paging (PA)** es una entidad funcional que controla la interacción entre el PC y la funcionalidad relacionada con el paging especificada en el estándar IEEE 802.16-2009 implementado en la BS. Un PA está localizado con la BS;
Grupo de Paging (PG), como se define en el estándar IEEE 802.16-2009, consiste de uno o más paging;
3. **Registro de Localización (LR)** es una base de datos distribuida con cada instancia correspondiente a un PC de anclaje. Los registros de localización contienen información acerca de las estaciones móviles en estado inactivo. La información para cada MS incluye el ID del Grupo de Paging (PGID), ciclo de paging, offset del paging, último Identificador reportado de la BS (BSID), etc.

Típicamente existen múltiples grupos de paging dentro de la red de un operador. Una BS y su correspondiente PA pueden ser parte de más de un grupo de paging. El controlador puede estar junto con la BS. Los mensajes de control de paging entre PCs se intercambian a lo largo del punto de referencia R4.

El LR consiste en una base de datos de ubicación, la cual es accesible a través del PC y rastrea el actual grupo de paging de cada estación móvil en estado inactivo dentro de la red. También almacena la información de contexto requerida para el paging.

Cuando la MS se mueve entre grupos de paging, la actualización de la ubicación ocurre en los PCs a través de los puntos de referencia R6 y/o R4, y la información se actualiza en el LR que está asociado con el PC de anclaje. La entrada LR se crea cuando una MS entra al estado inactivo. Esto se requiere para realizar la actualización de la ubicación cuando una MS de Estado Inactivo se mueve y cruza el límite de su actual grupo de paging.

1.3.8 PERSPECTIVA GENERAL DE LA ARQUITECTURA DE RED CON NÚCLEO DE PAQUETES EVOLUCIONADO 3GPP

El Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP) empezó a trabajar en *Long Term Evolution* (LTE) a finales de 2004 [10].

A diferencia de sus predecesores, 3GPP LTE fue desarrollada dentro de la arquitectura UMTS, 3GPP especifica una arquitectura de core de paquetes mejorada para soportar E-UTRAN a través de la reducción del número de elementos de red y la simplificación de la funcionalidad, y más importante, permitiendo la conexión y handover con otras tecnologías de acceso fijo e inalámbrico, lo que le otorga a las operadoras la capacidad de brindar una experiencia de movilidad completa. La Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS Evolucionada (E-UTRAN) ha mejorado substancialmente los *throughputs*¹⁸ a los usuarios finales, la capacidad de la zona de cobertura, y reducido los retardos en el plano de usuario y de control, trayendo una experiencia mejorada para el usuario con movilidad completa.

3GPP LTE provee soporte para tráfico basado en IP con calidad de servicio (QoS) de extremo a extremo, enfocado al surgimiento del protocolo IP como protocolo de elección para transportar todo tipo de tráfico. Aquí se soporta el tráfico de voz mayormente como voz sobre IP, permitiendo la integración con otros servicios multimedia. Se han iniciado los despliegues de esta tecnología desde finales de 2011, y se espera su disponibilidad comercial a gran escala en años posteriores.

A diferencia de sus predecesores, los cuales fueron desarrollados dentro del marco de la arquitectura UMTS Release 99, 3GPP ha especificado la arquitectura Mejorada de Core de Paquetes (EPC) para soportar a la E-UTRAN a través de la reducción de su número de elementos de red y de la simplificación de la funcionalidad. Los principales objetivos de 3GPP LTE fueron minimizar las complejidades del sistema y del Equipo de Usuario (UE), para permitir el

¹⁸ El throughput o rendimiento de una red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto período de tiempo, por lo tanto se mide en bits/s o bytes/s.

despliegue flexible del espectro en las bandas de frecuencia existentes o en nuevas bandas, y posibilitar la coexistencia con otras tecnologías de acceso por radio 3GPP.

Algunos principios generales tomados en consideración en el diseño de la arquitectura E-UTRAN, así como sus interfaces, son:

- Señalización y redes de transporte de datos están separados de forma lógica;
- Las funciones E-UTRAN y EPC no están asociadas con esquemas de direccionamiento de funciones de transporte;
- La movilidad para conexión RRC está completamente controlada por la E-UTRAN;
- Las interfaces deberían estar basadas en un modelo lógico de entidad controlado a través de esta interfaz;
- Un elemento físico de red puede implementar múltiples nodos lógicos.

La Figura 1.8 ilustra el modelo de referencia de la red EPC.

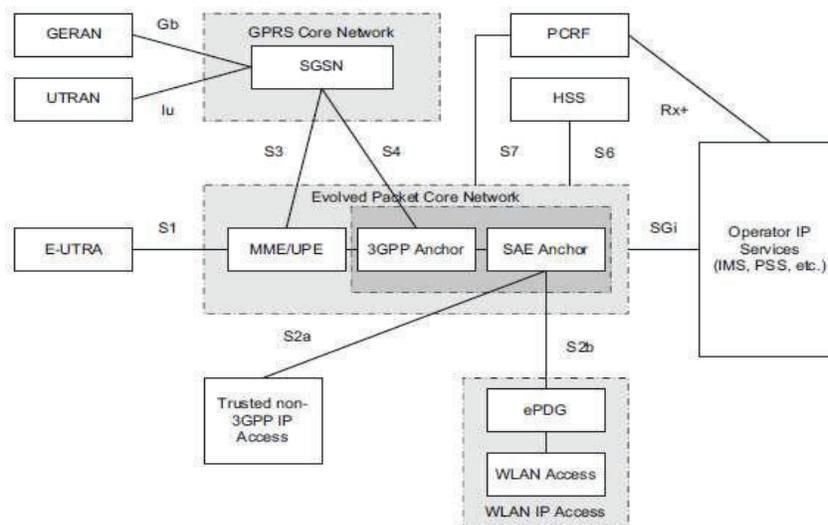


Figura 1.8 Modelo de referencia de la red de *core* de paquetes evolucionada 3GPP¹⁹

¹⁹ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

Las entidades funcionales y sus correspondientes interfaces se definen de la siguiente manera:

1.3.8.1 Entidades Funcionales

- La entidad de Administración de Movilidad (MME) controla y almacena el contexto UE de estado inactivo. Esto genera identidades temporales y se las envía a las UEs. MME autentica al usuario y chequea la autorización, ya sea que ocupen la Zona de Seguimiento (Tracking Area o TA) o que se encuentren en la Red Móvil de Pública Terrestre (PLMN²⁰);
- La Entidad de Plano de Usuario (UPE) finaliza el estado de inactividad del UE, el camino de datos downlink y los *triggers/paging* son inicializados cuando hay datos downlink disponibles para el UE. Realiza replicación del tráfico del usuario en caso de interceptación;
- Evolved Packet Data Gateway (ePDG) asegura el acceso de un UE al EPC (para acceso no confiable que no es una conexión 3GPP) por medio de un túnel de Seguridad IP (IPSec²¹) entre sí mismo y el UE;
- 3GPP Anchor controla la movilidad para sistemas LTE 2G/3G;
- SAE Anchor administra la movilidad para tecnologías de acceso por radio que no sean 3GPP;
- El Nodo de Soporte de Servicio GPRS (SGSN) provee conexiones para la Red GSM de Acceso por radio EDGE (GERAN) y redes UTRAN, y es la responsable de la entrega de paquetes de datos desde y hasta las estaciones móviles dentro de su área geográfica de servicio. Sus tareas incluyen enrutamiento y transferencia de paquetes, administración de la movilidad, control de enlace lógico, y funciones de autenticación y cobro. El

²⁰ Una Red Móvil de Zona Pública es una red establecida y operada por una administración o por una agencia operadora reconocida para el propósito específico de proveer servicios de telecomunicaciones terrestres/móviles al público.

²¹ IPSec es un conjunto de protocolos para dar seguridad a comunicaciones basadas en IP al autenticar y encriptar cada paquete IP o stream de datos. IPSec también incluye protocolos para el establecimiento de autenticación mutua entre agentes al principio de la sesión y negociación de las claves criptográficas a ser usadas durante la sesión. IPSec también puede ser usado para proteger flujos de datos entre un par de hosts, entre un par de Gateways de seguridad, o entre un Gateway de seguridad y un host [11].

registro de localización de la SGSN almacena la información y perfiles de todos los usuarios GPRS registrados con esta SGSN;

- Función de Política y Regla de Cobro (PCRF) controla los aspectos de QoS y abarca las siguientes funciones para la Red de Acceso de Conectividad IP: cobro basado en el flujo incluyendo el control de facturación y controles de crédito online y la política de control (por ejemplo: Control del QoS, señalización QoS, etc.);
- Home Subscriber Server (HSS) es una base de datos de usuario maestra que soporta entidades de red IMS y contiene los perfiles del suscriptor. Realiza la autenticación y autorización del usuario, y puede proveer información acerca de la ubicación e información IP del suscriptor. Es similar al GSM Home Location Register (HLR) y al Centro de autenticación (AUC).

1.3.8.2 Puntos de Referencia

- **S1** provee acceso a los recursos de radio E-UTRA para el transporte de tráfico/señalización de plano de usuario y plano de control. Este punto permite la separación MME y UPE, y además permite despliegues de componentes MME y UPE combinados;
- **S2a** provee el control relacionado al plano de usuario y soporte de movilidad entre un acceso IP confiable no perteneciente a 3GPP y la Evolución de la Arquitectura del Sistema (SAE) Anchor;
- **S2b** provee el control relacionado con el plano de usuario y soporte de movilidad entre el ePDG y el SAE Anchor;
- **S3** permite el intercambio de información de usuario y de información multimedia para la movilidad del sistema de acceso inter 3GPP en estado activo o inactivo. Se basa en el punto de referencia Gn como se define entre los nodos de Soporte de Servicio GPRS (SGSN);
- **S4** provee el plano de usuario con control relacionado y soporte de movilidad entre el Core GPRS y 2GPP Anchor, y está basado en el punto de referencia Gn como se define entre el SGSN y el GGSN;
- **S5a** provee el plano de usuario con control relacionado y soporte de movilidad entre MME/UPE y 3GPP anchor;

- **S5b** provee el plano de usuario con control relacionado y soporte de movilidad entre 3GPP Anchor y SAE Anchor;
- **S6** permite la transferencia de datos de suscripción y autenticación para el acceso al usuario autenticado/autorizado a los sistemas (es decir una interfaz AAA);
- **S7** provee transferencia de políticas de QoS y reglas de cobro de la Función de Política y Regla de Cobro (PCRF) hacia el Punto Responsable de las Políticas y Cobro (PCEP);
- **SGi** es el punto de referencia entre el EPC y la red de paquetes de datos. La red de paquetes de datos es una red externa pública o privada del operador, o una red intra-operador de paquete de datos para la provisión de servicios IMS.
- **Iu** y **Gb** son interfaces con UTRAN y GERAN respectivamente.

La arquitectura E-UTRAN se muestra en la Figura 1.9. La E-UTRAN consta de Evolved NodeB (eNB), o estaciones base E-UTRA equivalentes, proveyendo terminaciones del plano de usuario E-UTRA y el protocolo del plano de control hacia el UE. Las eNBs se interconectan entre sí a través de la interfaz X2.

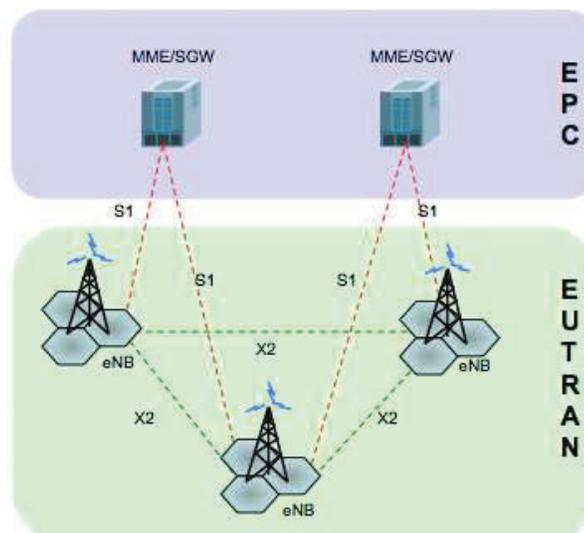


Figura 1.9 Arquitectura E-UTRAN²²

²² <http://Itemobilezone.wordpress.com/tag/e-utran/>

También se conecta por medio de la interfaz S1 a la EPC, o más específicamente a la MME a través del punto de referencia S1-MME, y al Gateway de Servicio (S-GW) por la interfaz S1-U. La interfaz S1 soporta conexiones multipunto entre MMEs/S-GWs y las NBs.

Las siguientes funciones son realizadas comúnmente por el eNB:

- Administración del recurso de radio, que incluye el control de la portadora de radio, control de la admisión por radio, administración de la conexión, ubicación dinámica de los recursos a los UEs en los enlaces uplink y downlink (programación de actividades);
- Compresión y encriptación de cabecera de los payloads de usuario;
- Enrutamiento de datos de plano U hacia el S-GW;
- Programación y transmisión de mensajes de paging (originados desde la MME);
- Programación y transmisión de información de broadcast (originada desde la MME);
- Medición y reporte para soporte de movilidad y programación.

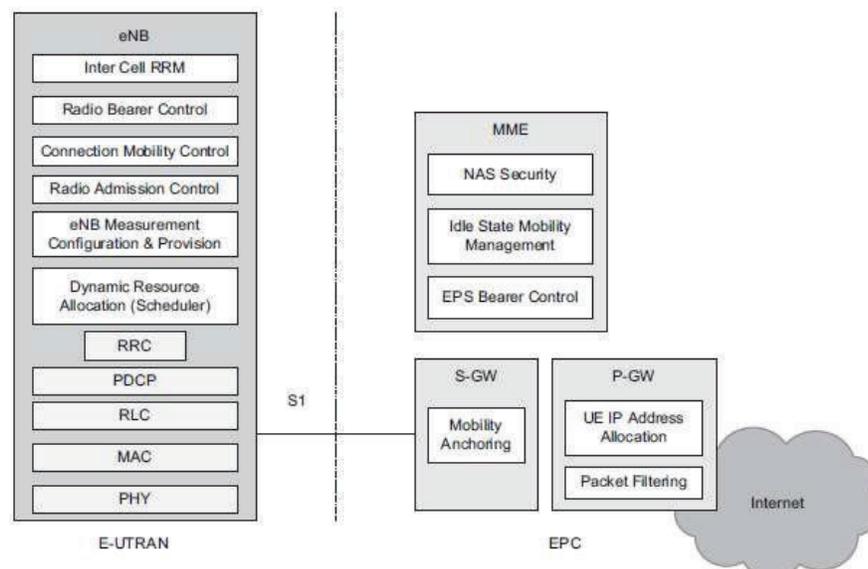


Figura 1.10 Corte funcional entre E-UTRAN y EPC²³

²³ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

La Figura 1.10 ilustra la descomposición funcional de E-UTRAN y EPC. La MME es el nodo principal de control para la red de acceso 3GPP LTE. También es la responsable para el rastreo del UE en estado inactivo y el procedimiento de paging incluyendo las retransmisiones. Las funciones MME incluyen señalización de Estrato Sin Acceso (NAS) y señalización de seguridad NAS, señalización de red inter-core para movilidad entre redes de acceso 3GPP, accesibilidad al UE en modo inactivo (incluyendo control y ejecución de retransmisión de paging), administración de la lista de seguimiento de área (para UE en modo activo e inactivo), Gateway de la Red de Paquete de Datos (PDN) y selección del S-GW, selección de la MME para handovers con cambio de MME, roaming, autenticación de los usuarios, y funciones de administración de portadora incluyendo establecimiento de portador dedicado. La señalización NAS termina en la MME y también es responsable por la generación y colocación de identidades terminales a los UEs. Verifica la autorización del UE para que se coloque en la PLMN del proveedor de servicios y hace cumplir las restricciones de roaming para el UE.

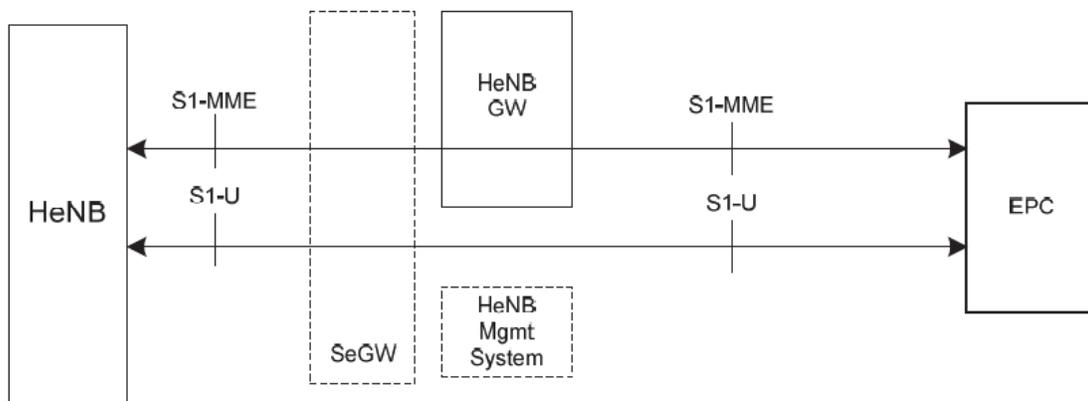


Figura 1.11 Arquitectura lógica HeNB de E-UTRAN²⁴

En la Figura 1.11 se muestra un modelo de referencia de una red lógica para el soporte de femto-celdas²⁵, o Home eNB (HeNB) que incluye un conjunto de

²⁴ <http://blog.3g4g.co.uk/2009/03/home-e-nodeb-architecture-in-release-8.html>

²⁵ Femto-celdas son puntos de acceso inalámbrico de baja potencia que operan en una banda licenciada de espectro para conectar dispositivos móviles a la red de la operadora móvil utilizando DSL residencial o conexiones de banda ancha por cable.

interfaces S1 para conectar el HeNB al EPC. Las entidades de configuración y autenticación como se muestran, son comunes entre HeNBs y Home NBs (HNB)

El Gateway de Servicio (S-GW) enruta y envía los paquetes de datos de usuario, mientras actúa como el anclaje de movilidad para el plano de usuario durante los handovers inter eNB y como anclaje para movilidad entre tecnologías LTE y otras 3GPP. Entre las funciones del S-GW se incluyen: punto de anclaje para movilidad para handover inter eNB, anclaje de movilidad para movilidad inter 3GPP, *buffering* E-UTRAN en modo inactivo para paquetes downlink.

El Gateway de la Red de Paquete de Datos provee conectividad del UE hacia redes de paquetes de datos externas siendo el punto de salida y entrada de tráfico para el UE. Un UE puede tener conectividad simultánea con más de un P-GW para acceder a varias redes de paquetes de datos. Las funciones del P-GW incluyen: filtrado de paquetes por usuario, interceptación legal, asignación de direcciones IP a las UEs, y marcaje de paquetes a nivel de transporte en el downlink.

La línea base de la arquitectura de red 3GPP puede ser extendida aún más para incluir las femto-celdas. En la Figura 1.12 se muestra un modelo de referencia lógico de red para el soporte de femto-celdas, o alternativamente Home eNB (HeNB) que incluye un set de interfaces S1 para conectar la HeNB a la EPC. Las entidades de configuración y autenticación como se muestran, son comunes entre los HeNB y Home NBs (HNB).

El HeNB GW sirve como punto focal para el plano de control, particularmente la interfaz S1-MME. La interfaz S1-U desde el HeNB puede terminar en el HeNB GW, o podría usarse una conexión lógica directa en plano de usuario entre HeNB y S-GW. El Release 9 de las especificaciones 3GPP no dan soporte para la interfaz X2 entre HeNBs.

La definición extendida del punto de referencia S1 incluye la interfaz entre las siguientes entidades:

- HeNB GW y la red core;
- HeNB y el HeNB GW;
- HeNB y la red core;
- eNB y la red core.

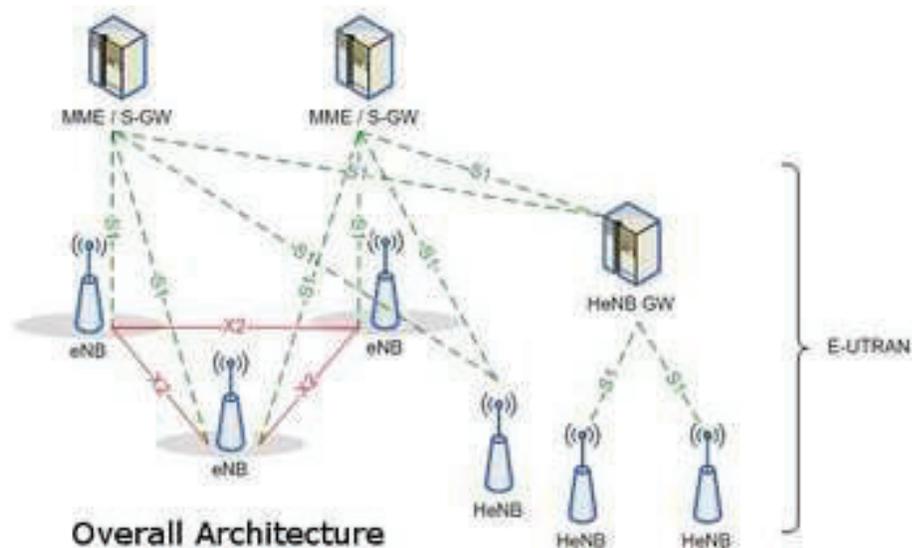


Figura 1.12 Arquitectura general E-UTRAN incluyendo HeNBs²⁶

Como se muestra en la Figura 1.12, el HeNB GW aparece frente a la MME como un eNB, y al HeNB como una MME. La interfaz S1 entre el HeNB y el EPC es la misma sin importar que el HeNB esté conectado o no al EPC a través de un HeNB GW. El HeNB GW está conectado al EPC de forma que el movimiento hacia afuera o hacia adentro de las celdas brindado por el HeNB GW no requiera necesariamente handovers inter MME. Las funciones soportadas por el HeNB son similares a aquellos soportados por un eNB (con la excepción de Función de Selección de Nodo en Estrato de no Acceso) y los protocolos entre un HeNB y el EPC son los mismos que aquellos entre un eNB y el EPC.

El HeNB realiza las mismas funciones que un eNB, como se describió antes, con las siguientes consideraciones en caso de conexión al HeNB GW:

- Descubrimiento de un HeNB GW de servicio adecuado;

²⁶ <http://blog.3g4g.co.uk/2009/03/home-e-nodeb-architecture-in-release-8.html>

- Un HeNB sólo se conecta a un solo HeNB GW a la vez;
- Si el HeNB se conecta al HeNB GW, no se conectará simultáneamente a otro HeNB GW u otra MME;
- El Código de Tipo de Aprobación (TAC) y el identificador PLMN usados por el HeNB también son soportados por el HeNB GW;
- Cuando el HeNB se conecta al HeNB GW, la selección de un MME en un acoplamiento UE es hospedado por el HeNB GW en lugar del HeNB;
- Los HeNBs podría ser desplegados sin planificación de red. Un HeNB puede ser movido desde una zona geográfica a otra, y de ahí que podría necesitar conectarse a diferentes Gateways HeNB dependiendo de su ubicación.

El HeNB GW realiza las siguientes funciones:

- Relevos de mensajes S1 asociados al UE, entre la MME sirviendo al UE y el HeNB sirviendo al UE;
- Finalización de procedimientos asociados S1 no-UE hacia el HeNB y hacia la MME. Nótese, que cuando un HeNB GW es desplegado, los procedimientos asociados no-UE están en ejecución entre los HeNBs y el HeNB GW, y entre el HeNB GW y la MME y opcionalmente finalizando con la interfaz S1-U con el HeNB y con el S-GW;
- Soporte del TAC y del identificador PLMN usado por el HeNB.

Sumado a la lista de funciones anteriores, el MME provee control de acceso para los UEs que son miembros del Grupo Cerrado de Suscriptor (CSG) en despliegues HeNB; un CSG HeNB sólo es accesible a un grupo de UEs que son miembros del CSG. Se negará el acceso a las UEs que no son miembros de CGS, excepto para servicios de emergencia.

CAPITULO 2

MODELO DE REFERENCIA IEEE 801.16M Y ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS

2.1 INTRODUCCIÓN

El estándar IEEE 802.16-2009 define un modelo de referencia genérico en el que se especifica los mayores bloques funcionales (es decir, la capa física, la sub capa de seguridad, la sub capa MAC de parte común, y la sub capa de cobertura de servicio específico) sus interfaces, las premisas de la entidad IEEE 802.16, y un control general de red y administración del sistema.

IEEE 802.16m ha modificado este modelo de referencia al clasificar aún más las funciones de la sub capa MAC de parte común en dos grupos funcionales, resultando en una aproximación más estructurada para caracterizar las funciones de la capa de enlace de datos y sus interoperaciones. Las revisiones y/o enmiendas anteriores del estándar IEEE 802.16 no definían explícitamente una estructura de protocolos detallada; más bien, los elementos funcionales en la especificación fueron clasificados implícitamente como sub capa de convergencia, sub capa MAC de parte común, sub capa de seguridad, y capa física.

Aunque cada una de estas capas o sub capas comprenden un conjunto de funciones y protocolos, no se dio una perspectiva de la forma en la cual varios componentes se interconectaban e inter-operaban desde un punto de vista del sistema. De hecho, IEEE 802.16 nunca ha sido desarrollado con un punto de vista de ingeniería del sistema; más bien, especificó componentes y bloques constituyentes que pueden ser integrados para construir un sistema que trabaje. Un ejemplo son los perfiles del sistema WiMAX móvil, en el que se seleccionaron un conjunto específico de características IEEE 802.16-2009 para formar un

sistema de acceso de banda ancha móvil. En un intento por mejorar la claridad de los estándares IEEE 802.16 anteriores y tomar un acercamiento sistemático en el desarrollo de una interfaz avanzada de aire, IEEE 802.16m ha definido una estructura de protocolos y los componentes funcionales se clasifican en diferentes capas y sub capas, y así mismo, diferenciados en base a las categorías de plano de datos o del plano de control.

Los protocolos y elementos funcionales definidos por IEEE 802.16 corresponden a la capa física y la de enlace de datos del modelo de referencia de siete capas de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) como se muestra en la Figura 2.1:

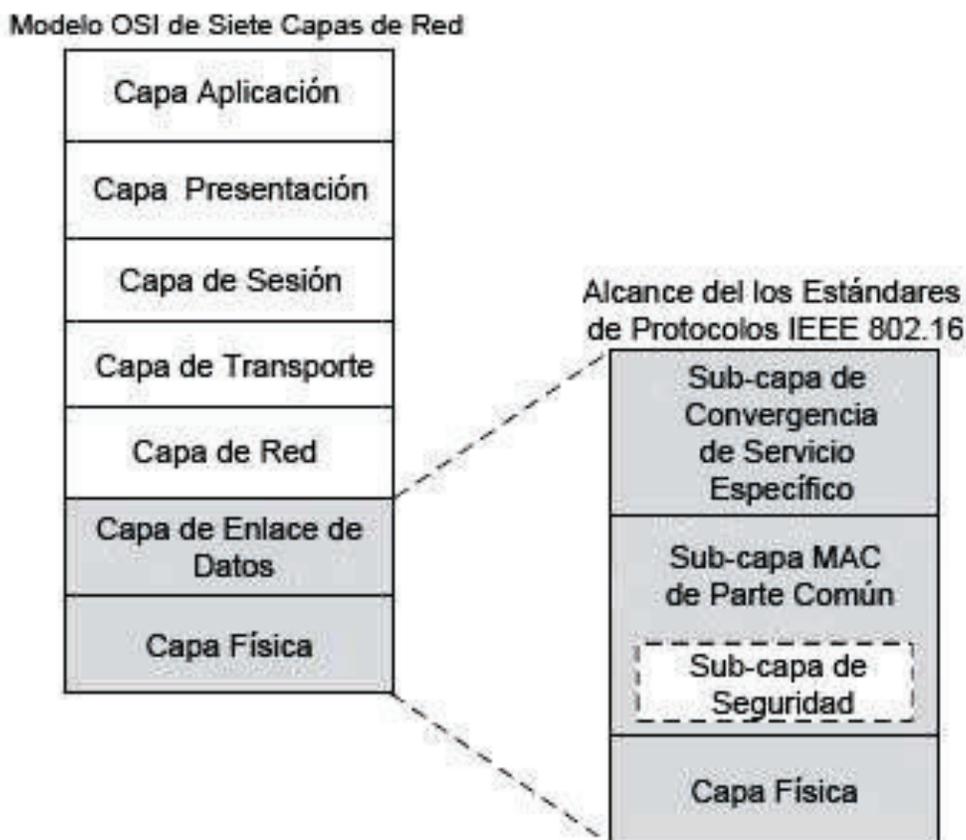


Figura 2.1 Mapeado de las capas de protocolos para un modelo de red OSI²⁷

²⁷ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

2.2 EL MODELO DE REFERENCIA IEEE 802.16M

La Figura 2.2 ilustra el modelo de referencia IEEE 802.16. La capa de enlace de datos del estándar IEEE 802.16 consta de tres sub capas: Sub capa de convergencia de servicio específico (CS), Sub capa MAC de parte común (MAC CPS) y Sub capa de seguridad [7].

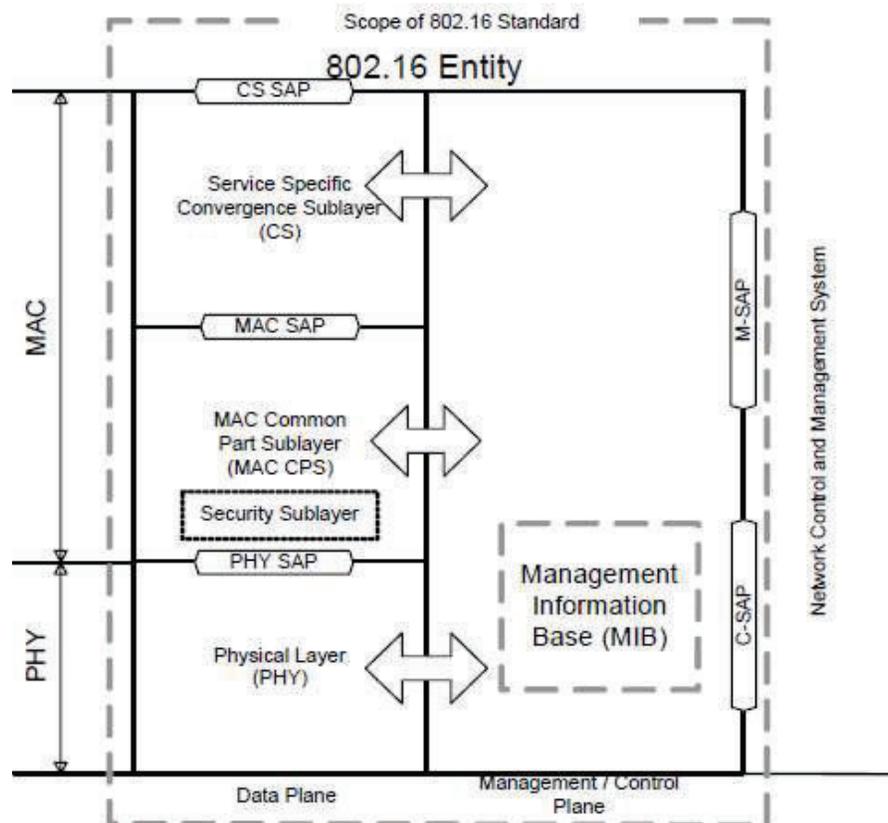


Figura 2.2 Modelo de referencia IEEE 802.16²⁸

La sub capa de convergencia de servicio específico provee cualquier transformación o mapeo de los paquetes de datos de capa de red en SDUs MAC. También incluye la función de eliminación de cabecera para comprimir las cabeceras de protocolos de capas superiores. Además se proveen múltiples

²⁸ IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society. IEEE Standard for local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. Aprobado el 13 de mayo de 2009. [7]

especificaciones para la conexión con varios protocolos de capa de red como Modo de Transferencia Asíncrona (ATM)²⁹ y protocolos de conmutación de paquetes tales como IP o Ethernet. El formato interno del área de datos es único para la CS, y la MAC CPS no necesita conocer el formato o analizar cualquier información de payload CS. La MAC CPS provee el núcleo de funcionalidad MAC de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento de la conexión, y mantenimiento de conexión. Puede recibir datos de varias sub capas de convergencia, a través del punto de acceso al servicio MAC (MAC SAP) clasificados en conexiones MAC particulares. La Calidad de Servicio (QoS) se aplica para la transmisión y programación de los datos sobre la capa física.

La sub capa de seguridad provee autenticación, intercambio seguro de claves, y encriptación. Los datos de usuario, control de capa física y estadísticas se transfieren entre la MAC CPS y la capa física (PHY) a través del PHY SAP, el cual es de implementación específica.

Los protocolos de capa física IEEE 802.16 incluyen múltiples especificaciones, definidas a través de varias enmiendas y revisiones, cada una apropiada para un rango de frecuencia y aplicación particular.

La enmienda IEEE 802-16f (actualmente parte del estándar IEEE 802.16-2009) provee las mejoras al estándar IEEE 802.16-2004 definiendo una base de administración de información (MIB) para las capas física y de control de acceso al medio, a los procedimientos de administración asociados.

El estándar 802.16 describe el uso del Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP) es decir, una suite de protocolos IETF como modelo de referencia de administración de red [14]. El estándar consiste de un Sistema de Administración de Red (NMS), nodos administrados, y una base de datos de flujo de servicio. Los nodos administrados de la BS y MS recolectan y guardan los objetos

²⁹ El Modo de Transferencia Asíncrona (ATM) es un protocolo de conmutación de paquetes que codifica los datos en pequeñas celdas de tamaño fijo y que provee servicios de capa de enlace de datos que se ejecutan sobre la capa 1 del modelo OSI [13].

administrados en la forma de la Interfaz MIB WirelessMAN y Device MIB que se vuelven disponibles para el sistema de administración de red a través de protocolos de administración, tales como SNMP. Un Sistema de Control de Red contiene el flujo de servicio asociado a la información de Calidad de Servicio que ha sido provista a la BS cuando una MS entra a la red. El SAP de Control (CSAP) y el SAP de Administración (M-SAP) conectan a las funciones del plano de control y administración con las capas superiores.

La entidad NCMS (Sistema de Administración y Control de Red) se presenta dentro de cada MS. El NCMS es una entidad independiente de las capas que puede ser vista como una entidad de administración o de control. Las entidades de administración del sistema genérico pueden ejecutar funciones a través del NCMS y los protocolos estándar de administración pueden ser implementados en el NCMS. Si la conexión secundaria de administración no existe, los mensajes SNMP, u otros mensajes de protocolo de administración, podrían ir a través de otra interfaz en la premisa del usuario o en una conexión de transporte sobre la interfaz de aire.

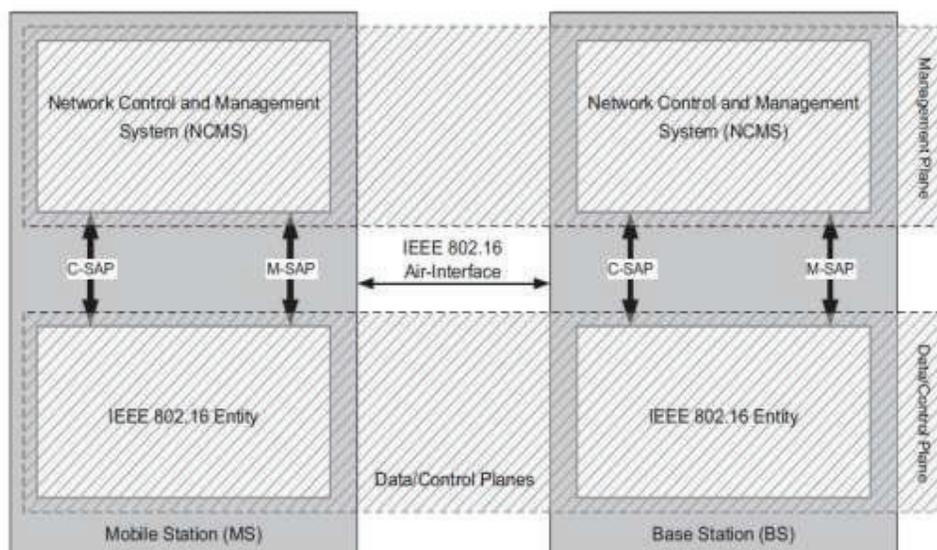


Figura 2.3 Modelo de referencia de red genérico IEEE 802.16³⁰

³⁰ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

La Figura 2.3 ilustra un modelo de referencia de red simplificado IEEE 802.16. Múltiples estaciones podrían estar enlazadas a una BS, una de las MS se comunica con la BS a través de la interfaz de aire usando una conexión primaria de administración, y una conexión básica o una conexión secundaria de administración. Los últimos tipos de conexión han sido reemplazados con nuevos tipos de conexión en el estándar 802.16m [15].

2.2.1 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE RED.

El sistema de administración y control de red (NCMS) no es parte de los estándares IEEE 802.16, y es tratado como una “caja negra”. El NCMS puede estar distribuido con los componentes residentes en diferentes nodos en una red. Parte del NCMS puede estar físicamente distribuida dentro de la entidad IEEE 802.16 referida como NCMS-E. La parte restante puede estar repartida entre una o más entidades de red. Esta parte del NCMS se denomina NCMS-N.

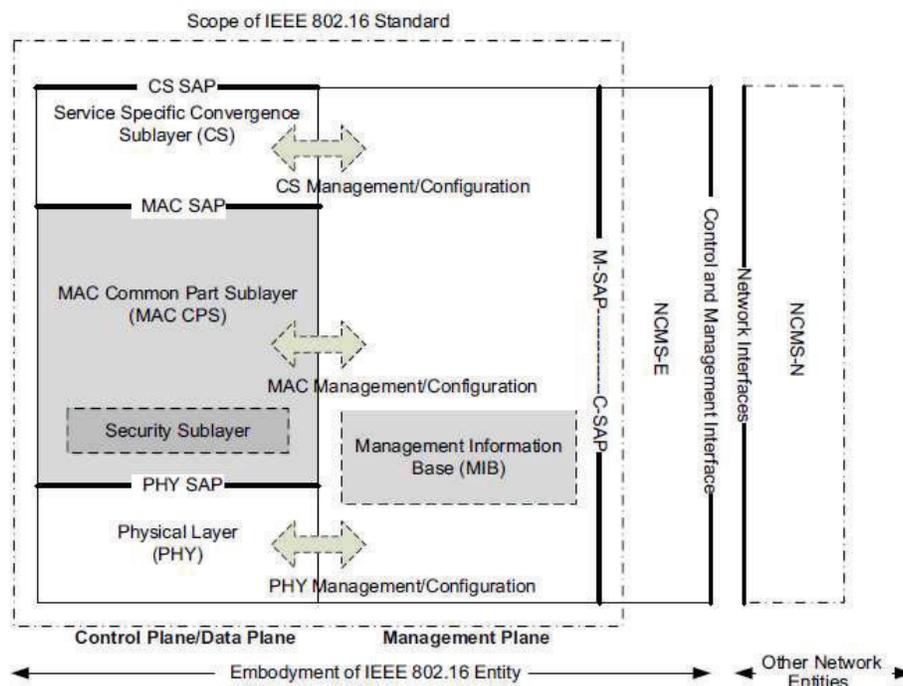


Figura 2.4 Particionamiento del NCMS IEEE 802.16³¹

³¹ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

La Figura 2.4 muestra el particionamiento del NCMS en NCMS-E y NCMS-N. El NCMS-E puede tener su propia implementación de plataforma de software y protocolo de red, permitiendo que se comunique con entidades externas en el NCMS-N. EL NCMS-E podría proveer un Agente SNMP que cumpla con IETF RFC3418 y el stack de protocolos SNMP/TCP/IP, para permitir interacciones con un administrador SNMP.

La descomposición del Sistema de Administración y Control de Red se muestra en la Figura 2.5. Estas entidades pueden estar ubicadas centralizadamente en toda la red. Las manifestaciones del servicio NCMS en la MS y BS podría tener configuraciones y funciones diferentes.

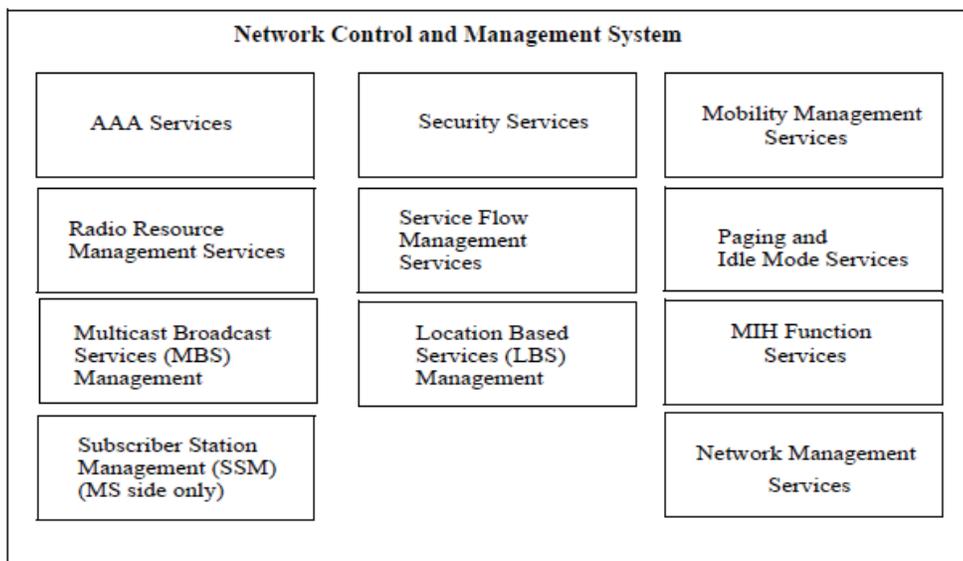


Figura 2.5 Descomposición del sistema de administración y control de red³²

El modelo de referencia IEEE 802.16m es muy similar al estándar IEEE 802.16-2009 con la excepción de la suave clasificación de la sub-capa de parte común

³² IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society. IEEE Standard for local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. Aprobado el 13 de mayo de 2009.

MAC en funciones de control del recurso de radio, y control y administración de acceso al medio.

Como se muestra en la Figura 2.6, este particionamiento funcional es lógico, es decir, no se requiere SAP entre dos clases de funciones y no se anexan sub-cabeceras adicionales a las SDUs.

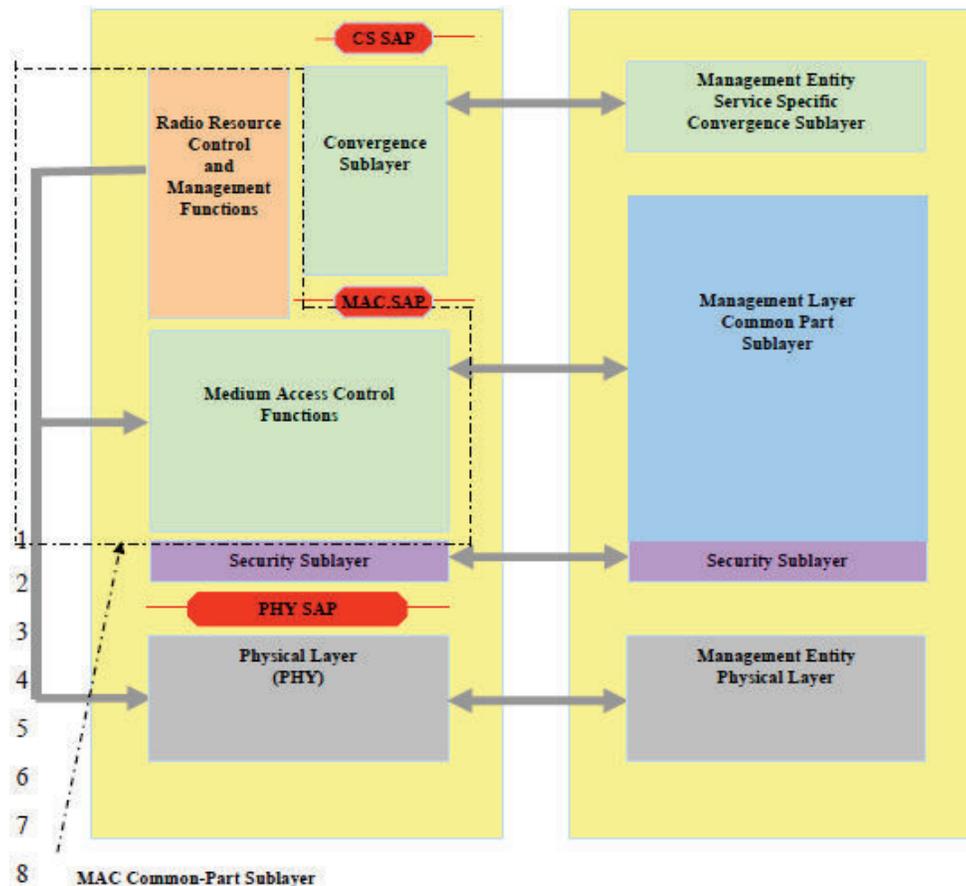


Figura 2.6 Modelo de referencia IEEE 802.16m³³

Aún más, los elementos funcionales de los caminos de datos y control están explícitamente clasificados en funciones de plano de control y datos. Aunque existen funcionalidades similares en el estándar IEEE 802.16-2009, las funciones y protocolos no están categorizados explícitamente en el estándar anterior,

³³ IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group. IEEE 802.16m System Description Document (SDD). [15]

excepto por la separación explícita de funciones PHY, MAC CPS y funciones CS en la especificación [7].

La categorización de las funciones basada en características funcionales y posición relativa en el camino de procesamiento de datos/señalización aliviaría la parte analógica y contrastaría con otras tecnologías de acceso por radio, tales como 3GPP LTE/LTE-Advanced, que han sido diseñadas basadas en una metodología de diseño estructurado de protocolos similar. Más aún, el diseño estructurado funcional/de protocolos en IEEE 802.16m eliminaría la inherente complejidad y ambigüedad del estudio, entendimiento e implementación del estándar anterior.

En IEEE 801.16m existen nuevas, modificadas o extendidas funciones y protocolos que están clasificados bajo los casos genéricos PHY, MAC CPS y CS, que no tienen contrapartes en el estándar legado. La compatibilidad hacia atrás de IEEE 802.16m con el estándar anterior asegura que las funciones y protocolos no compatibles no se utilizan en los intervalos de tiempo en el que las estaciones base y las estaciones móviles están haciendo uso de la red [15].

2.2.2 PLANO DE DATOS

Las funciones MAC y PHY de IEEE 802.16m pueden clasificarse en tres categorías denominadas: plano de datos, plano de control, y plano de administración [15].

El plano de datos (también conocido como plano de usuario) comprende las funciones en el camino de procesamiento de los datos de usuario, tales como clasificación del flujo de servicio y compresión de cabecera, así como el procesamiento de paquete de datos MAC y PHY y funciones de encriptación.

Como se muestra en la Figura 2.7, la entidad del plano de datos de IEEE 802.16m comprende la sub capa de convergencia de servicio específico, grupo MAC funcional, seguridad, y protocolos de capa física correspondientes al

procesamiento de paquetes del plano de datos del usuario. Los SAPs MAC y PHY, aunque son conceptualmente los mismos a los especificados en el estándar IEEE 802.16-2009, tienen una manifestación distinta debido a las nuevas características MAC y PHY introducidas en el estándar IEEE 802.16m.

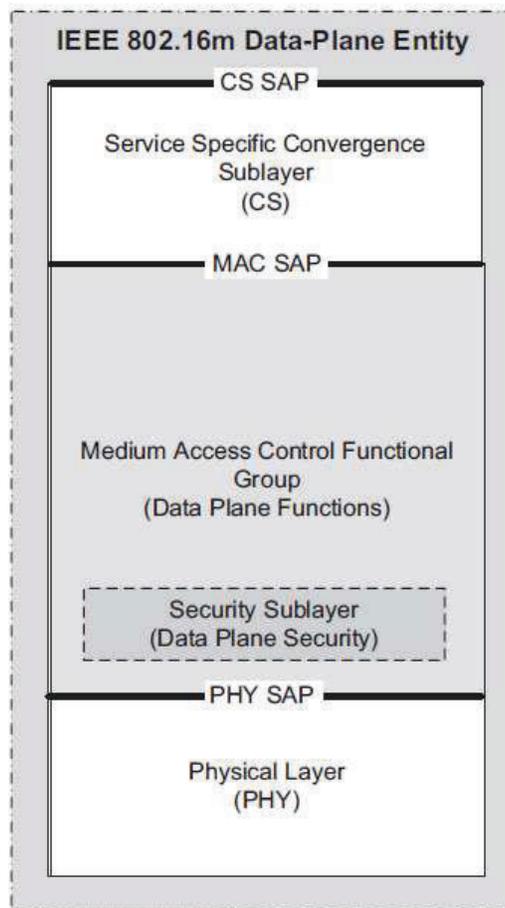


Figura 2.7 La entidad del plano de datos IEEE 802.16m³⁴

En aplicaciones multimedia de streaming, el overhead³⁵ de las cabeceras payload del Protocolo de Internet (IP), Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP) y

³⁴ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

³⁵ Overhead es el desperdicio de ancho de banda, causado por la información adicional (de control, de secuencia, etc.) que debe viajar además de los datos, en los paquetes de un medio de comunicación. El overhead afecta al Throughput (cantidad de datos por unidad de tiempo que se entregan, mediante de un medio físico o lógico, en un nodo de la red), de una conexión.

Protocolo de Transporte de Tiempo-Real (RTP) son de 40 bytes para IPv4 (o 60 bytes para IPv6).

Para voz sobre IP, esto corresponde a aproximadamente 60% de la cantidad total de datos de voz codificados. Estos grandes overheads podrían ser tolerables en enlaces cableados en los que la capacidad, a menudo, no es un problema, pero son excesivos para sistemas inalámbricos en los que el ancho de banda es escaso. El estándar IEEE 802.16 define un algoritmo nativo de compresión de cabecera que es parte de la sub capa de convergencia.

La Supresión del Payload de Cabecera (PHS) definida en el estándar IEEE 802.16, comprime las partes repetitivas o redundantes del payload de la cabecera recibida de la capa de red. La operación PHS se basa en las reglas PHS, las cuales proveen todos los parámetros correspondientes a la supresión de cabecera del SDU. También hay soporte para otros algoritmos de compresión de cabecera tales como Compresión Robusta de Cabecera (RoHC) definida por IETF.

Las PDUs MAC que contienen datos de usuario son procesadas por la capa física para la transmisión por aire. Debe notarse que el procesamiento de capa física del tráfico de usuario puede ser diferente en términos de modos permisibles de MIMO o los esquemas de modulación y codificación utilizados [3].

2.2.3 PLANO DE CONTROL

El plano de control se refiere al conjunto de funciones que se necesitan para mantener varias configuraciones, coordinación, señalización y administración del recurso radioeléctrico.

El plano de control IEEE 802.16m comprende la Administración y Control del Recurso de Radio (RRCM), el grupo funcional MAC, y los protocolos de capa física correspondientes a la ruta de control. En la RRCM se incluyen todas las funciones de control y administración tales como gestión de entrada/re-entrada a la red, paging y administración del modo inactivo, servicio de multicast y

broadcast, etc. En otros sistemas como 3GPP LTE, este grupo de funciones se conoce como Control del Recurso de Radio (RRC).

El grupo funcional MAC consiste de funciones para la ejecución de control y señalización a nivel de capa física, servicio de planificación, QoS, etc. En otros estándares de interface de aire, este grupo funcional corresponde al Control de Enlace de Radio (RLC) y capas MAC, como en 3GPP LTE.

La siguiente Figura 2.8 ilustra la entidad del plano de control IEEE 802.16m.

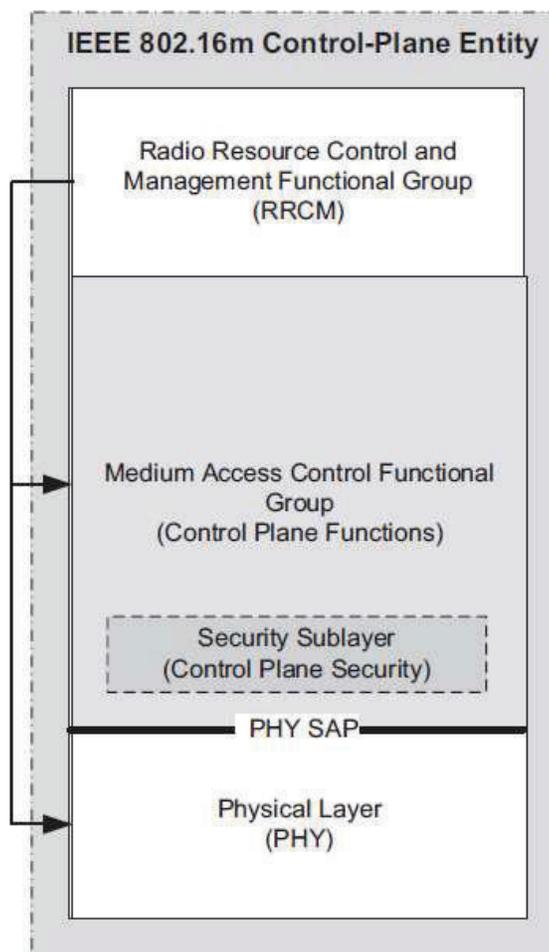


Figura 2.8 La entidad del plano de control IEEE 802.16m³⁶

³⁶ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

La información de control se comunica con la estación móvil a través de mensajes de control MAC.

La subcapa de seguridad que se muestra en la Figura 2.7 está delineada con línea punteada, ya que IEEE 802.16m encripta y protege selectivamente los mensajes de control unicast MAC. Si se utiliza la protección selectiva de confidencialidad, los elementos negociados para la generación de claves y suites de cifrado son usados para encriptar los mensajes de control.

Existen tres niveles de protección selectiva de confidencialidad aplicados a los mensajes de control MAC en IEEE 802.16m:

1. Sin protección, en el que la MS y BS no comparten un contexto de seguridad, o en el que no se requiere protección por lo que los mensajes de control no se encriptan ni son autenticados. Los mensajes previos a la fase de autorización también caen en esta categoría;
2. Código de autenticación de mensajes basado en el cifrado;
3. Encriptación avanzada, basada en el estándar (AES-CCM) protege la integridad del payload y cabecera MAC.

2.2.4 PLANO DE ADMINISTRACIÓN

Un plano de administración se define por una administración externa y la configuración del sistema. De ahí que toda entidad de administración y protocolo de configuración, así como la base de la información de administración cae en la categoría de plano de control.

2.2.5 PUNTO DE ACCESO AL SERVICIO (SAP)

Un Punto de Acceso al Servicio (SAP) se define como un punto de referencia en un stack de protocolos, en el que los servicios de una capa están disponibles para su capa vecina inmediata.

En el modelo de referencia IEEE 802.16 existe un número de SAPs que conectan las capas adyacentes de protocolos incluidas la PHY, la MAC y los SAPs CS.

2.2.6 MODELO DE REFERENCIA DE HANDOVER INDEPENDIENTE DEL MEDIO PARA IEEE 802.16

El estándar IEEE 802.21-2008 provee inteligencia a nivel de capa de enlace y otra información relacionada con la red hacia capas superiores para optimizar los handovers entre redes heterogéneas [3]. Esto incluye a los tipos de medios especificados por 3GPP, 3GPP2, y los medios cableados e inalámbricos de la familia de estándares IEEE 802. En el estándar IEEE 802.21-2008, “el medio” se refiere al método o modo de acceso a un sistema de telecomunicaciones (como por ejemplo, cable, radio, satélite), opuesto a los aspectos sensoriales de la comunicación (como el audio o video). El estándar indica el soporte de handovers para usuarios móviles y fijos. Para los usuarios móviles, los handovers se vuelven inminentes cuando están rodeados por cambios en el ambiente de red, haciendo que una red sea más atractiva que otra. En una transición de red durante una llamada telefónica, el handover debe ejecutarse de tal manera que cualquier interrupción perceptible sea minimizada.

El estándar soporta el uso cooperativo de la información disponible en el nodo móvil y dentro de la infraestructura de red. El nodo móvil está bien posicionado para detectar redes disponibles, y la infraestructura de red es compatible para almacenar la información global de la red, como las listas de celdas vecinas, ubicación de los nodos móviles, y disponibilidad de servicio de las capas superiores. El nodo móvil y la red toman decisiones acerca de la conectividad. En general, el nodo móvil y los puntos de amarre de red (como las estaciones base y los puntos de acceso) pueden ser multi-modal (es decir, la capacidad de soportar múltiples estándares de radio y soporte de conexiones simultáneas en más de una interface de radio).

2.3 ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS IEEE 802.16M

En este punto se examinará más a fondo los elementos funcionales de cada capa de protocolos y sus interacciones.

Las funciones de parte común de la sub capa MAC 802.16m se clasifican en grupo de control y administración del recurso de radio y grupo funcional de control de acceso al medio. Las funciones de plano de control y plano de datos también se clasifican de forma separada, permitiendo un método más organizado, eficiente y estructurado para la especificación de los servicios MAC en la especificación del estándar IEEE802.16m [15].

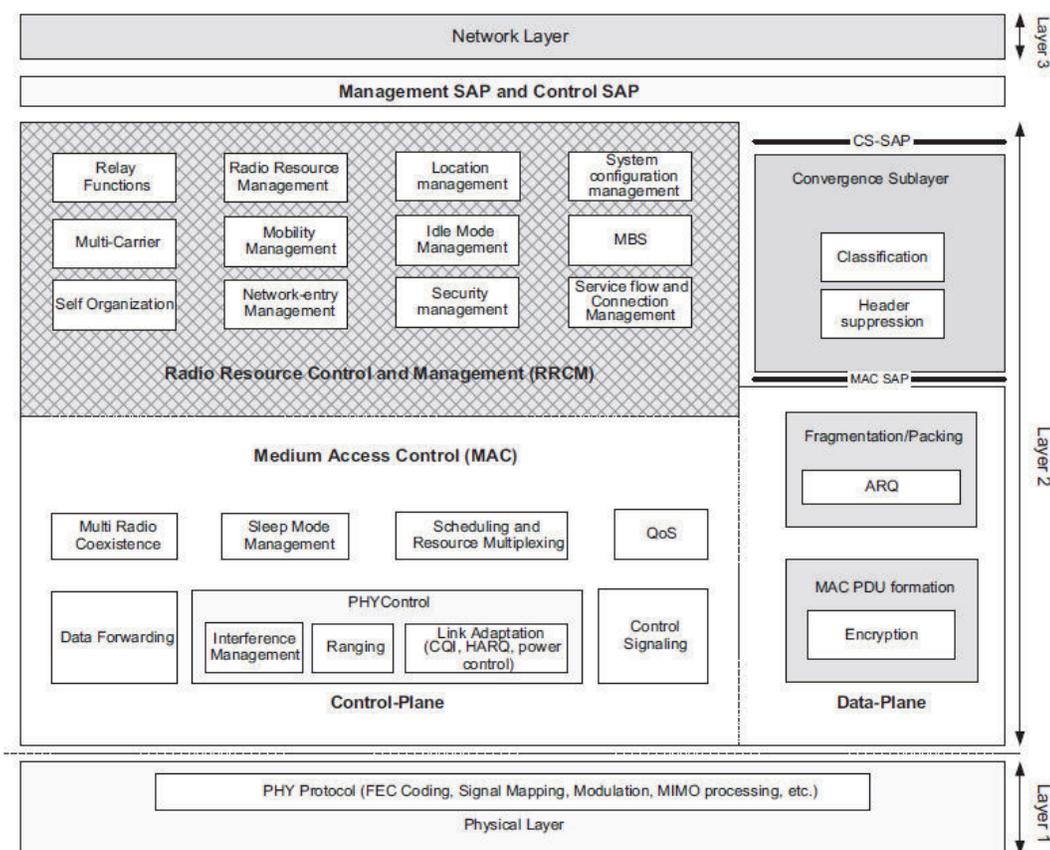


Figura 2.9 Stack de protocolos general IEEE 802.16m³⁷

Como se muestra en la Figura 2.9, el grupo funcional de control y administración del recurso de radio comprende varios bloques funcionales que incluye:

1. El bloque de control del recurso de radio, que ajusta los parámetros de red relacionados con la carga de tráfico y también incluye las funciones de

³⁷ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

control de carga (balanceo de carga), control de admisión y control de interferencia;

2. El bloque de administración de movilidad escanea las BSs vecinas y decide si la MS debe o no ejecutar la operación del handover;
3. El bloque de gestión de entrada a la red controla la inicialización y los procedimientos de acceso, y genera mensajes de control durante dichas fases;
4. Bloque de administración de la ubicación soporta los servicios basados en la localización (LBS), genera mensajes incluyendo la información LBS y gestiona la operación de la actualización de la ubicación durante el modo inactivo;
5. Bloque de control de modo inactivo, que controla la operación en modo pasivo, y genera el mensaje de aviso de paging desde el controlador de paging en el núcleo de red³⁸;
6. El bloque de administración de seguridad ejecuta la gestión de las claves para proteger la comunicación;
7. Bloque de administración de configuración del sistema administra los parámetros de configuración del sistema, y genera mensajes broadcast de control tales como cabeceras súper trama;
8. El bloque de servicio Multicast y Broadcast (MBS) controla y genera mensajes y datos de control asociados con MBS;
9. El bloque de Flujo de Servicio y Gestión de Conexión asigna el Identificador de Estación (STID) y los Indicadores de Flujo (FIDs) durante los procedimientos de acceso/handover en la creación del flujo de servicio.

El grupo funcional de control de acceso al medio, sobre el plano de control, incluye bloques funcionales relacionados a la capa física y controles de enlace tales como:

³⁸ El núcleo de red o core network es la parte central de una red de telecomunicaciones, la misma que provee varios servicios a los abonados conectados por la red de acceso. Una de sus funciones es la de enlazar las llamadas telefónicas a lo largo de la Red Telefónica Conmutada.

1. Bloque de control PHY (de Capa Física), el cual ejecuta la señalización PHY como el timbrado, medida de la calidad del canal/la retroalimentación (CQI), y señalización HARQ ACK o NACK;
2. El bloque de señalización de control que genera los mensajes de ubicación de los recursos, tales como protocolo avanzado de acceso al medio, y puede comunicarse con el bloque de planificación para poder operar apropiadamente de acuerdo al período de hibernación;
3. Bloque de Calidad de Servicio, que realiza el control de velocidad basado en los parámetros de entrada del QoS desde la función de gestión para cada conexión;
4. Bloque de Planificación y recurso de Multiplexación, programa y multiplexa los paquetes en base a las propiedades de las conexiones.

El grupo funcional MAC en el plano de datos incluyen bloques funcionales tales como:

1. Bloque de Fragmentación/empaquetamiento, que realiza la fragmentación o empaquetamiento de las MAC SDUs (MSDU) en base a la entrada desde el bloque de planificación y recurso de multiplexación;
2. El bloque de Petición de Repetición Automática ejecuta la función MAC ARQ. Para conexiones ARQ-habilitadas, un bloque ARQ se genera a partir de un MSDU fragmentado o empaquetado del mismo flujo y secuencialmente numerado;
3. Bloque de protocolo MAC de formación de la unidad de datos construye MAC PDU (MPDU) de tal forma que la BS/MS pueda transmitir tráfico de usuario o mensajes de control dentro de canales PHY.

La estructura de protocolos IEEE 802.16m es similar a la de IEEE 802.16, con algunos bloques funcionales adicionales en el plano de control para nuevas características incluyendo las siguientes:

1. Funciones de repetición que habilitan las funcionalidades de repetición y enrutamiento de paquetes en redes relay;
2. Funciones de auto-organización y auto-optimización;

3. Las funciones multi-portadora habilitan el control y operación de un número de portadoras RF adyacentes y no-adyacentes (es decir, operación virtual en banda ancha) en el que las portadoras RF pueden ser asignadas a servicios unicast y/o multicast y broadcast. Una instancia MAC será usada para controlar varias capas físicas. El terminal móvil no tiene que soportar la operación multi-portadora. Sin embargo, si el dispositivo soporta la operación multi-portadora, podría recibir los canales de control, señalización, broadcast y sincronización a través de una portadora primaria, y asignaciones (o servicios) de tráfico a través de portadoras secundarias;
4. Funciones de coexistencia multi-radio en IEEE802.16m habilitan la MS para generar mensajes de control MAC para poder reportar información en sus actividades de radio combinadas, y habilitar la BS para generar mensajes de control MAC para responder con las acciones apropiadas para soportar la operación de coexistencia multi-radio. Además, el bloque de coexistencia multi-radio en la BS se comunica con el bloque funcional de planificación para asistir apropiadamente con la programación de la MS de acuerdo a las actividades de coexistencia reportadas. La Figura 2.10 muestra un modelo genérico de coexistencia multi-radio para IEEE 802.16m.

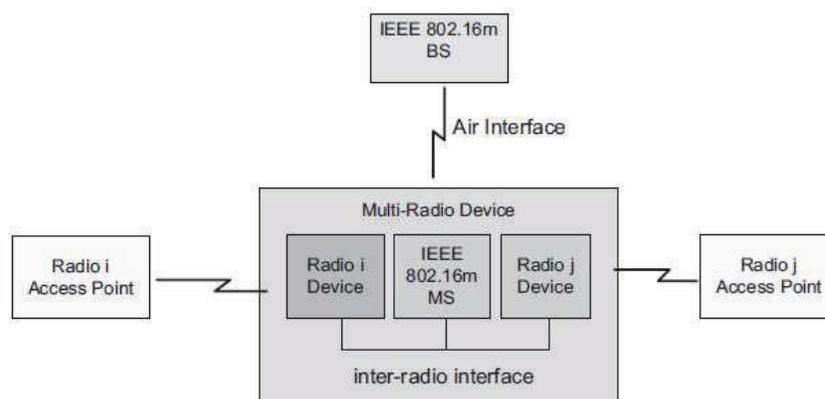


Figura 2.10 Un modelo genérico de coexistencia multi-radio³⁹

³⁹ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

La función de coexistencia multi-radio es independiente del modo de operación de hibernación, para habilitar la eficiencia de potencia óptima con un nivel alto de soporte de coexistencia. Sin embargo, cuando el modo de hibernación provee suficiente soporte de coexistencia combinado, la función de coexistencia multi-radio podría no ser usada;

5. Las funciones de gestión de la interferencia son utilizadas para administrar los efectos de interferencia inter-celda/sector. Los procedimientos incluyen funciones de capa MAC (como los reportes de medida/valoración de la interferencia a través de señalización MAC y mitigación de interferencia con el re-úso de programación y flexibilidad de frecuencia), y funciones PHY (control de potencia de transmisión, randomización de inferencia, cancelación de interferencia, medición de la interferencia). Las funciones de coordinación inter-BS coordinan la operación de múltiples estaciones base al intercambiar información acerca de las estadísticas de interferencia entre estaciones base a través de señalización del núcleo de red.

2.3.1 ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS PARA SOPORTE DE OPERACIÓN MULTI-PORTADORA

La estructura genérica de protocolos para el soporte de operación multi-portadora se ilustra en la Figura 2.11.

Una instancia MAC controla un número de capas físicas a lo largo de múltiples bandas de frecuencia. Algunos mensajes MAC que se transmiten sobre una portadora RF también pueden aplicar para otras portadoras RF.

Los canales RF podrían ser de diferentes anchos de banda (como 5, 10 y 20 MHz), y ser contiguos o no en frecuencia. Los canales RF podrían soportar diferentes esquemas de duplexación, como el modo por duplexación por división de frecuencia (FDD), por duplexación por división de tiempo (TDD) o una combinación de portadoras RF multicast y/o unicast [15].

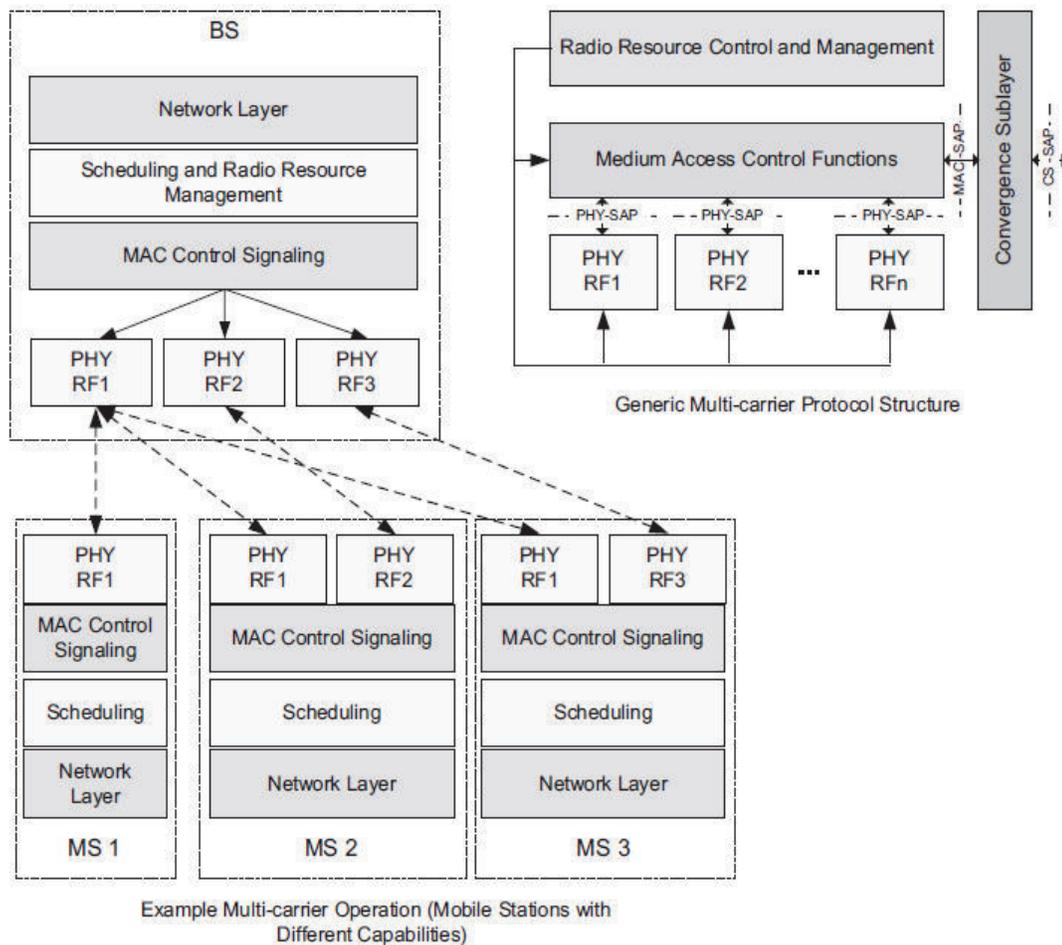


Figura 2.11 Operación multi-portadora utilizando una instancia MAC simple⁴⁰

Como se muestra en la Figura 2.11, la entidad MAC puede proveer servicios simultáneos a estaciones móviles con diferentes capacidades de ancho de banda; tales como operación sobre un canal RF en un tiempo, o combinación a lo largo de bandas contiguas o no contiguas de frecuencia.

2.3.2 ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS PARA SOPORTE DE SERVICIOS MULTICAST Y BROADCAST

Los servicios multicast y broadcast son esquemas de comunicación punto-multipunto en los que los paquetes de datos se transmiten simultáneamente

⁴⁰ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

desde una sola fuente a múltiples destinos. El término broadcast se refiere a la capacidad de entregar contenido a todos los usuarios. Multicast en cambio se refiere a la distribución de contenido entre un grupo específico de usuarios suscritos a dichos servicios. El contenido multicast y broadcast se transmite sobre una zona geográfica referida como zona. Una zona MBS es un conjunto de una o más estaciones base transmitiendo el mismo contenido. Cada BS capaz de brindar servicio MBS podría pertenecer a una o más zonas MBS. Cada zona MBS está identificada por un identificador único de zona.

Una MS puede recibir contenido MBS dentro de una zona MBS en estado de conexión o estado inactivo. Una BS puede proveer servicios MBS correspondientes a diferentes zonas MBS. Las ráfagas de datos MBS pueden transmitirse en forma de varios sub-paquetes, y dichos sub-paquetes podrían ser transmitidos en diferentes intervalos de tiempo para permitir que la MS combine los sub-paquetes sin la transmisión de un acuse de recibo.

Las estaciones móviles en una zona MBS están asignadas a un identificador de estación multicast común. IEEE 802.16m soporta dos tipos de acceso MBS: (1) simple-BS; y (2) múltiple-BS. El acceso simple-BS se implementa sobre conexiones dentro de una BS; mientras que el acceso multi-BS se realiza al transmitir información MBS a través de múltiples estaciones base. Las PDUs MBS son transmitidas por todas las estaciones base en la misma zona MBS. La transmisión está soportada en el modo de diversidad no-macro o en el modo de macro diversidad. Una zona MBS podría estar formada por una sola BS.

La MS puede soportar los accesos simple-BS y múltiple-BS. El servicio MBS podría ser entregado a través de una portadora RF dedicada o una portadora RF mixta unicast, multicast y broadcast.

El Servicio Mejorado Multicast y Broadcast IEEE 802.16m (E-MBS) consiste en protocolos MAC y PHY que definen las interacciones entre estaciones móviles y estaciones base. Aunque las definiciones básicas de E-MBS IEEE 802.16m son

consistentes con el estándar IEEE 802.16-2009, se han incorporado algunas mejoras y extensiones para proveer funcionalidad y desempeño mejorados [15].

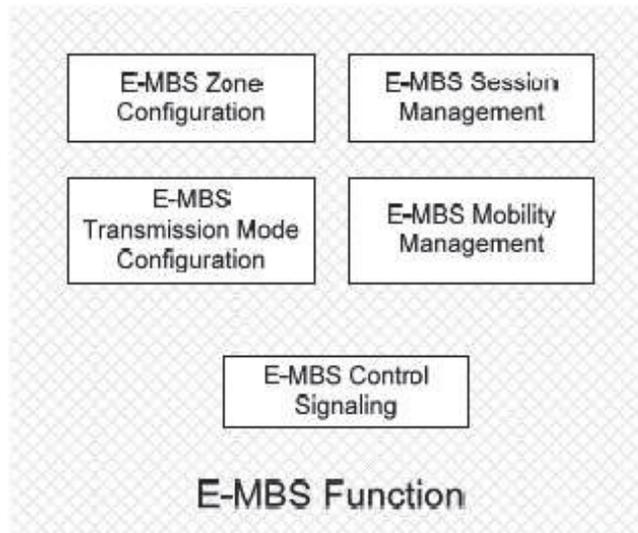


Figura 2.12 Desglose de la función E-MBS (plano de control)⁴¹

El desglose de la función E-MBS MAC en componentes constituyentes se muestra en la Figura 2.12. En el plano de control, la función E-MBS MAC opera en conjunto con otros servicios MAC unicast. Las funciones MAC unicast pueden operar independientemente de la función E-MBS MAC. Esta puede operar de manera diferente dependiendo de si está operando en modo activo o inactivo.

2.4 ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS 3GPP LTE/LTE-ADVANCED (EVOLUCIÓN AVANZADA A LARGO PLAZO).

Como se mencionó anteriormente, se pasará a detallar de forma breve la estructura de protocolos 3GPP LTE/LTE-Advanced. Una rápida revisión de su estructura de protocolos puede dar una vista general de las semejanzas y diferencias de ambas, así como una mayor comprensión del siguiente tema a tratar: la sub capa de convergencia en IEEE 802.16m.

⁴¹ IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group. IEEE 802.16m System Description Document (SDD).

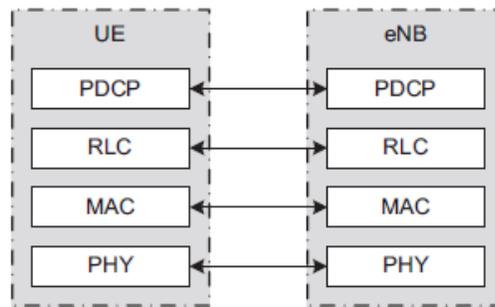


Figura 2.13 Stack de protocolos de plano de usuario

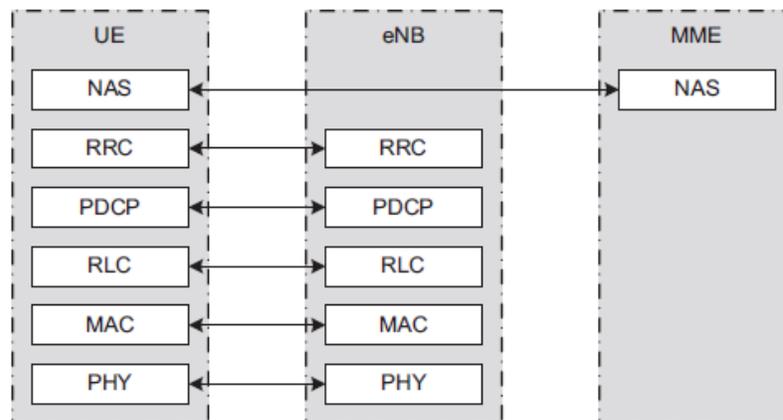


Figura 2.14 Stack de protocolos de plano de control⁴²

Las Figuras 2.13 y 2.14 ilustran stacks de protocolos del plano de usuario (U-plane) y el plano de control (C-plane) respectivamente.

En el C-plane, el bloque funcional del estrato de sin acceso (NAS) es utilizado para acoplamiento a la red, autenticación, organización de portadoras, y manejo de movilidad. Todos los mensajes NAS están cifrados y con integridad protegida por la Entidad de Administración de Movilidad (MME) y Equipo de Usuario (UE), o estación móvil en 3GPP LTE.

Las funciones de capa 2 en 3GPP LTE están clasificadas en las siguientes categorías: Control de Acceso al Medio (MAC); Control del Enlace de Radio (RLC); y Protocolo de convergencia de Paquetes de Datos (PDCP).

⁴² Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

Las Figuras 2.15 y 2.16 muestran la estructura de los protocolos de capa 2 en el downlink y uplink 3GPP LTE. El SAP para comunicación peer-to-peer está marcado con círculos en la interface entre las sub-capas. El SAP entre la capa física y la sub-capa MAC provee los canales de transporte. El SAP entre la sub-capa MAC y la sub-capa RLC provee los canales lógicos [3] [10].

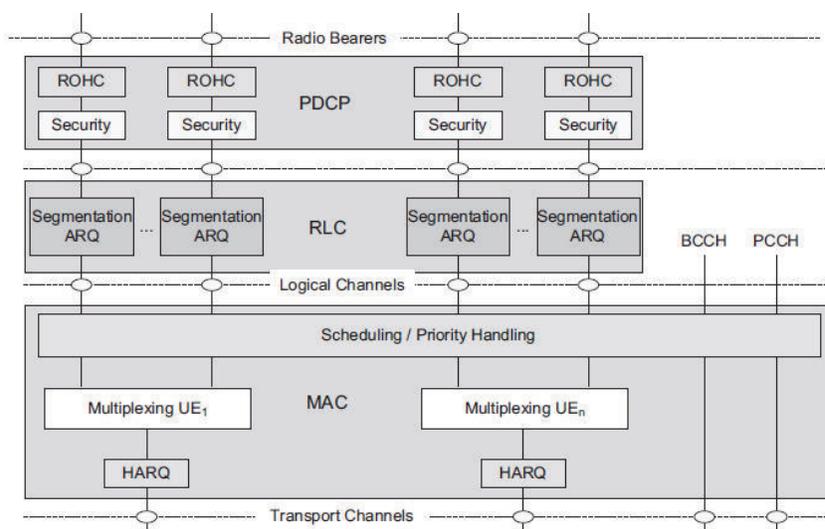


Figura 2.15 Estructura de la capa 2 en 3GPP LTE en el downlink

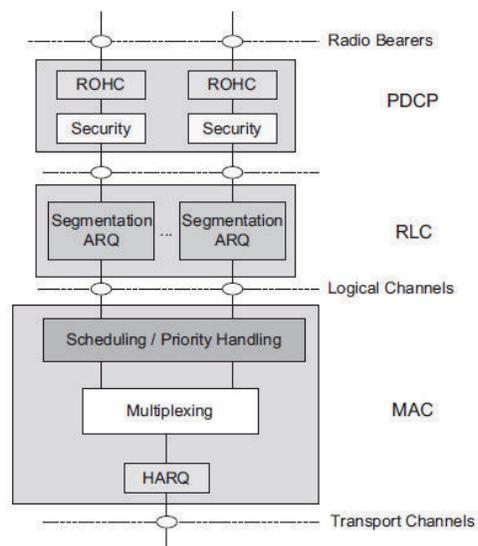


Figura 2.16 Estructura de la capa 2 3GPP LTE en el uplink⁴³

⁴³ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

La multiplexación de varios canales lógicos (como portadoras de radio) en el mismo canal de transporte (o bloque de transporte) es ejecutado por la sub-capa MAC. Cada canal lógico está definido por el tipo de información que es transferida. Los canales lógicos están generalmente clasificados en dos grupos (1) canales de control (para la transferencia de información de plano de control); y (2) canales de tráfico (para la transferencia de información de plano de usuario).

Como se mostró en la Figura 2-14, la capa RRC en el NodoB evolucionado (eNB), o estación base en 3GPP LTE, toma la decisión de handover en base a las mediciones reportadas a celdas vecinas por la UE, realiza el paging de los usuarios sobre la interfaz de aire, envía la información del sistema de broadcast, controla la medición de UE y reporte de funciones tales como la periodicidad de los reportes del indicador de calidad del canal, y asigna identificadores temporales a nivel de celda para usuarios activos. También ejecuta la transferencia del contexto UE desde el eNB en servicio al eNB destinatario durante el handover, y ejecuta la protección de integridad de los mensajes RRC.

La capa RRC es responsable de la configuración y mantenimiento de las portadoras de radio. Nótese que la capa RRC en la jerarquía de protocolos 3GPP está considerada como Capa 3.

Los servicios principales y funciones de la sub-capa RRC incluyen:

1. El Broadcast de la información del sistema;
2. Paging;
3. Establecimiento, mantenimiento y liberación de una conexión RRC entre la UE y E-UTRAN, incluyendo la localización de los identificadores entre el UE y E-UTRAN y configuración de las portadoras de radio de señalización para conexión RRC;
4. Funciones de seguridad, incluyendo la administración de claves;
5. Establecimiento, configuración, mantenimiento y liberación de las portadoras de radio punto a punto;
6. Funciones de movilidad, incluyendo el reporte de mediciones del UE y control del reporte para movilidad inter-celda e inter RAT, handover,

selección y re-selección de la celda UE, control de la selección y re-selección de celda;

7. Establecimiento, configuración, mantenimiento y liberación de las portadoras de radio para el Servicio de Multimedia Broadcast Multicast (MBMS);
8. Funciones de manejo de QoS.

En el U-plane, la capa PDCP es la responsable por la compresión y descompresión de las cabeceras de los paquetes IP usando la compresión robusta de cabecera para habilitar el uso eficiente de los recursos de la interface de aire. Esta capa también realiza el cifrado del tráfico del plano de usuario y del plano de control. Los servicios y funciones provistos por el PDCP para el C-plane incluyendo el cifrado y la protección de integridad, y la transferencia de la información del plano de control en el que PDCP recibe SDUs PDCP desde RRC y los envía a la capa de control del enlace de radio.

La capa RLC es utilizada para formatear y transportar tráfico entre el UE y la eNB. RLC provee tres modos diferentes de confiabilidad para el transporte de datos, es decir, el modo de reconocimiento (AM), modo de no-reconocimiento (UM), y modo transparente (TM). El modo de no-reconocimiento es adecuado para el transporte de servicios en tiempo real ya que tales servicios son sensibles a los retardos y no pueden tolerar el retardo debido a las retransmisiones. El modo de reconocimiento es apropiado para servicio en tiempo no real como la transferencia de archivos. El modo transparente es utilizado cuando el tamaño de las unidades de paquetes de datos se conoce anteriormente, tales como la información de configuración para el sistema de broadcast.

Los servicios y funciones provistos por la capa MAC pueden resumirse de la siguiente manera:

1. Mapeo entre canales lógicos y canales de transporte;
2. Multiplexación/de-multiplexación de las unidades de datos del protocolo RLC correspondiente a una o distintas portadoras de radio en/desde los bloques de transporte entregados a/desde la capa física en los canales de transporte;

3. El reporte de las mediciones del volumen de tráfico;
4. Error de conexión a través de HARQ;
5. Manejo prioritario entre canales lógicos de un UE;
6. Manejo prioritario entre UEs a través de coordinación dinámica;
7. Selección del formato de transporte.

E-UTRA provee funcionalidades ARQ y HARQ. La funcionalidad ARQ provee error de conexión por retransmisiones en modo de reconocimiento en capa 2. La funcionalidad HARQ asegura la entrega entre entidades pares en capa 1. HARQ dentro de la capa MAC está caracterizada por un proceso N de protocolo stop-and-wait y retransmisión de los bloques de transporte hasta las fallas de las transmisiones iniciales. Se soportan un total de ocho procesos HARQ.

El sistema 3GPP LTE-Advanced extiende la capacidad de 3GPP LTE Rel-8 con soporte de agregación de portadora, en el que dos o más portadoras componentes se agregan para poder soportar una transmisión más amplia de anchos de banda de hasta 100 MHz y para agregación de espectro. Una terminal de usuario podría recibir o transmitir simultáneamente una o múltiples portadoras dependiendo de sus capacidades. Desde la perspectiva del UE, los aspectos capa 2 de HARQ son similares a los de Rel-8. Hay un bloque de transporte (en ausencia de multiplexación espacial, hasta dos bloques de transporte en caso de multiplexación espacial) y una entidad HARQ independiente por portadora programada. Cada bloque de transporte está mapeado para una sola portadora en el cual todas las retransmisiones HARQ podrían tomar lugar. Un UE podría estar programado sobre múltiples portadoras simultáneamente, pero más de un procedimiento aleatorio de acceso se llevará a cabo en cualquier tiempo.

Siempre que un UE esté configurado con sólo una portadora, el DRX (Transmisión Discontinua) 3GPP LTE Rel-9 es la línea de partida. De esa forma, la estructura capa 2 de 3GPP LTE-Advanced es similar al de 3GPP LTE Rel-8, excepto por la adición de la funcionalidad multi-portadora; sin embargo, la naturaleza multi-portadora de la capa física es sólo expuesta a la capa MAC a través de los canales de transporte, en el que una entidad HARQ se requiere por

cada portadora. La diferencia principal entre el control MAC y RRC yace en la confiabilidad de la señalización. La señalización correspondiente a las transiciones de estado y configuraciones de portadoras de radio debería ser ejecutado por la sub-capas RRC debido a la confiabilidad de la señalización.

La capa física provee servicios de transferencia a las capas MAC y superiores. Los servicios de transporte de capa física son descritos por cómo y con qué información característica está siendo transferida sobre la interfaz de radio. Esto debería ser claramente separado de la clasificación de lo que es transportado, lo cual se relaciona con el concepto de canales lógicos en la sub-capas MAC.

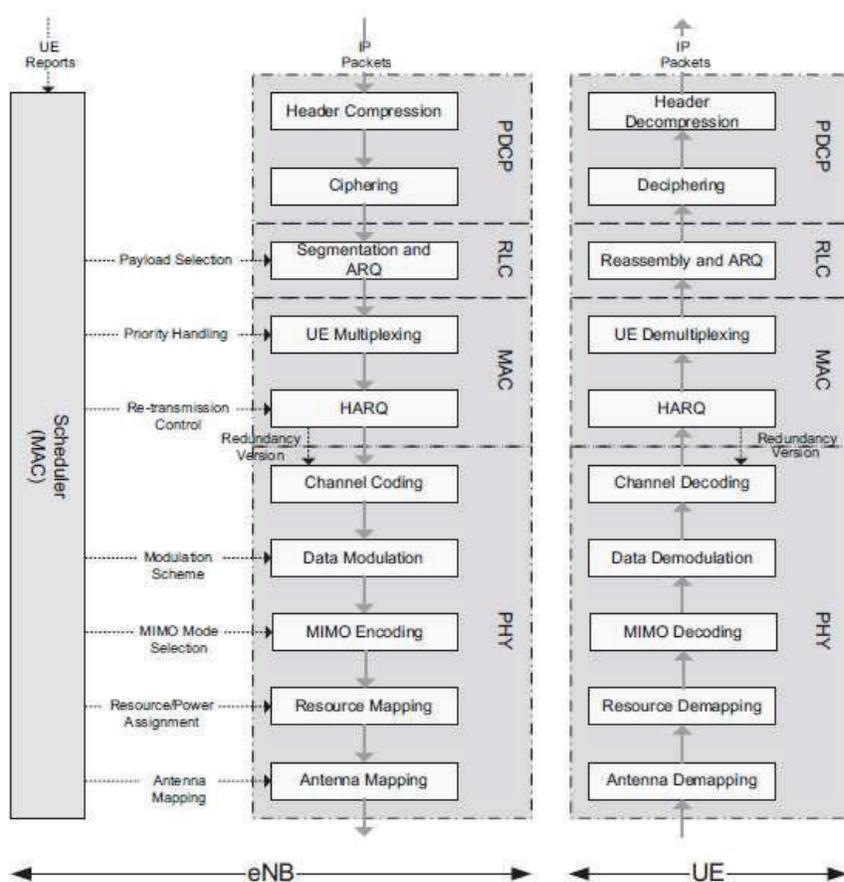


Figura 2.17 Protocolos de procesamiento de datos y señalización en la eNB y UE⁴⁴

⁴⁴ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

La Figura 2.17 ilustra el procesamiento de los paquetes IP en los lados transmisor y receptor en la eNB y UE, respectivamente.

Una de las diferencias notables con el procesamiento de datos IEEE 802.16m es la localización de la encriptación o cifrado del área de datos de usuario. A diferencia de IEEE 802.16m, 3GPP LTE encripta los paquetes en la capa PDCP antes de entregar las SDUs a las capas RLC y MAC. La estación base coordinadora genera las señales apropiadas de control para las capas RLC, MAC y PHY basada en los reportes periódicos de las mediciones recibidas desde cada UE para asegurar la robustez y confiabilidad de las conexiones, dada las condiciones variantes del canal de radio.

2.5 LA SUB-CAPA DE CONVERGENCIA EN IEEE 802.16M

En esta sección se dará una rápida explicación de los componentes funcionales y protocolos asociados específicamente con la sub capa de convergencia (CS) IEEE 802.16m [15].

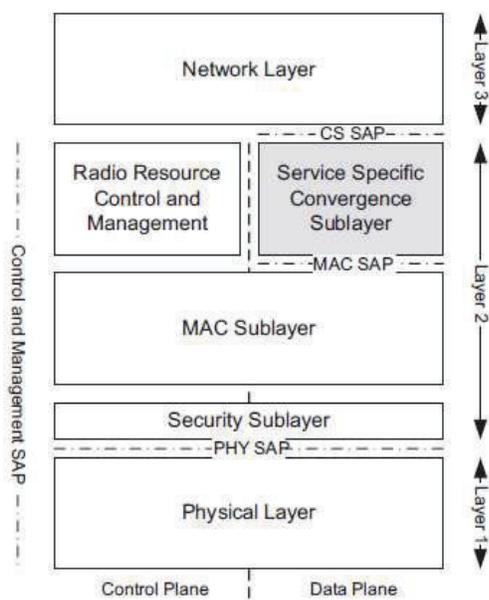


Figura 2.18 Ubicación de la sub capa de convergencia en la estructura de protocolos IEEE 802.16m⁴⁵

⁴⁵ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

Como se muestra en la Figura 2.18, la CS está ubicada en lo más alto de la subcapa MAC IEEE 802.16 y la subcapa MAC de interfaces, con los protocolos de capa de red y siguientes realizando las siguientes funciones:

1. Aceptar las Unidades de Datos de Protocolo (PDUs) de la capa de red;
2. Ejecutar la clasificación de PDUs de capa superior;
3. Procesar los PDUs de capa superior basada en la clasificación (es decir, en la compresión de la cabecera del payload);
4. Entregar PDUs CS al Punto de Acceso al Servicio (SAP) MAC;
5. Recibir PDUs CS de la entidad par.

La subcapa de convergencia es parte de la clase de protocolos de capa de Enlace de Datos del Modelo OSI (conocida también como Capa 2) y enlazada con la capa de red y la subcapa MAC a través de SAP CS y SAP MAC, respectivamente.

Las subcapas de convergencia en IEEE 802.16m y en el estándar IEEE 802.16-2009 tienen un comportamiento similar, con unas únicas diferencias en la asignación y uso de los identificadores de conexión en ambos estándares, así como la exclusión de algunos protocolos legados sin utilizar. La CS IP (IPCS) y la CS de Paquetes Genéricos (GPCS) son dos tipos de CS de servicio específico que son soportadas por IEEE 802.16m, las cuales son utilizadas para transportar paquetes de datos sobre una interfaz de aire. Cuando se usa GPCS, la clasificación se realiza en las capas de protocolos encima de la CS, y la información relevante para ejecutar la clasificación es transparentemente provista durante la configuración o cambio de la conexión. La CS del Modo de Transferencia Asíncrona (ATM CS) y la CS Ethernet, variantes especificadas en el estándar IEEE 802.16-2009 ya no son soportadas en IEEE 802.16m debido a la falta de interés por parte de la industria. Otros estándares de interfaz de aire tales como 3GPP LTE también usan dichas interfaces lógicas entre sus SAPs de capa 3, entre otras funciones listadas anteriormente, así como el cifrado y encriptación de las PDUs MAC [3] [7] [10].

Esta es una diferencia importante entre las funciones MAC de IEEE 802.16 y 3GPP LTE.

Como se muestra en la Figura 2.18, en IEEE 802.16m, las PDUs MAC son encriptadas y provistas de protección de integridad en una sub capa de convergencia, mientras que en 3GPP LTE, las SDUs MAC ya están encriptadas y con integridad protegida en la capa PDCDP.

Esto provee una descripción sistemática detallada de las sub-capas de convergencia en IEEE 802.16m y sus protocolos constituyentes.

2.5.1 CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL FLUJO DE SERVICIO

Un flujo de servicio es un flujo unidireccional de paquetes con un conjunto particular de parámetros de QoS y está identificado por un Identificador de Flujo de Servicio (SFID). Los parámetros de QoS podrían incluir prioridad de tráfico, tasa máxima de tráfico continuo, tasa máxima de ráfaga, tasa mínima tolerable, tipo de programación/planificación, tipo de ARQ, retardo máximo, jitter tolerado, tamaño y tipo de SDU, mecanismo de petición de ancho de banda a ser usado, etc. Los flujos de servicio pueden ser provistos a través del sistema de control de red o creados dinámicamente a través de mecanismos definidos de señalización en el estándar. La BS es la responsable de asignar el SFID y mapearlo para conexiones únicas de transporte [3].

2.5.1.1 Atributos del Flujo de Servicio.

Un flujo de servicio está caracterizado por los siguientes atributos:

1. Identificador de Flujo de Servicio;
2. Identificador de Estación (STID): la BS IEEE 802.16m asigna un STID de 12 bit de longitud a la MS durante el ingreso/re-ingreso a la red, que identifica de manera única a la MS dentro del dominio de la BS. Cada MS IEEE802.16m registrada en la red tienen un STID asignado. Ciertos valores de STID están reservados para broadcast, multicast, alerta de emergencia y timbrado. El STID son los doce bits más significativos de los 16 bit que conforma el Identificador de Conexión (CID) definido en el estándar

IEEE802.16-2009. El CID de la conexión de transporte existe sólo cuando el flujo de servicio es admitido o está activo. La relación entre el SFID y el CID de transporte es única cuando se presenta. Un SFID nunca se asocia con más de un CID de transporte, y un CID de transporte nunca se asocia con más de un SFID.

3. Identificador de Flujo (FID); cada conexión MS IEEE 802.16m tiene asignada un FID de 4 bits que identifica de forma única la conexión dentro de la MS. El FID son los cuatro bits menos significativos de un CID de 16 bits, que identifica las conexiones de control y las de transporte. Ciertos valores de FID podrían ser reservados.
4. Módulo de Autorización: una función lógica dentro de la BS que aprueba o niega cada cambio en los parámetros y clasificadores de QoS y asociados con el flujo de servicio

2.5.2 SUB-CAPA DE CONVERGENCIA DE PAQUETES

La CS es una variante de la sub-capa de convergencia que une la red IP con el CPS MAC 802.16m [15]. La CS de paquetes realiza las siguientes funciones utilizando los servicios de capa MAC.

1. Clasificación de las PDUs de capa superior en conexiones de transporte apropiadas;
2. Compresión del Payload de la cabecera;
3. Entrega de las PDUs CS al SAP MAC para el transporte al SAP MAC par en el lado del receptor;
4. Recepción de la SDU CS desde el SAP MAC par;
5. Reconstrucción de cualquier payload de información en la cabecera.

La CS en el lado del transmisor es responsable de la entrega de los SDUs MAC (o los PDUs CS alternativamente) al SAP MAC. La MAC es responsable de la entrega de los SDUs MAC al SAP MAC par, en concordancia con la QoS, funciones de fragmentación, concatenación y otras de transporte asociadas con las características del flujo de servicio de la conexión. La CS receptora es

responsable de aceptar las PDUs MAC (o SDUs CS alternativamente) desde el SAP par, y los entrega a la entidad de capa superior.

2.5.3 SUB-CAPA GÉNÉRICA DE CONVERGENCIA DE PAQUETES

La CS genérica de Paquetes (GPCS) es una sub capa de convergencia de paquetes independiente de los protocolos, que puede soportar múltiples protocolos de capa de red (como IPv4, IPv6 o Ethernet IEEE802.3) sobre la interface de aire IEEE 802.16. Esta sub capa provee una capa de convergencia de paquetes. Utiliza el SAP MAC y expone un SAP a las aplicaciones GPCS. Esto no redefine o reemplaza otras sub-capas de convergencia, sino que provee un SAP que es de protocolo no-específico. Con GPCS, el análisis de un paquete ocurre sobre la sub-capa de convergencia, resultando en parámetros que son pasados al SAP GPCS para la clasificación [15].

El análisis de un paquete de capa superior es dejado a la aplicación GPCS. Para la MS y la BS, el protocolo de capa superior que se encuentra inmediatamente encima del GPCS IEEE 802.16 está definido por un parámetro TLV y el tipo de protocolo GPCS.

El protocolo GPCS define un conjunto de parámetros SAP como resultado del análisis de paquetes de capa superior. Estos son pasados desde la capa superior al GPCS en adición al paquete de datos. Para la MS y BS, los parámetros SAP en el estándar IEEE 802.16-2009 incluyen el SFID, la dirección MAC de la MS, datos, y longitud.

En IEEE 802.16m, la dirección MAC es reemplazada por el STID para la protección de la privacidad de usuario. La GPCS permite la multiplexación de múltiples tipos de protocolos (como IPv4 o IPv6) sobre la misma conexión IEEE 802.16 usando el protocolo apropiado de capa superior que soporte la multiplexación. Esta capacidad es señalada por el estándar IEEE 802.16-2009 en estaciones móviles y base usando el parámetro GPCS_PROTOCOL_TYPE y por IEEE 802.16m usando mensajes de Suma/Cambio/Borrado Dinámico de Servicio

que indica que se soportan protocolos múltiples para un flujo de conexión/servicio [15].

2.6 EL PROTOCOLO DE CONVERGENCIA DE PAQUETE DE DATOS 3GPP LTE

El Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos 3GPP LTE es parte de los protocolos capa 2 que provee los siguientes servicios y funciones a otras capas en el plano de usuario:

1. Compresión y descompresión de cabecera usando ROHC;
2. Transferencia de información de usuario;
3. Entrega secuencial de los PDUs de capa superior en el procedimiento de re-establecimiento del PDCP para RLC AM;
4. Detección duplicada de SDUs de capa inferior en el procedimiento de re-establecimiento PDCP para RLC AM;
5. Re-transmisión de los SDUs PDCP en el handover para RLC AM;
6. Cifrado y descifrado;
7. Eliminación de SDU en base a un timer en el uplink

Los servicios y funciones principales del PDCP en el plano de control incluyen Cifrado y Protección de Integridad, así como Transferencia de información del plano de control [10].

La Figura 2.19 ilustra una de las estructuras posibles para la sub-capa PDCP (sin restringir otras implementaciones), y se basa en la arquitectura de protocolo de interface de radio definida en la referencia 3GPP Ts36.300. Una PDU PDC es una cadena de bits que está alineada por byte [3]. Como se muestra en la Figura 2.19, cada portadora de radio (RB) está asociada con una entidad PDCP.

Cada entidad PDCP está asociada con una o dos (una por cada dirección) entidades RLC dependiendo de la característica de la portadora (por ejemplo, unidireccional o bidireccional) y modo RLC.

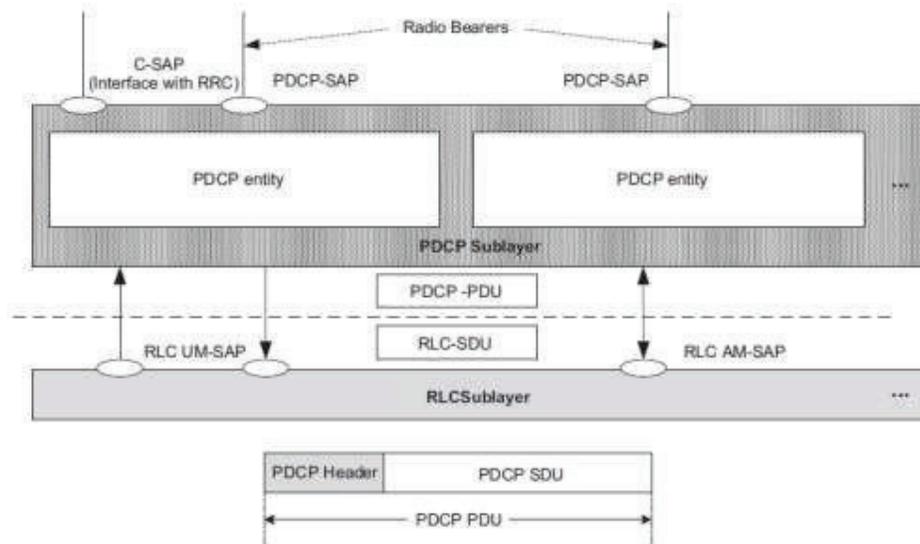


Figura 2.19 Sub-capas PDCP y estructura de la PDU PDCP⁴⁶

Las entidades PDCP están ubicadas en la sub-capas PDCP y son configuradas por las capas superiores. El SAP de Control (C-SAP) es la interfaz PDCP con la capa RRC.

Varias entidades PDCP podrían estar definidas para una UE. Cada entidad PDCP portando la información de plano de usuario puede configurarse para usar compresión de cabecera. Cada entidad PDCP lleva la información de una portadora de radio. LTE 3GPP soporta el protocolo ROHC como se especifica en IETF RFC 3095. Cada entidad PDCP utiliza una instancia ROHC. Una entidad PDCP está asociada con el plano de control o el plano de usuario. Dependiendo de qué portadora de radio está transportando la información.

La Figura 2.20 muestra la descomposición funcional de la entidad PDCP en la sub-capas PDCP. La figura está basada en la arquitectura de protocolos de interface de radio definida en 3GPP TS 36.300. PDCP provee servicios a la sub-capas RRC y capas superiores en el plano de usuario en la UE, o el remarkado en el Nodo B evolucionado (eNB).

⁴⁶ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

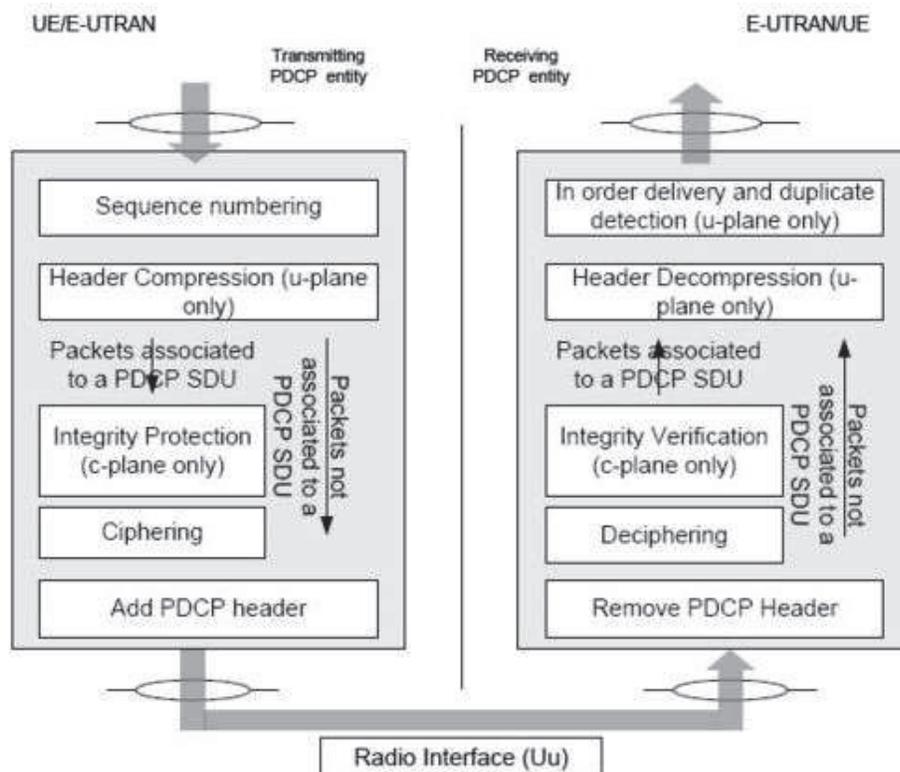


Figura 2.20 Descomposición funcional de entidades PDCP⁴⁷

Los siguientes servicios son provistos por PDCP a las capas superiores:

1. Transferencia de datos de plano de control y de plano de usuario;
2. Compresión de la cabecera del payload;
3. Cifrado;
4. Protección de integridad.

El máximo tamaño soportado de una SDU PDCP es de 8188 octetos. Los siguientes servicios son provistos por capas inferiores a la sub-capa PDCP:

1. Reconocimiento del servicio de transferencia de datos incluyendo indicación de entrega exitosa de los PDUs PDCP;
2. Fin del reconocimiento del servicio de transferencia de datos;
3. Entrega secuencial, excepto en el re-establecimiento de capas inferiores;

⁴⁷ <https://www.dolcera.com/wiki/index.php?title=LTE>

4. Eliminación de duplicados, excepto en el re-establecimiento de capas inferiores.

Como se mencionó antes, la sub-capa PDCP realiza las siguientes funciones:

1. Compresión y descompresión de cabecera del flujo de datos IP usando el protocolo ROHC;
2. Mantenimiento de los Números de Secuencia PDCP (SN);
3. Entrega secuencial de las PDUs de capa superior en el re-establecimiento de capas inferiores;
4. Eliminación de SDUs duplicadas en el re-establecimiento de capas inferiores para portadoras de radio mapeadas en el RLC AM;
5. Cifrado y descifrado de la información de plano de usuario y plano de control;
6. Protección y verificación de integridad de la información de plano de control;
7. Eliminación en base a un temporizador;
8. Eliminación de duplicados.

El PDCP usa los servicios provistos por la sub-capa RLC. El PDCP es utilizado por las SRBs (Portadora de Señalización de Radio), llevando la información de plano de control) y DRBs (Portadora de Información de Radio transportando datos del plano de usuario) mapeada en los tipos de canales lógicos Canal de Control Dedicado (DCCH) y el Canal de Tráfico Dedicado (DTCH). El PDCP no es utilizado por otros tipos de canales lógicos.

El protocolo ROHC es utilizado para la compresión de cabecera en 3GPP LTE. Existen múltiples algoritmos de compresión, llamados perfiles, definidos por el protocolo ROHC. Cada perfil es específico para la capa de red particular, la capa de transporte o la combinación de protocolos de capa inferiores, como por ejemplo TCP/IP o RTP⁴⁸/UDP/IP.

⁴⁸ El Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP) define un formato estandarizado de paquete para la transmisión de audio y video a través de Internet. Este protocolo es utilizado en sistemas de comunicación y

La multiplexación de diferentes flujos (con o sin compresión de cabecera) sobre los canales ROHC, así como la asociación de un flujo IP específico con un contexto de estado específico durante la inicialización del algoritmo de compresión para dicho flujo, son descritos en IETF RFC L.-E. 4995. La implementación de la funcionalidad ROHC y los perfiles de compresión de cabecera soportados no están definidos por las especificaciones de 3GPP LTE.

Las entidades PDCP asociadas con DRBs pueden ser configuradas por capas superiores para usar compresión de cabecera. RFC 4995 tiene parámetros de configuración obligatorios y deben ser configurados por capas superiores entre pares compresores y descompresores. Dichos parámetros definen el canal ROHC. Como se describió antes, el canal ROHC es un canal unidireccional, es decir, hay un canal para el downlink y uno para el uplink. De esa forma, existe un set de parámetros para cada canal y los mismos valores son utilizados por ambos canales pertenecientes al mismo PDCP.

La función de cifrado incluye cifrado y descifrado y es ejecutada en la subcapa PDCP- Nótese que, a diferencia de IEEE 802.16m en donde las PDUs CS no se encriptan y la encriptación es realizada en las PDUs MAC, en 3GPP LTE las SDUs RLC son cifradas.

Para el plano de control, la unidad de información que es cifrada es la parte de información de la PDU PDCP y el Código de Mensaje de Autenticación para Integridad (MAC_I) es decir, un campo de 32 bits que porta el código del mensaje de autenticación. Para el plano de usuario, la unidad que es cifrada es la parte de información de la PDU PDCP; cifrar no es aplicable a las PDUs de control PDCP. El algoritmo de cifrado y la clave a ser usada por la entidad PDCP son configurados por las capas superiores, y el método de cifrado es aplicado de acuerdo a la Arquitectura de Seguridad de la Evolución de Arquitectura de Sistema 3GPP.

entretenimiento que involucran media streaming, tales como la telefonía, aplicaciones de teleconferencia por video, y características push-to-talk basadas en la web.

2.7 SUB-CAPA COMÚN DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO.

Como se muestra en la Figura 2.21, la sub-capa MAC en el plano de control (MAC CPS), provee una interface entre la capa física y capas superiores a través de los SAPs PHY y MAC respectivamente. Las funciones de MAC CPS se clasifican en Control y Administración del Recurso de Radio (RRCM) y funciones MAC. La clasificación de MAC CPS en RRCM y la sub capa MAC no requiere un SAP entre las dos clases de funciones. Las funciones RRCM residen completamente en el plano de control, mientras que las funciones de sub-capa MAC residen en el plano de control y el plano de datos.

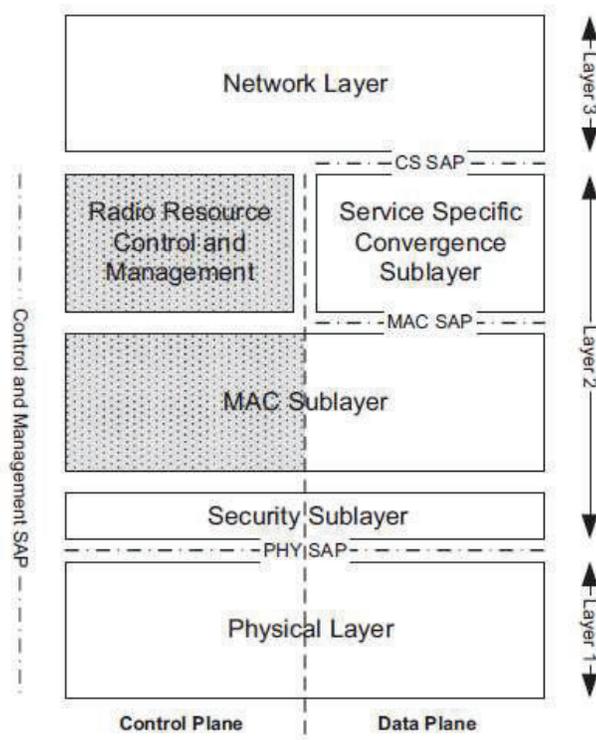


Figura 2.21 Funciones MAC CPS de plano de control IEEE 802.16m⁴⁹

RRCM incluye varios bloques funcionales que están relacionados al recurso de radio y manejo y control del acceso por radio tales como:

⁴⁹ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

1. Administración del Recurso de Radio (RRM);
2. Administración de Movilidad;
3. Administración de Ubicación;
4. Administración de Seguridad;
5. Administración de Configuración del Sistema;
6. Servicio de Multicast y Broadcast mejorado (E-MBS);
7. Flujo de Servicio y Administración de Conexión;
8. Funciones de Remarcado;
9. Auto-organización;
10. Operación multi-portadora.

La parte del plano de control de la sub-capa MAC incluye bloques funcionales relacionados a la capa de física y control de enlace tales como:

1. Control de Capa Física;
2. Señalización de Control;
3. Manejo del modo de hibernación;
4. QoS;
5. Programación y recurso de Multiplexado;
6. Coexistencia Multi-Radio;
7. Envío de datos;
8. Manejo de interferencia;
9. Coordinación Inter-BS.

La parte del plano de datos es responsable de las siguientes funciones:

1. Fragmentación/Empaquetamiento de la SDU MAC;
2. ARQ;
3. Formación de PDU MAC.

El grupo funcional RRCM de IEEE 802.16m corresponde a la sub-capa RRC en 3GPP LTE, y la sub-capa MAC es análoga a una combinación de las sub-capas MAC y RLC de 3GPP LTE.

La capa MAC de IEEE 802.16m está orientada a la conexión. Para propósitos de servicios de mapeo a niveles variantes de QoS en las estaciones móviles, todas las comunicaciones de datos se manifiestan en la forma de conexiones de transporte. Los flujos de servicio podrían ser provistos cuando una MS ingresa al sistema a través de un registro de seguimiento de MS con la BS de servicio, las conexiones de transporte se establecen y asocian con los flujos de servicio (una conexión por flujo) para proveer una referencia para petición de ancho de banda [3].

Además, nuevas conexiones de transporte podrían ser establecidas cuando el servicio de un usuario necesita cambiar. Una conexión de transporte define el mapeo entre sub-capas de convergencia pares que utilizan MAC y un flujo de servicio. El flujo de servicio define los parámetros de QoS para las PDUs que son intercambiadas en la conexión.

2.7.1 DIRECCIONAMIENTO

Se define una dirección MAC universal de 48 bits tal como especifica el estándar IEEE 802. Esta dirección únicamente define al terminal móvil sobre la interface de aire. Es usado durante el proceso de timbrado inicial legado, para establecer conexiones apropiadas para una MS. También se usa como parte del proceso de autenticación heredado para lo cual la BS y MS verifican la identificación de la otra. Una MS IEEE 802.16m y sus conexiones activas se identifican con direcciones globales y lógicas durante la operación en la red.

La MS, RS y BS son identificadas por el Identificador Único Extendido de 58 bits (EUI-48) IEEE basado en el valor del Identificador Organizacionalmente Único (OUI) de 24 bits administrado por la Autoridad de Registro IEEE.

2.7.2 ADMINISTRACIÓN DE MOVILIDAD Y HANDOVER

Ya que no es propósito de este estudio una análisis a profundidad de todos los aspectos del estándar IEEE 802.16m ni de sus predecesores, se hará una breve mención de los aspectos más importantes y destacados del Handover, y su relación con sistemas legados.

2.7.2.1 Escenarios Handover IEEE 802.16m

Los siguientes escenarios de handover son soportados en IEEE 802.16m:

1. Handover desde una BS heredada a una BS heredada;
2. Handover desde una BS nueva a una BS heredada;
3. Handover desde una BS heredada a una BS nueva;
4. Handover desde una BS nueva a una Bs nueva.

La red de acceso por radio y la estación móvil IEEE 802.16m usan procedimientos de handover heredados para el primer escenario. Mientras la BS emite broadcast de la información del sistema para determinar el tipo de handover y priorizar el escaneo de BSs en la estación móvil, la misma estación móvil, si posee dicha capacidad, también podrá hacer un escaneo de las estaciones base por su cuenta usando intervalos no asignados por la estación base de servicio, sin interrumpir su comunicación con dicha estación base.

La MS selecciona estaciones base candidatas a ser escaneadas en base a varias métricas, tales como tipo de celda, fuerza de la señal recibida, o ubicación geográfica. Como parte del procedimiento de escaneo, la MS conduce mediciones en las estaciones base candidatas y reporta los resultados a la BS de servicio. Dichas mediciones pueden ser utilizadas por la MS o la red para determinar la mejor estación para dicha MS. La BS de servicio define condiciones de activación bajo las cuales la MS puede enviar el reporte de escaneo. En IEEE 802.16m, el proceso de handover podría ser iniciado ya sea por la MS o la BS [15]. En el caso de que la MS iniciara el handover, envía un mensaje de iniciación de handover a la BS de servicio como se muestra en la Figura 2.22.

La BS de servicio responde al mensaje enviando un comando de handover a la MS. En ambos casos, MS o BS iniciando el handover, el comando de handover incluye una o más estaciones base objetivo. Si el comando sólo incluye una estación base, la MS ejecutará el handover como se lo dicta la BS. Una MS podría enviar un mensaje de indicación de handover a la BS de servicio antes del temporizador de expiración de desconexión.

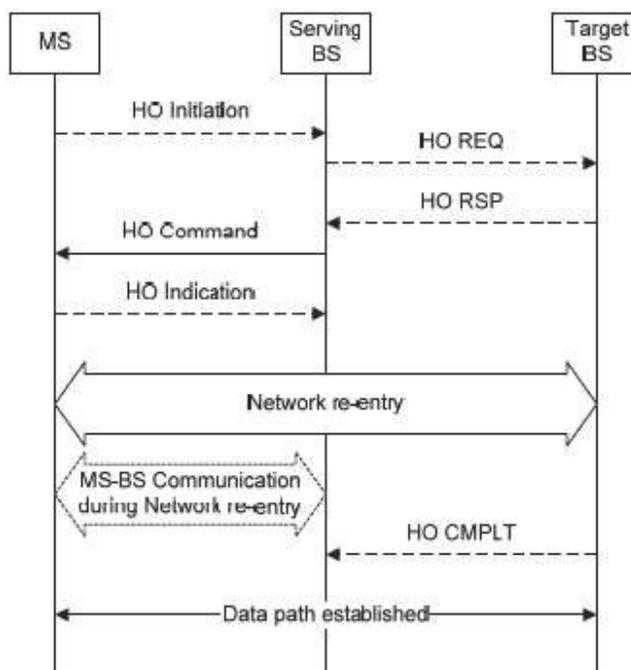


Figura 2.22 Flujo general de llamadas handover⁵⁰

La BS deja de enviar datos downlink y provee asignaciones uplink para la MS después de la expiración del timer de desconexión, o después de recibir un mensaje HO_IND. Si el comando de handover incluye más de una estación base objetivo, la MS selecciona una de dichas estaciones base e informa a la BS de servicio de su elección enviando un mensaje de indicación de handover antes de que expire el timer de desconexión. Los procedimientos de reingreso de la red con la BS objetivo podrían ser optimizados con la BS de servicio mientras se ejecutan los procesos de reingreso con la BS objetivo tal como se muestra en la Figura 2.22.

La BS de servicio define condiciones, en base a las cuales la MS podría decidir cuando una BS entre, aquellas que están incluidas en el comando de Handover, es inalcanzable.

⁵⁰ IEEE 802.16m System Description Document (SDD).

Si todas las estaciones base objetivo que fueran incluidas en el comando son inalcanzables para la MS, ésta podría buscar una nueva BS objetivo e informar a la BS de servicio enviando un mensaje de indicación de handover antes de que expire el temporizador de desconexión, y podría proceder con el reingreso a la red con una nueva BS objetivo. La MS también indica la identidad de la anterior BS de servicio a la nueva BS objetivo durante el reingreso a la red.

Los procedimientos de handover en IEEE 802.16m pueden dividirse en cuatro pasos [15]:

1. Iniciación de handover;
2. Preparación del handover;
3. Ejecución del handover;
4. Cancelación del handover.

2.8 CALIDAD DE SERVICIO

Calidad de Servicio (QoS) para redes IP es un set de estándares y mecanismos en todo el sector de la industria para asegurar alta calidad y desempeño para las aplicaciones de usuario. Al usar mecanismos de QoS, los administradores y operadores de la red pueden usar recursos existentes más eficientemente, y asegurar el nivel de servicio requerido sin expandir relativamente o sobreprovisionar sus redes. Tradicionalmente, el concepto de calidad en redes computarizadas significaba que todo el tráfico de red era tratado de forma igual. El resultado fue que todo el tráfico de red recibió el mejor esfuerzo sin garantías de confiabilidad, retardo, variación del retardo, u otras características de desempeño. Con un servicio de envío del mejor esfuerzo, una simple aplicación de gran ancho de banda puede resultar en una ejecución pobre o inaceptable para todas las aplicaciones. La QoS es un concepto en el cual los requerimientos de servicio de algunas aplicaciones de usuario son más críticos que otros, requiriendo manejo preferencial del tráfico correspondiente. La meta de QoS es proveer entrega de servicios preferenciales para aplicaciones que lo necesitan al asegurar el suficiente ancho de banda, controlando la latencia y el jitter, y reduciendo la

pérdida de datos. IETF define dos modelos principales de QoS para redes sobre IP: Servicios Integrados (Intserv) y Servicios Diferenciados (Diffserv).

Estos modelos reúnen varias categorías de mecanismos que proveen trato preferencial para tráfico en particular. Una clase de servicio define como cada parámetro de QoS es aplicado para un servicio específico [16].

2.8.1 CLASES DE QOS IEEE 802.16M

Adicional a los atributos de clase de servicios heredados, IEEE 802.16m define un nuevo atributo de clase de servicio llamado Maximum Sustained Traffic Rate per Flow, o Máxima Tasa de Tráfico Sostenida por Flujo. Este nuevo atributo define el pico de la tasa de información del flujo de servicio. La velocidad máxima es denotada en bits por segundo y pertenece a las unidades de servicio de datos en la entrada de la sub-capa de convergencia. Este parámetro no incluye información de transporte, protocolo u overhead de la red, y no limita la tasa instantánea del flujo de servicio ya que está gobernado por los atributos físicos del puerto de ingreso. Sin embargo, en la interface de la red de destino en dirección uplink, el servicio es regulado para asegurar que cumpla con este parámetro. El intervalo de tiempo en el que la velocidad de tráfico es promediada se define durante la negociación del servicio. En dirección downlink, podría asumirse que el servicio ya está regulado en el ingreso a la red. Si este parámetro está marcado en cero, entonces no existe una tasa máxima explícitamente obligatoria [3] [15].

La tasa de tráfico máximo sostenido especifica sólo un límite, no garantiza que dicha velocidad esté disponible.

Además de los servicios de programación heredados, IEEE 802.16m soporta la adaptación de los parámetros de QoS del flujo de servicio. Uno o más parámetros de QoS podrían definirse durante la negociación inicial. Si se definen múltiples parámetros, cada uno de ellos corresponde a una característica de tráfico específica para la información de usuario mapeado en el mismo flujo de servicio [3].

2.9 SUB-CAPA DE SEGURIDAD IEEE 802.16M

Un sistema inalámbrico utiliza un canal de radio intrínsecamente inseguro para transmisión de señalización y tráfico de usuario entre la estación base y las estaciones móviles. De tal forma, deben desplegarse procedimientos de seguridad y encriptación robustos y confiables para poder proteger la confidencialidad, privacidad e integridad del tráfico y credenciales de usuario, y prevenir brechas de seguridad y robo de servicio en redes celulares.

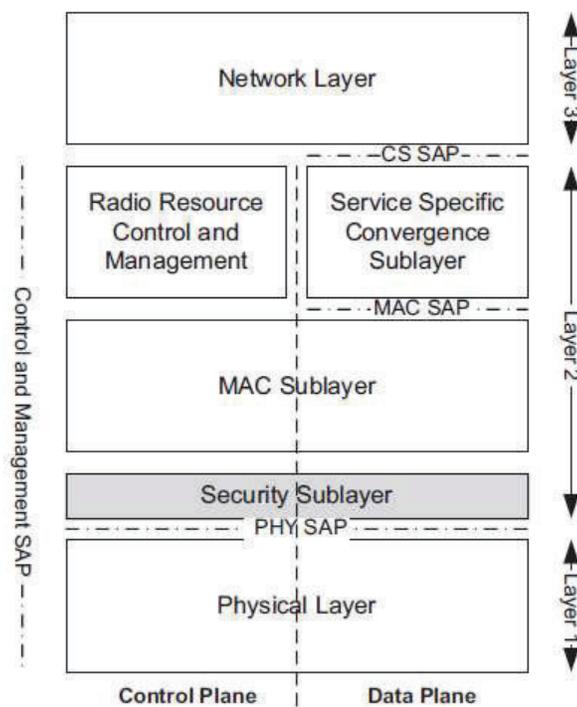


Figura 2.23 Ubicación de la sub-capas de seguridad en el stack de protocolos IEEE 802.16m⁵¹

Como se muestra en la Figura 2.23, la sub-capas de seguridad IEEE 802.16 está ubicada entre las capas MAC y la capa Física. Las funciones de seguridad proveen a los usuarios privacidad, autenticación y confidencialidad al aplicar transformaciones criptográficas a las PDUs MAC transportadas sobre las

⁵¹ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

conexiones entre la MS y la BS. Además, la sub-capa de seguridad permite que los operadores prevengan el acceso no autorizado a los servicios de transporte de datos al asegurar los flujos de servicio asociados en toda la red.

La sub-capa de seguridad emplea un protocolo de administración de claves Cliente autenticado/Servidor, en el cual la BS (el servidor) controla la distribución de material de creación de claves a la MS (el cliente). Sumado a eso, los mecanismos de seguridad básicos son reforzados al usar autenticación del dispositivo MS basada en certificados digitales para el protocolo de administración de claves.

Si durante la negociación la MS indica que no soporta los protocolos de seguridad IEEE 802.16m, los procedimientos de autorización e intercambio de claves son omitidos y la MS no será provista con ningún servicio (excepto servicios de emergencia).

La función de privacidad tiene dos protocolos componentes: (1) Un protocolo de encapsulamiento para asegurar la información de los paquetes en la red, y (2) un Protocolo de Administración de Claves (PKM) que provee la distribución segura de datos para la creación de claves desde la BS a la MS [15].

La MS y la BS pueden sincronizar la información de creación de claves a través de KMP. También la BS puede usar este protocolo para hacer cumplir el acceso condicional a los servicios de red.

En IEEE 802.16m, la encriptación de la información de usuario se la hace después de que se generan las PDUs MAC. Esto marca una diferencia significativa entre IEEE 802.16m y 3GPP LTE, en donde el cifrado se ejecuta en la sub-capa PDCP y antes de la formación de las PDUs MAC [15].

Otro aspecto importante de la seguridad IEEE 802.16m relativa a los sistemas legados es la encriptación de los mensajes de administración MAC para proteger la integridad de mensaje y señalización Capa 2 sobre la interface de aire.

2.9.1 ARQUITECTURA DE SEGURIDAD

La arquitectura de seguridad de IEEE 802.16m consiste de la MS, la BS, y el Autenticador como se muestra en la Figura 2.24.

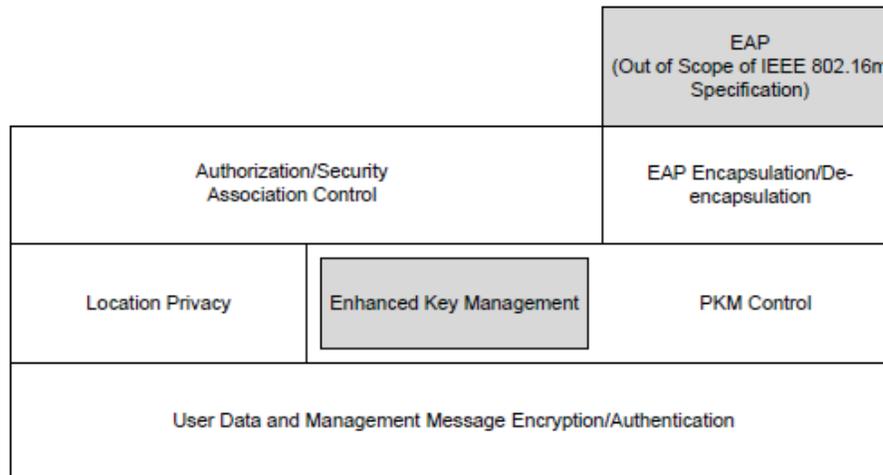


Figura 2.24 Bloques funcionales de la arquitectura de seguridad IEEE 802.16m⁵²

Dentro de la MS y BS, las funciones de seguridad se clasifican en dos categorías lógicas: (1) una entidad de administración de seguridad y (2) encriptación e integridad [3] [15].

La entidad de administración de seguridad incluye las siguientes funciones:

1. Administración general de la seguridad;
2. Encapsulamiento/des-encapsulamiento para autenticación de Protocolo de Autenticación Extensible (EAP⁵³);
3. Funciones de control PKM a través de la distribución/derivación/generación de claves, y administración del estado de la clave;
4. Control de Autenticación y Asociación de Seguridad (SA);
5. Privacidad de la ubicación.

⁵² IEEE 802.16m System Description Document (SDD).

⁵³ El Protocolo de Autenticación Extensible (EAP) como está definido por IETF RFC 3748 y actualizado por IETF RFC 5247, es un esquema de autenticación comúnmente utilizado en redes inalámbricas y conexiones punto a punto [17].

La entidad de encriptación y protección de integridad consiste de las siguientes funciones:

1. Encriptación/autenticación de información de usuario;
2. Administración de autenticación de mensaje;
3. Protección de la confidencialidad del mensaje de administración.

IEEE 802.16 utiliza una nueva versión del protocolo PKM conocida como PKMv3 para ejecutar la administración de claves [7]. En cuanto a métodos criptográficos, AES (Estándar de Encriptación Avanzada) es el único esquema soportado en IEEE 802.16m. Los modos AES especificados en IEEE 802.16m son: modo AES-CCM, el cual provee protección de integridad, y AES-CTR [15].

La protección de señalización de plano de control es una de las características de los sistemas IEEE 802.16m si tal característica es habilitada durante la negociación inicial. Si la protección selectiva de confidencialidad es habilitada, los materiales negociados para la creación de claves y las listas de cifrado son utilizados para encriptar los mensajes de control MAC.

La Figura 2.25 ilustra tres niveles de protección selectiva de confidencialidad usadas para los mensajes de control/administración MAC en IEEE 802.16m.

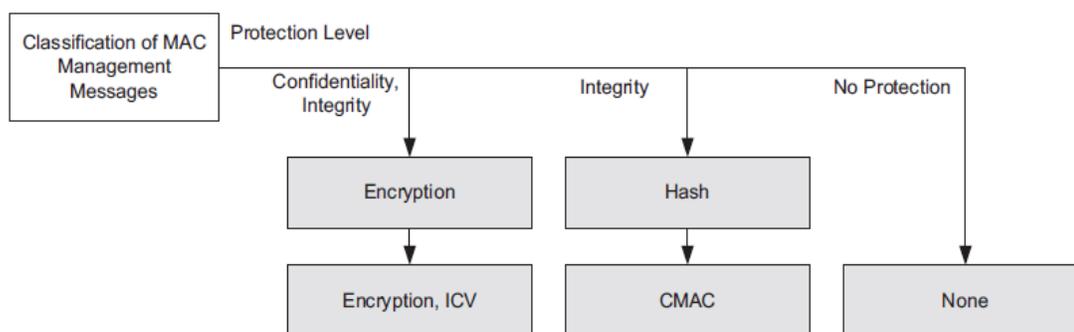


Figura 2.25 El proceso de protección de mensaje de administración IEEE 802.16m⁵⁴

⁵⁴ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

2.9.2 PRIVACIDAD DE USUARIO

La identidad del usuario en los sistemas IEEE 802.16m está protegida al garantizar que los hackers no puedan obtener el mapeado entre las direcciones MAC MS (también conocidas como MS ID) y el STID a través de monitorear el intercambio de información sobre la interfaz de aire. Para poder proteger el mapeado entre el STID y las direcciones MAC MS, se asignan dos tipos de STID a una MS durante el ingreso a la red, un STID Temporal (TSTID) y uno permanente. El TSTID es asignado durante el proceso inicial de marcado y es utilizado hasta que el STID permanente es asignado a la MS. El STID es asignado durante el proceso de registro seguido de una autenticación exitosa, y se encripta durante la transmisión. El TSTID es liberado después de que se asigna con seguridad el STID. El STID es utilizado para todo intercambio de información con la MS hasta que la sesión esté activa [3].

2.10 LA CAPA FÍSICA IEEE 802.16M

Como se muestra en la Figura 2.26, la capa física es la capa de protocolos más baja en el procesamiento de la señal en banda base que se enlaza con el medio físico (en este caso la interface de aire) a través de la cual la señal es transmitida y recibida [3].

La capa física recibe las PDUs MAC y las procesa a través de codificación de canal, interleaving, modulación en banda base, codificación multi-antena, pre codificación, y mapeo de antena y recursos. La elección de un esquema de codificación y modulación apropiado, así como del modo de transmisión multi-antena, es crítico para lograr la confiabilidad y throughput del sistema deseados en comunicaciones de datos móviles inalámbricas. Los canales de radio móvil típicos tienden a ser dispersivos y variantes en el tiempo, y exhiben fuertes efectos Doppler, variación del retardo multipath, interferencia intra e inter celda, y fading.

Un diseño bueno y robusto de la capa física garantiza que el sistema puede operar normalmente y superar los efectos perjudiciales anteriores, y puede proveer máximo throughput y baja latencia bajo varias condiciones de operación.

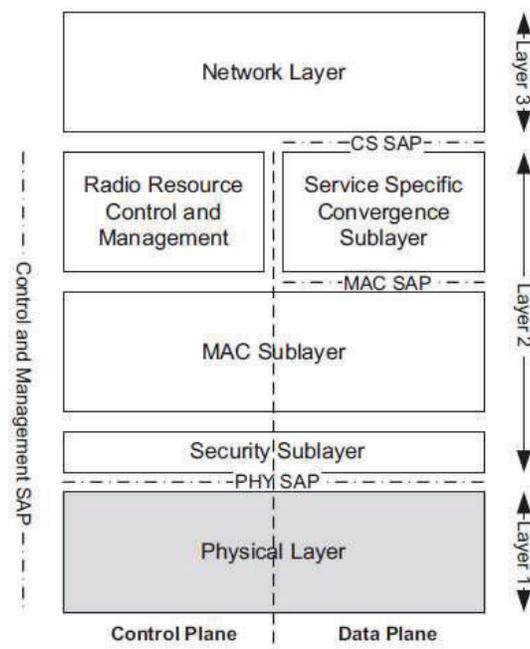


Figura 2.26 Ubicación de la capa física en el stack de protocolos IEEE 802.16m⁵⁵

Los procesos de señales de control y de plano de datos tienden a ser diferentes debido a los diferentes requerimientos de diseño y confiabilidad, así como criterios de desempeño.

Aunque la capa física de IEEE 802.16m está basada en el estándar IEEE 802.16-2009, existen nuevos o modificados componentes funcionales que contribuyen para incrementar significativamente el desempeño de IEEE 802.16m con respecto al estándar anterior. Durante el diseño de IEEE 802.16m, se hizo un intento por identificar las deficiencias del estándar heredado y reemplazar los protocolos ineficientes con procedimientos nuevos o mejorados. En algunos casos, tales como la estructura de tramas, sub-canalización y permutación, así como la señalización de control, han tenido grandes cambios respecto a los marcos de trabajo heredados lo que hace a la operación de múltiple modo de los sistemas nuevos y legados más compleja. Sin embargo, fueron necesarias modificaciones extremas para cumplir con los requerimientos de IMT-Advanced y permitir futuras

⁵⁵ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

mejoras de la interface de aire. El criterio principal en el diseño de la nueva capa física fue incrementar el throughput y la capacidad de aplicación, reducción de la latencia de acceso, soporte de alta movilidad de usuario, minimización de interferencia intra e inter celda, mejora de la confiabilidad de la cobertura del canal de control y datos (especialmente en los límites de la celda) y reducir la complejidad y el overhead de señalización.

2.10.1 ESQUEMAS DE ACCESO MÚLTIPLE UPLINK Y DOWNLINK

En sistemas celulares se han utilizado varios esquemas de acceso múltiple para permitir que la red comparta recursos de radio disponibles, ya sean éstos esquemas basados en tiempo, frecuencia, código y espacio.

WiMAX IEEE 802.16m utiliza OFDMA tanto en dirección uplink como en la dirección downlink, con parámetros similares al estándar legado para una fácil compatibilidad e interoperabilidad hacia atrás entre nuevos sistemas y los anteriores.

La Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencias (OFDM) y El Acceso por Múltiple División Ortogonal de Frecuencias (OFDMA) son dos variantes de la misma interface de aire de banda ancha inalámbrica [18].

OFDMA es una forma de OFDM que es la tecnología subyacente. Ambas interfaces trabajan al separar una señal simple en sub-portadoras, o lo que es igual a dividir una señal de alta velocidad en varias de menor velocidad para optimizar el acceso móvil ya que los sub canales pueden transmitir datos sin ser sujetos de la misma intensidad en la distorsión multipath que enfrenta la transmisión de una única portadora. Las sub-portadoras se reúnen en el receptor y se combinan para formar una transmisión de alta velocidad. La diferencia entre OFDM y OFDMA es que OFDMA tiene la capacidad de asignar dinámicamente un subconjunto de dichas sub-portadoras de forma individual a los abonados, convirtiéndola en la versión multi-usuario de OFDM, ya sea utilizando Acceso por Múltiple División de Tiempo (TDMA) o Acceso por Múltiple División de Frecuencia (FDMA) para varios usuarios. OFDM soporta simultáneamente múltiples usuarios al asignarles sub canales específicos en intervalos de tiempo. Sistemas punto-a-punto no soportan OFDMA, pero en cambio sistemas punto-a-multipunto y sistemas móviles sí.

2.10.2 CANALES DE CONTROL DOWNLINK

En el estándar IEEE 802.16-2009, la señalización de control para la distribución de recursos uplink o downlink, así como otros aspectos operacionales del sistema, se realiza utilizando elementos de información uplink o downlink incluidos en los mensajes de administración MAC del Protocolo de Acceso al Medio (MAP). Los elementos de información de todos los usuarios activos en la celda, así como mensajes de broadcast, se codifican en conjuntos y son transmitidos utilizando un esquema robusto de transmisión. [15]

Para minimizar la carga en la señalización de control y mejorar la confiabilidad y cobertura de los canales de control, particularmente al borde de la celda, los esquemas han sido rediseñados en IEEE 802.16m.

Los MAPs codificados en conjunto en el sistema IEEE 802.16-2009 han sido reemplazados por MAPs avanzados (A-MAPs). Una de las razones para esto es que, si bien los MAPs codificados en conjunto pueden ser más eficientes, la sobrecarga se comparte entre los usuarios y no pueden ser confiables de forma equitativa con usuarios cerca del borde de la celda o en una celda con varias condiciones sobre el canal. Como resultado, el intercambio entre eficiencia y confiabilidad de los canales de control resultó en un rediseño de MAPs con nueva codificación individual para sistemas IEEE 802.16m.

Entre los cambios podemos listar, excluyendo el concepto de codificación en conjunto a codificación individual de los canales de control de usuario, el de la multiplexación por división de frecuencia aplicada en los canales de control uplink y downlink que difiere con la multiplexación por división de tiempo utilizada en el sistema IEEE 802.16-2009.

2.10.3 CANALES DE CONTROL UPLINK

A través de los canales de control uplink se transmiten múltiples tipos de información de señalización y control para poder soportar varios procedimientos de la interface de aire.

La información de control en el enlace de subida puede ser clasificada en:

- Canal Primario de Retroalimentación Rápida.
- Canal Secundario de Retroalimentación Rápida.
- Canal de Retroalimentación HARQ (ACK/NACK).
- Canal de Petición de Ancho de Banda (BW-REQ).
- Canal de Sonido.

La retroalimentación de la calidad del canal provee información sobre las condiciones del canal vista por la estación móvil. Esta información es utilizada por la estación base para la adaptación del enlace, distribución de recursos, control

de potencia, entre otros. La medida de la calidad del canal incluye medidas de banda estrecha y banda ancha.

Uno de los ejemplos para la retroalimentación de la calidad del canal incluye la retroalimentación MIMO, que provee las características espaciales de banda ancha o banda estrecha del canal que se requieren para la operación MIMO.

La retroalimentación HARQ es utilizada para reconocer las transmisiones en ráfaga downlink. También se necesitan señales de sincronización uplink para lograr una sincronización en el enlace de subida durante el acceso inicial o el handover, y también para mantener la sincronización de forma periódica.

Las peticiones de ancho de banda son enviadas por la estación móvil para indicar el ancho de banda uplink necesario a la estación base. Un indicador de petición de ancho de banda notifica a la estación base de una petición uplink por parte de la estación móvil. Los mensajes de petición de ancho de banda pueden incluir información acerca del estatus del tráfico en cola en la estación móvil, tal como el tamaño del buffer y QoS, incluyendo los parámetros de éste último.

2.11 OPERACIÓN MULTI-PORTADORA

La Conferencia Mundial de Radio (WRC) de 2007 identificó nuevas bandas de frecuencia para los sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) (los cuales consisten de IMT-2000 e IMT-Advanced), algunas de las cuales son:

- 450–470 MHz global;
- 698–806 MHz en Región 2 y nueve países en Región 3;
- 790–862 MHz en Región 3 y parte de las naciones de Región 1;
- 2.3–2.4 GHz global;
- 3.4–3.6 GHz en una gran número de países en Regiones 1 y 3⁵⁶.

La intención era que las bandas identificadas previamente en las regulaciones de radio para IMT-2000 sean ahora aplicables a los sistemas IMT-Advanced [19].

⁵⁶ Las tres regiones en las que la Unión Internacional de Telecomunicaciones ha dividido al mundo para la ordenación de bandas de radio corresponden a:

Región 1: Europa, África y Norte de Asia.

Región 2: América del Norte, América del Sur y Groenlandia.

Región 3: Pacífico y sur de Asia. La mayoría del espectro radioeléctrico [37].

En los sistemas IMT-Advanced se ha vuelto particularmente importante lo referente al espectro y a la agregación de portadoras recientemente, para un despliegue exitoso de dichos sistemas. El concepto de agregación de espectro consiste en explotar múltiples y pequeños fragmentos de espectro simultáneamente para entregar un servicio de banda más amplia (es decir, cuando no sería posible usando un simple fragmento del espectro). La agregación de espectro puede ser útil cuando la banda dedicada de un operador no es continua; en lugar de dividir dicha banda en dos o más segmentos. Además, la agregación de espectro puede ocurrir en escenarios en los cuales un operador accede a una banda dedicada y a una banda de espectro compartido la cual está separada en frecuencias para la banda dedicada de operadora. La agregación de espectro permite que sistemas de comunicaciones inalámbricas nuevos de alta velocidad coexistan con sus sistemas heredados cuando son desplegados en el mismo espectro. Esto también es válido para el escenario inter-operadoras. En este contexto, puede ser muy beneficioso explorar los escenarios para el uso conjunto de técnicas de agregación de espectro y administración del recurso de radio en redes de acceso por radio.

Una de las características distintivas de los sistemas IMT-Advanced es el soporte de anchos de banda más amplios por encima de los 100 MHz. La tasa de datos máxima objetiva de los sistemas IMT-Advanced es de 1Gbps para baja movilidad y 100 Mbps para alta movilidad. Para poder soportar anchos de banda mayores, los sistemas IEEE 802.16m y 3GPP LTE-Advanced introdujeron el concepto de agregación de portadora, en el que dos o más Portadoras Componentes (CC), pertenecientes a una sola o a distintas bandas de frecuencia, pudieran ser agregadas. El soporte de los anchos de banda del sistema hasta unos 100 MHz sería incrementado en la capacidad y la tasa de datos pico del sistema. En los escenarios de interés, la velocidad máxima incrementa casi linealmente proporcional al incremento de ancho de banda.

A pesar de todo, la asignación de portadoras es muy variante en diferentes ubicaciones dentro de la celda, por lo que algunos usuarios sólo tendrían asignadas unas cuantas portadoras, y otros todas; resultando en una asignación

injusta de los recursos entre los usuarios. Los algoritmos de compartición justa no se aplicarían bajo este concepto, ya que asumen que se puede asignar el mismo número de portadoras a los usuarios.

En este sentido, IEEE 802.16m y 3GPP LTE-Advanced utilizan mecanismos mejorados que toman en cuenta este comportamiento y optimizan la asignación de recursos.

2.11.1 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN MULTIPORTADORA

Una de las características distintivas de los sistemas celulares de cuarta generación es la capacidad de operar en anchos de banda extremadamente grandes. El espectro de radiofrecuencia utilizado para dicha operación podría o no constar de bandas contiguas (operación en banda ancha virtual).

Las portadoras componentes a cada banda de frecuencia pueden ser asignadas a servicios unicast y/o multicast, y broadcast. La operación multi-portadora permite el control y operación de un número de portadoras componentes contiguas o no (varias capas físicas) usando una simple instancia MAC. La estación móvil no tiene que soportar la operación multi-portadora en ciertas clases de dispositivos. Sin embargo, si lo hace, podría recibir control y señalización, broadcast, y canales de sincronización a través de una portadora componente primaria y las funciones (o servicios) de tráfico podrían ser recibidos en componentes secundarias.

2.11.1.1 Handover multi-portadora

El handover multi-portadora está definido como el procedimiento de handover entre portadoras componentes. Una MS habilitada para multi-portadoras puede usar los procedimientos de handover para única portadora para ejecutar de forma alternativa los procedimientos de handover para múltiples portadoras.

Al igual que el handover de portadora simple, la estación móvil puede escanear la banda de radiofrecuencia y determinar las múltiples portadoras de las estaciones base vecinas e informar de dicho resultado a la estación base de turno para que realice los respectivos procesos y determine los siguientes pasos. Para poder reingresar a la red, la MS se vale de una portadora componente principal que es la encargada de enlazarse con la nueva estación base y solicitar las nuevas portadoras componentes, o en su defecto, realizar el escaneo nuevamente y

entregar los resultados de la medición siempre que sea capaz de soportar la operación multi-portadora.

2.11.1.2 Administración de potencia multi-portadora

La administración de potencia en una operación multi-portadora es la misma que en la de portadora simple. Todos los mensajes MAC, incluyendo los procedimientos de modo pasivo y las transiciones de estado son ejecutadas usando una portadora primaria.

Los parámetros del modo de hibernación son negociados con la estación base de servicio antes de que la MS pase a modo de hibernación. Los parámetros de modo de hibernación o espera son aplicadas a todas las portadoras de la estación móvil. Nótese que la BS de turno podría solicitar a la MS que cambie su portadora primaria al entrar a su modo de espera a través de un mensaje para el balanceo de carga o conservación de energía. Periódicamente, la BS emite mensajes de tráfico negativo para que la MS continúe en modo de ahorro de energía siempre que no tenga tráfico disponible para la misma, y en caso de haberlo, envía un mensaje positivo de tráfico activando todas las portadoras asignadas y asignando tráfico downlink para la MS. Cuando el proceso termina, la MS vuelve a su modo de espera y el proceso se repite periódicamente.

La operación es muy similar al de la operación con una sola portadora, con la diferencia de que en el modo de hibernación, la MS determina un índice de portadoras para monitorear el mensaje de paging dentro de los intervalos de monitoreo de paging, en el que se utiliza un número de portadoras para transmitir los mensajes de paging a las estaciones móviles en estado inactivo.

2.12 EFICIENCIA ESPECTRAL DE USUARIO EN LOS LÍMITES DE LA CELDA Y FRECUENCIAS DE OPERACIÓN [3]

Varias simulaciones a nivel de sistema han comprobado que la eficiencia espectral de usuario en los límites de la celda de IEEE 802.16m exceden los requerimientos de IMT-Advanced por un gran margen, como muestra la Tabla 2.1.

IEEE 802.16m Eficiencia espectral de celda y eficiencia espectral de usuario en los límites de la celda						
Requerimientos	Esquema de duplexación	DL/UL	Ambientes de Prueba			
			InH	UMi	UMa	RMa
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	TDD	DL	6.93	3.22	2.41	3.23
Requerimiento ITU-R			3.0	2.6	2.2	1.1
Ef. espectral. de usuario al borde de la celda (bits/s/Hz/celda)			0.260	0.092	0.069	0.093
Requerimiento ITU-R			0.1	0.075	0.06	0.04
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	FDD		6.87	3.27	2.41	3.15
Requerimiento ITU-R			3.0	2.6	2.2	1.1
Ef. espectral. de usuario al borde de la celda (bits/s/Hz/celda)			0.253	0.097	0.069	0.091
Requerimiento ITU-R			0.1	0.075	0.06	0.04
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	TDD	UL	5.99	2.58	2.57	2.66
Requerimiento ITU-R			2.25	1.8	1.4	0.7
Ef. espectral. de usuario al borde de la celda (bits/s/Hz/celda)			0.246	0.111	0.109	0.119
Requerimiento ITU-R			0.07	0.05	0.03	0.015
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	FDD		6.23	2.72	2.69	2.77
Requerimiento ITU-R			2.25	1.8	1.4	0.7
Ef. espectral. de usuario al borde de la celda (bits/s/Hz/celda)			0.444	0.119	0.114	0.124
Requerimiento ITU-R			0.07	0.05	0.03	0.015

Donde: Indoor Hotspot (InH), Urban Microcell (UMi), Urban Macrocell (UMa), y Rural Macrocell (RMa).

Tabla 2.1 Eficiencia espectral de celda y de usuario en los límites de la celda⁵⁷

ITU-R requiere que los sistemas IMT-Advanced soporten un ancho de banda escalable por encima de los 100 MHz a través de agregación de bandas de frecuencia más pequeñas. También requiere que soporte las bandas IMT que están designadas por ITU-R para el despliegue de sistemas celulares de tercera y cuarta generación. IEEE 802.16m especifica además, técnicas multi-portadoras a través de las cuales es posible el soporte de espectro contiguo o no contiguo. Las

⁵⁷ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

clases de bandas especificadas por el Foro WiMAX permite el despliegue de IEEE 802.16m en bandas IMT en forma de esquemas de duplexación TDD o FDD. La Tabla 2.2 muestra las bandas de frecuencia en las cuales puede desplegarse IEEE 802.16m

Clase de Banda	Bandas de operación de IEEE 802.16m			
	Transmisión Uplink MS Frecuencia (MHz)	Recepción Downlink MS Frecuencia (MHz)	Modo de duplexación	
1	2300–2400	2300–2400	TDD	
2	2305–2320, 2345–2360	2305–2320, 2345–2360	TDD	
3	2345–2360	2305–2320	FDD	
	2496–2690	2496–2690	TDD	
4	2496–2572	2614–2690	FDD	
	3300–3400	3300–3400	TDD	
5L	3400–3600	3400–3600	TDD	
	3400–3500	3500–3600	FDD	
5H	3600–3800	3600–3800	TDD	
6	1710–1770	2110–2170	FDD	
	1920–1980	2110–2170	FDD	
	1710–1755	2110–2155	FDD	
	1710–1785	1805–1880	FDD	
	1850–1910	1930–1990	FDD	
	1710–1785, 1920–1980	1805–1880, 2110–2170	FDD	
	1850–1910, 1710–1770	1930–1990, 2110–2170	FDD	
	698–862	698–862	TDD	
	776–787	746–757	FDD	
	788–793, 793–798	758–763, 763–768	FDD	
7	788–798	758–768	FDD	
	698–862	698–862	TDD/FDD	
	824–849	869–894	FDD	
	880–915	925–960	FDD	
	698–716, 776–793	728–746, 746–763	FDD	
	1785–1805, 1880–1920,	1785–1805, 1880–1920,	TDD	
	1910–1930, 2010–2025,	1910–1930, 2010–2025,		
	1900–1920	1900–1920		
	9	450–470	450–470	TDD
		450.0–457.5	462.5–470.0	FDD

Tabla 2.2 Bandas de operación de IEEE 802.16m⁵⁸

⁵⁸ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

2.12.1 EFICIENCIA ESPECTRAL PICO

En los Requerimientos del Sistema IEEE 802.16m especificados por el grupo de trabajo, los requerimientos funcionales descritos se refieren a un sistema compuesto solamente de MSs y BSs IEEE 802.16m [20].

Aquí se define la eficiencia espectral pico alcanzable entre una BS y una MS bajo condiciones ideales. La eficiencia espectral pico es la tasa de datos teóricamente más alta (normalizada por el ancho de banda), la cual es recibida por los bits de datos asumiendo condiciones asignables libres de errores a una sola estación móvil cuando todos los recursos de radio disponibles para la correspondiente dirección de enlace están siendo utilizados (excluyendo los recursos de radio utilizados para sincronización, señales de referencia y pilotos, bandas de guardia y tiempos de guardia en capa física).

Tipo de Requerimiento	Tasa de datos pico normalizada		
	Dirección del enlace	Configuración MIMO	Tasa de datos pico normalizada (bps/Hz)
Línea Base	DL	2x2	8.0
	UL	1x2	2.8
Objetivo	DL	4x4	15.0
	UL	2x4	6.75

Tabla 2.3 Tasa de datos pico normalizada⁵⁹

Notas aplicables a la Tabla 2.3:

- a) El requerimiento de línea base denota la tasa pico de datos alcanzable entre una BS y un MS con una mínima configuración soportada de antena;
- b) El requerimiento del destino denota la tasa pico de datos alcanzable entre una BS y una MS equipadas con una configuración de antena de orden superior, la cual se especifica en la Tabla 2.3, la misma que excede la configuración mínima de antena en la MS;
- c) Otras configuraciones de antenas MIMO más complejas pueden ser usadas;

⁵⁹ Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology

- d) Los requerimientos de las tasas pico normalizadas no son apreciadas por el modo dúplex. En lugar de eso se asume tener disponible el 100% de los recursos de radio, tanto en downlink como en uplink independientemente del modo de duplexación. Por ejemplo, para TDD, cuando se calcula el desempeño donwlink, se asignan todos los recursos de radio disponibles para transmisión downlink;
- e) Las tasas normalizadas pico mínimas soportadas especificadas son aplicables a todos los anchos de banda. Esto es, anchos de banda escalables desde 5 a 40 MHz.

2.12.2 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN

Los sistemas IEEE 802.16m deberán operar en frecuencias de radiofrecuencia menores a los 6GHz y ser desplegadas en un espectro autorizado ubicado en los servicios móviles fijos de banda ancha, y ser capaces de operar en las frecuencias identificadas por IMT-Advanced.

Las siguientes bandas de frecuencia han sido identificadas por IMT y/o IMT-2000:

- 450-470 MHz (a nivel global);
- 698-960 MHz;
- 1710-2025 MHz;
- 2110-2200 MHz;
- 2300-2400 MHz (a nivel global);
- 2500-2690 MHz;
- 3400-3600 MHz (en un gran número de naciones en Región 1 y Región 3).

Las bandas de 450-470 MHz, 1710-2025 MHz, y 2110-2200 MHz no están soportadas en las revisiones previas de la especificación IEEE 802.16 [3].

2.13 CAPACIDAD VOIP

Con la asignación de grupos persistente, retransmisiones HARQ más rápidas, emparejamiento de velocidad de datos, soporte QoS optimizado, y otras mejoras en cuanto a eficiencia espectral descritas anteriormente, la capacidad de Voz

sobre IP aumenta significativamente con IEEE 802.16m. La Figura 2.27 resume las mejoras de la capacidad asumiendo un esquema de codificación de voz AMR de 12.2 Kbps en un medio de prueba Micro celda Urbana como se especifica en IMT-Advanced, con una movilidad de usuario de 3 Km/h con un 50 por ciento de actividad de voz tal que el porcentaje de usuarios en el límite de la desconexión sea menor del 2 por ciento [21].

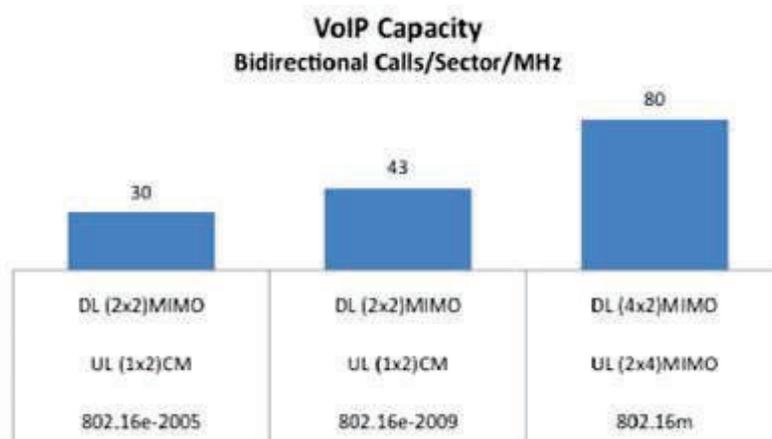


Figura 2.27 Capacidad de VoIP, llamadas bidireccionales/Sector/MHz⁶⁰

Con MIMO 4x2 en downlink y MIMO 2x4 en uplink, el sistema WiMAX IEEE 802.16m será capaz de soportar 1600 sesiones de VoIP bidireccionales por sector, o 4800 sesiones por una celda de 3 sectores con un sistema FDD y un par de canales 2x20 MHz.

⁶⁰ WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard - April 2010

CAPITULO 3

ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SERVICIOS WIMAX

3.1 INTRODUCCIÓN

Un estudio de mercado es un método realizado por iniciativa propia para tener una idea general sobre la viabilidad comercial de una actividad económica. Para este efecto, se necesita tomar en cuenta tres análisis importantes:

- Análisis del consumidor;
- Análisis de la competencia;
- Estrategia.

El análisis del consumidor, o en este caso abonado, nos permite detectar las necesidades de consumo o servicios y la forma de satisfacerlas.

El análisis de la competencia nos permite estudiar el comportamiento de otras empresas que compiten en el mercado con el mismo producto, tomando en cuenta su alcance, sus ventajas y desventajas. Además nos permite establecer una base de evaluación para definir si la actividad en estudio es factible o no.

La estrategia es el último paso que se toma luego de definir si la actividad en estudio es factible o no, y en general se divide en dos grandes grupos; (1) Liderazgo de costo, en el cual se toma ventaja en el mercado en base de materia de costos, y (2) Diferenciación, que consiste en crear un valor agregado sobre el producto ofrecido [22].

En el presente estudio, la actividad es la prestación de un servicio móvil avanzado de cuarta generación, los consumidores son los abonados del servicio móvil avanzado, y la competencia es otra tecnología de comunicaciones LTE-Advanced.

Por supuesto, el estudio de mercado de un servicio móvil avanzado debe hacerse tomando en cuenta ciertos aspectos, como se indicará a continuación:

3.2 ESTUDIO DE DEMANDA DEL SERVICIO MÓVIL EN ECUADOR

3.2.1 ESTUDIO DE DEMANDA EN SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES [23]

En Telecomunicaciones, el estudio de demanda es la actividad más importante que precede al diseño de un sistema factible. No es posible partir sin una predicción razonablemente precisa de la demanda. Para tal efecto, se realiza una recolección de datos en el presente asumiendo que en un futuro próximo no habrá cambios extremos en las condiciones actuales.

La mayor parte de este trabajo es la recolección de datos.

Para la telefonía, tenemos varios modelos matemáticos y estadísticos que nos permiten planificar una red en base a varios factores como: la distribución de los abonados, índices de penetración, semejanzas con el desarrollo en otras regiones cercanas, tendencias en cortos períodos de tiempo, variables económicas y variables demográficas, etc.

3.2.1.1 Previsión de abonados

La previsión de abonados tiene dos objetivos fundamentales:

1. La planificación de una red telefónica debe basarse directamente en una distribución de abonados prevista a futuro,
2. Proyectar y dimensionar de forma adecuada el tráfico telefónico.

Las actividades de previsión de los abonados son de hecho bastante heterogéneas, caracterizadas por una complicada interdependencia entre el desarrollo en las telecomunicaciones y la vida privada y profesional.

En principio se prefieren modelos econométricos de tipo simulación con múltiples ecuaciones, pero el grado de complejidad de dichos modelos y la escasez de datos reducen la utilidad de los mismos.

La previsión de abonados de cualquier servicio es una actividad extremadamente compleja, y en consecuencia no se puede llegar a formular ningún tipo de teoría o método general de precisión que corresponda a todas las necesidades particulares, por lo que es mejor utilizar una combinación completa de métodos sencillos.

Ya que no existe un modelo de previsión perfecto o correcto, es conveniente seguir varios métodos posibles de previsión y compararlos para analizar los resultados.

La demanda del servicio telefónico es un producto de factores socioeconómicos, ambientales, demográficos, población, contexto tecnológico, contexto político, cultural, número de consumidores, necesidades y deseos, hábitos de consumo, factores económicos.

Entre los métodos de previsión tenemos: Por extrapolación, por comparación, por análisis de series de tiempo, la familia de métodos econométricos (Multi-regresión) y el método matemático.

La variable que se aplica en todos los métodos es la “densidad de desarrollo telefónico”.

$$d = 100 * \frac{\text{Líneas telefónicas en servicio} + \text{solicitudes pendientes}}{\text{Habitantes}} \quad (3.1)$$

Esta variable representa el porcentaje de penetración que se alcanzaría en el supuesto de que la demanda estuviera totalmente satisfecha: Indica por lo tanto la necesidad neta de líneas telefónicas que en ese momento tiene la ciudadanía y por consiguiente es la única variable que puede relacionarse correctamente con

otros hechos estadísticos o económicos que son menos susceptibles del tratamiento matemático.

3.2.1.1.1 Método de Extrapolación

Se fundamenta en admitir que para períodos cortos de planificación se obtiene una buena aproximación si se supone que el incremento de la densidad telefónica se mantiene constante.

Este método puede ser usado si existe un continuo desarrollo: en países que no tienen un continuo desarrollo, el método de extrapolación no puede ser aplicado:

TENDENCIA DE EXTRAPOLACIÓN

- Lineal
- Parabólica
- Exponencial
- Gompertz
- Logística
- Geométrica

3.2.1.1.2 Método de Comparación

Consiste en suponer que el desarrollo futuro de la demanda telefónica en un país será semejante al desarrollo observado en un país más avanzado y que, por lo tanto, haya pasado ya por la fase actual que se observa.

Este método resulta poco fiable debido a razones técnicas y prácticas y no reúnen ni la base conceptual ni la instrumentación forma necesaria para recibir el nombre de método

3.2.1.1.3 Método de Análisis por series de tiempo

Este método consiste en el conjunto de observaciones de la serie de tiempo de una variable, el pronóstico acordado para el análisis de series de tiempo está basado en la suposición de que las tendencias observadas en los cambios de nivel en períodos pasados pueden ser usadas para predecir en períodos futuros.

Una serie de tiempos es generalmente considerado de 4 tipos de movimientos o variaciones, tendencia, ciclo, estacional o variaciones aleatorias.

El método de análisis por series de tiempo requiere datos históricos por un período igual al período a ser pronosticado. Este método utiliza para el cálculo de los parámetros el método matemático de mínimos cuadrados.

3.2.1.1.4 Método Econométrico

En realidad es una familia de métodos, consiste en relacionar la función densidad telefónica con diversas variables en general.

$$d = f(x, y, z \dots) + K \quad (3.2)$$

Donde x, y, z son variables económicas y demográficas.

Las variables utilizadas más frecuentemente para explicar la demanda telefónica en un país son el producto interno bruto per cápita PBIP y el porcentaje de la población activa que corresponde al sector terciario.

Las conclusiones son en general satisfactorias.

3.2.2 CONDICIONES GENERALES DEL MERCADO.

El mercado del servicio móvil avanzado en el Ecuador se concentra en las ciudades principales, y los abonados potenciales en este tiempo son personas de un nivel medio y medio alto de ingresos, así como personas de nivel alto de ingresos. Sin embargo, con la tecnología de comunicaciones de cuarta generación, se espera un incremento en el uso de otros servicios aparte de las comunicaciones de voz, como el servicio de Internet móvil de alta velocidad, video conferencia, etc., a escala global.

Según la Superintendencia de Telecomunicaciones en “Evolución de la Telefonía Móvil en Ecuador”, Revista Institucional N°16 / 2012, se estima que nuestro país

adopte de forma gradual lo que conocemos como convergencia de servicios, que consiste en la prestación de más de un servicio sobre una misma plataforma tecnológica. Este es el caso de los paquetes Doble y Triple Play, en el que vemos una masificación del uso de Internet de banda ancha y su demanda [24].

La tecnología 4G justamente tiene como uno de sus objetivos, permitir la prestación de múltiples servicios sobre IP, como voz, transmisión de datos, Internet móvil, etc., así como otros servicios de parte de las operadoras.

A continuación se darán algunos antecedentes sobre la penetración de la telefonía móvil en Latinoamérica, Ecuador, así como de otras de interés para el presente estudio.

3.2.2.1 Panorama de la telefonía móvil y 4G en Latinoamérica.

Según un estudio para 4G Americas para el primer semestre de 2013, en Latinoamérica la penetración de las conexiones móviles HSPA (3G) y LTE (4G) aumentó a 192.5 millones de suscripciones en América del Norte, lo que representa un 52 por ciento de las suscripciones móviles totales en la región al término del segundo trimestre de 2013 según investigaciones de Informa Telecoms & Media [25].

En América Latina, la participación del mercado de banda ancha móvil ascendió al 21 por ciento, con 147 millones de conexiones de un total de 693.7 millones de conexiones móviles, de los que la mayor parte corresponde a GSM.

La tasa de penetración en América del Norte es mayor que en el resto del mundo, con el 18.3 por ciento de penetración de LTE (4G) comparado con el mercado regional que le sigue en el mundo; el Pacífico asiático, que presenta un porcentaje de 1.4 por ciento. Todas las demás regiones del globo tienen un índice de penetración del mercado menor del 1 por ciento en el caso de LTE (4G) incluso en Europa Occidental con el 0.7 por ciento.

Erasmus Rojas, Director de 4G Americas para América Latina y el Caribe, señaló que LTE (4G) se encuentra en fase comercial en 25 redes de 12 países de la región de América Latina, y el crecimiento está en aumento a medida que se habilitan más redes [25].

Algunas estadísticas puntuales:

- 25 redes LTE (4G) comerciales en 12 países: Antigua & Barbuda, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, República Dominicana, México, Paraguay, Puerto Rico, Uruguay, Venezuela y las Islas Vírgenes de Estados Unidos.
- 317.000 conexiones LTE (4G) a junio de 2013.
- 1.9 millones de conexiones LTE (4G) proyectadas para fin de 2013.

Según Wilson Cardoso, titular de tecnología de Nokia Siemens Networks para América Latina, la penetración de conexiones LTE (4G) en la región alcanzará alrededor del 10 por ciento en los próximos dos años [26]. Muchos países ya subastaron espectro para LTE, o tienen planes de hacerlo este año.

A finales de 2012, había 14 redes LTE comerciales instaladas en América latina, con cuatro en Puerto Rico, dos en Brasil, dos en Paraguay, y una en Antigua y Barbuda, Bolivia, Colombia, República Dominicana, México y Uruguay, según 4G Americas.

Este año se van a realizar más lanzamientos de redes comerciales 4G en países como Chile, Brasil y Ecuador, mientras que Colombia, Perú y Argentina planean subastar espectro 4G este año.

Hacia el 2015, se espera que haya 40 redes comerciales LTE operando en Latinoamérica. Según 4G Americas, había unos 114 millones de usuarios HSPA y HSPA+ en la región a fines de 2012, y 81 redes comerciales en 26 países.

Con respecto a la penetración de smartphones en América Latina, el promedio general es de un 14 por ciento de acuerdo al ranking calculado por Merrill Lynch, en el que tenemos los siguientes datos [27]:

1. Venezuela (20%);
2. Chile (18%);
3. Argentina (17%);
4. Brasil (16%);
5. México (15%);
6. Perú (9%);
7. Colombia (8%).

De acuerdo al porcentaje de penetración de voz, los datos obtenidos son:

1. Chile con el mayor índice (121%);
2. Argentina (114%);
3. Ecuador (100%);
4. Brasil (98%);
5. Guatemala (97%).

En servicio de datos, los índices son:

1. Brasil (36%);
2. Chile (35%);
3. Argentina (27%).

En cuanto a sistemas operativos para dispositivos móviles, Android lidera el mercado con cerca de un 80 por ciento a nivel mundial [28] [29]. A junio de 2013, la penetración de LTE (4G) es de apenas 0.5 por ciento en América Latina, sin olvidar que esta tecnología todavía se encuentra en fase comercial como se explicó anteriormente.

La Figura 3.1 fue tomada de la página web de 4G Americas, e indica el número de despliegues LTE en América latina a Agosto de 2013:



Figura 3.1 Redes LTE en América Latina y el Caribe⁶¹

3.2.2.2 Algunas Estadísticas en Ecuador

Las siguientes estadísticas son proporcionadas por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL), en base a los datos proporcionados por las operadoras mes a mes y de acuerdo a la información proporcionada por INEC en su página web <http://www.inec.gob.ec>.

Tómese en cuenta que la siguiente información se actualiza mes a mes.

AÑO	CLARO	MOVISTAR	CNT EP	TOTAL LINEAS ACTIVAS DEL SMA	DENSIDAD LINEAS ACTIVAS DEL SMA
2001	483.982	375.170	-	859.152	6,88%
2002	920.878	639.983	-	1.560.861	12,33%

Tabla 3.1 Servicio Móvil Avanzado - Densidad del servicio (continúa)

⁶¹ <http://www.4gamerica.org>

AÑO	CLARO	MOVISTAR	CNT E.P	TOTAL LINEAS ACTIVAS DEL SMA	DENSIDAD LINEAS ACTIVAS DEL SMA
2003	1.533.015	861.342	3.804	2.398.161	18,67%
2004	2.317.061	1.119.757	107.356	3.544.174	27,21%
2005	4.088.350	1.931.630	226.352	6.246.332	47,27%
2006	5.636.395	2.490.002	358.653	8.485.050	63,28%
2007	6.907.911	2.582.436	433.275	9.923.622	72,94%
2008	8.156.359	3.211.922	323.967	11.692.248	84,70%
2009	9.291.268	3.806.432	356.900	13.454.600	96,07%
2010	10.470.502	4.314.599	333.730	15.118.831	104,39%
2011	11.057.316	4.513.874	303.368	15.874.558	107,51%
2012	11.757.906	5.019.686	309.271	17.086.863	110,09%
jul-13	11.760.446	5.092.038	362.560	17.215.044	109,87%

Tabla 3.1 Servicio Móvil Avanzado - Densidad del servicio⁶²

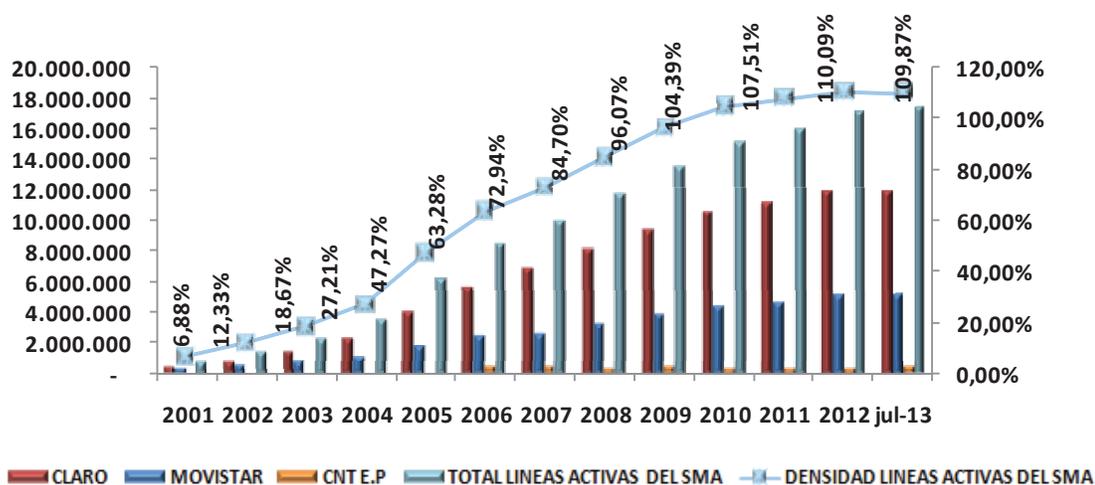


Figura 3.2 Servicio Móvil Avanzado - Densidad de Servicio⁶³

⁶² Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. Agosto de 2013

En la Tabla 3.1, representada en la Figura 3.2, se observa dos tendencias en cuanto a la densidad de servicio; lineal desde 2001 hasta 2004, y logarítmica de 2005 a julio de 2013.

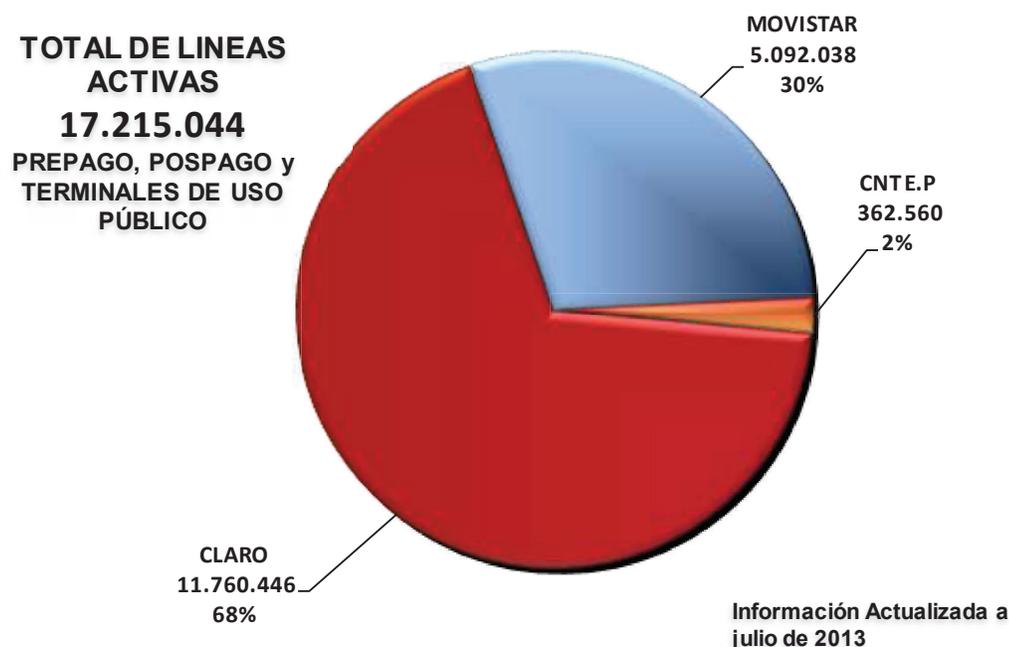


Figura 3.3 Participación de cada operadora en el mercado⁶⁴

En la Figura 3.3 se puede apreciar un dominio del 68% del mercado por parte de Claro, seguido de Movistar con 30% y apenas un 2% para CNT.

En la Tabla 3.2, representada en la Figura 3.4, se observa un incremento muy marcado en los últimos 4 años, pasando de apenas un 1,52% a un 22,83% en el primer semestre de 2013. Esto indica claramente que cada vez existe más demanda de este servicio que sólo es accesible por medio de dispositivos como teléfonos inteligentes. De ahí se tiene la importancia de considerar los índices de penetración de smartphones en nuestro país.

⁶³ Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. Agosto de 2013

⁶⁴ Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. Agosto de 2013

AÑO	CLARO	MOVISTAR	CNT	TOTAL LÍNEAS ACTIVAS DE INTERNET MÓVIL	DENSIDAD INTERNET MÓVIL
2009	90.019	112.303	10.520	212.842	1,52%
2010	1.086.567	193.357	42.930	1.322.854	9,31%
2011	1.104.845	329.576	78.686	1.513.107	10,25%
2012	1.731.966	1.420.528	147.986	3.300.480	21,26%
jul-13	2.219.240	1.193.847	164.375	3.577.462	22,83%

Tabla 3.2 Servicio Móvil Avanzado - Internet Móvil⁶⁵

Nota 1: Densidad: Número de abonados/líneas activas por cada 100 habitantes

Nota 2: Se replican los valores de CNT E.P. del mes de marzo al mes de abril, mayo, junio y julio de 2013, en vista de inconsistencias en los reportes de la empresa.

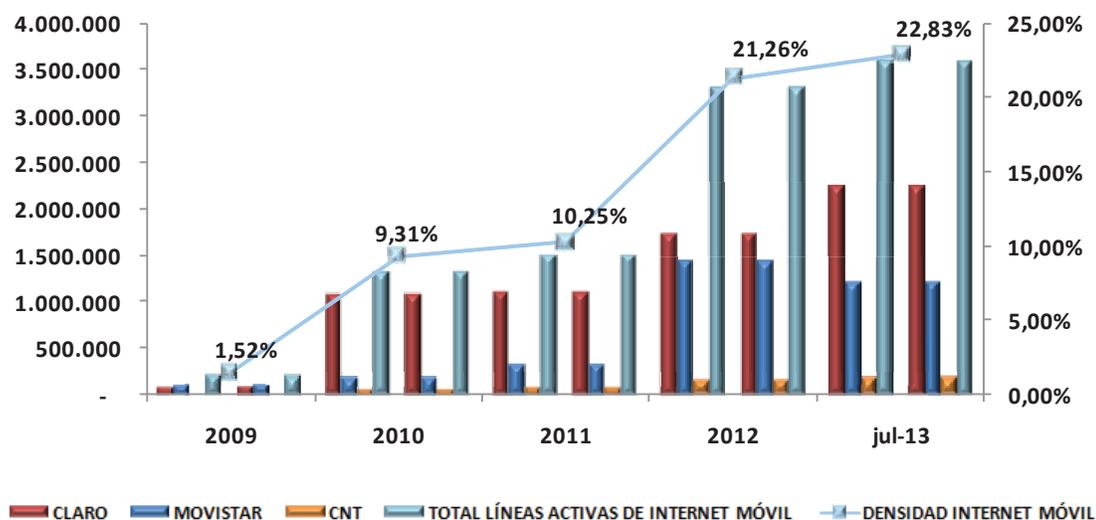


Figura 3.4 Servicio Móvil Avanzado - Internet Móvil⁶⁶

⁶⁵ Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. Agosto de 2013

⁶⁶ Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. Agosto de 2013

Nota 1: En los valores del año 2009 se incluyen: SMA Datos (Modems, Dongles) + M2M

Nota 2: En los valores a partir del año 2010 se incluyen: SMA Datos (Modems, Dongles) - M2M + SMA (Voz + Datos, Smartphones)

Nota 3: OTECEL S.A. a partir del mes de febrero de 2012, incluye las líneas que acceden a internet bajo demanda, es decir los usuarios que sin contratar ningún plan, acceden a internet.

Nota 4: Se incluye el acceso a internet vía WAP

3.2.2.3 Avances de las Telecomunicaciones en Ecuador según MINTEL

Según el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información creado mediante Decreto Ejecutivo N° 8 el 13 de agosto de 2009, en el 2012 Ecuador ha experimentado un crecimiento extraordinario en materia de telecomunicaciones y tecnologías de la información y la comunicación TIC, por los proyectos realizados por esta institución y sus entidades adscritas y relacionadas [30].

Entre los logros, según MINTEL, que se alcanzaron el año 2012:

- A diciembre de 2012 se conectaron con fibra óptica 23 provincias. De 1.252 km. de fibra que se tenía originalmente en el país, actualmente existen 15.630 kilómetros;
- La penetración de Internet en el Ecuador alcanzó un 54.58 por ciento con 8'176240 usuarios, mientras que en 2011 fue del 36,60 por ciento;
- La penetración de la telefonía fija a noviembre de 2012 fue del 15,21 por ciento, un crecimiento del 3,44 por ciento con respecto al total de líneas telefónicas fijas en el 2012;
- A septiembre de 2012, 7'287.701 usuarios accedieron a Internet de Banda Ancha.

3.2.3 ESTUDIO DE DEMANDA PARA EL SERVICIO MÓVIL AVANZADO

3.2.3.1 Consideraciones.

Antes de proceder a realizar el estudio eligiendo uno o varios métodos de los explicados anteriormente, es necesario tomar en cuenta varios aspectos:

- Elegir apropiadamente un período de tiempo para el análisis. Para esto, y en vista a los cambios notables que se esperan en los próximos años, se tomarán los datos de la densidad de servicio para el SMA a partir de 2008, con una regresión estadística de tipo logarítmica proyectada a 2013 y 2014;
- Como un factor del índice de penetración de las tecnologías 4G en Ecuador, se podrían tomar los índices de penetración de los dispositivos móviles inteligentes en la región. Por ejemplo, se puede elegir un porcentaje de penetración inicial del 0.7% y un crecimiento de 9% anual con relación al crecimiento de la penetración de smartphones en Sudamérica, información proporcionada por Our Mobile Planet encargado por Google y llevado a cabo por la empresa Ipsos Media CT en colaboración con Mobile Marketing Association e Interactive Advertising Bureau, en el que se puede apreciar un aumento del 7% al 9% anual en países como Brasil y Argentina [31].

Esto concuerda con la proyección ofrecida por la Asociación GSM (GSMA) en 2011 en el estudio de Investigación conjunta entre GSMA, A. T. Kearney y Wireless Intelligence para el “Primer Observatorio móvil de América Latina” en el que se estimó un crecimiento del triple en cuanto a penetración de dispositivos inteligentes desde 2010 a 2014 [32].

- Se debe tomar en cuenta los datos correspondientes a tecnologías cercanas a 4G, como es el caso de HSPA+ en nuestro país, y en base a ello realizar una proyección de mercado de la demanda de líneas de servicio móvil avanzado con características 4G.
- El número de abonados que se espera, adopten estos servicios serán los mismos que han contratado servicios HSPA+ en nuestro país, con una proyección estadística de su aumento en base a la información proporcionada por la SENATEL.

AÑO	CLARO (CONECEL S.A.)				
	TDMA	GSM	UMTS	HSPA +	TOTAL
2010		9.419.193	1.051.309		10.470.502
2011		9.774.865	1.282.451		11.057.316
2012		10.252.457	1.484.003	21.446	11.757.906
ene-13		10.332.675	1.501.189	21.264	11.855.128
feb-13		10.417.477	1.518.484	20.602	11.956.563
mar-13		10.451.340	1.534.483	20.892	12.006.715
abr-13		10.513.587	1.551.075	20.126	12.084.788
may-13		9.996.082	1.543.562	107.758	11.647.402
jun-13		10.036.386	1.556.247	107.391	11.700.024
jul-13		10.048.710	1.570.123	107.014	11.725.847

Tabla 3.3 Abonados Claro (Conecel) por Tecnología (2010-Actualidad)⁶⁷

AÑO	MOVISTAR (OTECEL S.A.)					
	TDMA	CDMA	GSM	GPRS/EDGE/UMTS	3.5G/HSPA +	TOTAL
2010		232.396	3.911.249	170.954		4.314.599
2011			4.212.329	301.545		4.513.874
2012			4.646.804	351.246	21.636	5.019.686
ene-13			4.649.693	359.172	24.779	5.033.644
feb-13			4.657.877	365.511	27.811	5.051.199
mar-13			4.616.176	376.510	40.611	5.033.297

Tabla 3.4 Abonados Movistar (Otecel) por Tecnología (2010-Actualidad)
(continúa)

⁶⁷ Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. 22 de julio de 2013

AÑO	MOVISTAR (OTECEL S.A.)					
	TDMA	CDMA	GSM	GPRS/EDGE/UMTS	3.5G/HSPA +	TOTAL
abr-13			4.611.091	388.963	43.592	5.043.646
may-13			4.614.135	398.412	46.650	5.059.197
jun-13			4.631.383	399.559	47.308	5.078.250
jul-13			4.567.034	419.040	51.332	5.037.406

Tabla 3.4 Abonados Movistar (Otecel) por Tecnología (2010-Actualidad)⁶⁸

AÑO	CNT E.P. (EX TELECSA)			
	CDMA	GSM	HSPA +	TOTAL
2010	157.438	176.292		333.730
2011	102.115	201.253		303.368
2012	75.179	233.874	218	309.271
ene-13	70.753	123.445	154.853	349.051
feb-13	84.948	118.974	145.491	349.413
mar-13	83.748	130.396	148.416	362.560
abr-13	83.748	130.396	148.416	362.560
may-13	83.748	130.396	148.416	362.560
jun-13	83.748	130.396	148.416	362.560
jul-13	83.748	130.396	148.416	362.560

Tabla 3.5 Abonados CNT E.P. por Tecnología (2010-Actualidad)⁶⁹

⁶⁸ Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. 22 de julio de 2013

⁶⁹ Senatel. Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones. 22 de julio de 2013

3.2.3.2 Proyección de la densidad de líneas activas del SMA y porcentaje de penetración de HSPA+ con respecto al número de líneas activas.

En base a lo anterior, y utilizando tendencia de extrapolación logarítmica para los registros de densidad de líneas activas para el SMA se tiene la Figura 3.5:

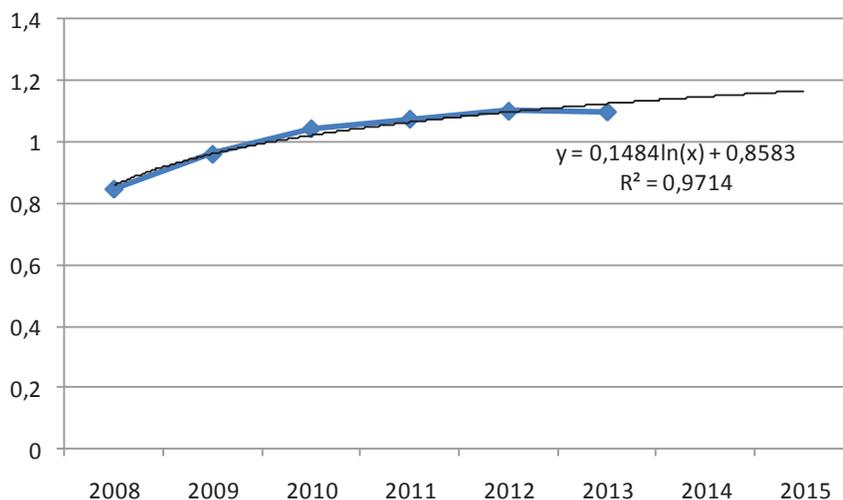


Figura 3.5 Densidad de líneas activas SMA y curva de regresión extrapolada dos años en el futuro

En la ecuación 3.3, x es el número de la serie empezando desde 1 en 2008 y R^2 es el coeficiente de determinación, podemos calcular la densidad para los próximos dos años. El coeficiente de determinación muestra que se cumple una marcada tendencia logarítmica.

$$y = 0.1484 \ln(x) + 0.8583 \quad (3.3)$$

Para obtener un modelo matemático en base a densidad telefónica y años perteneciente a las líneas activas SMA en la proyección de la densidad de líneas activas en el futuro se utilizaron herramientas computacionales, y la elección del modelo de regresión simple logarítmica se siguió en base a lo siguiente.

Cuando el modelo de regresión de regresión no logra un coeficiente de determinación R^2 apropiado, o el fenómeno tiene un comportamiento que puede

considerarse potencial o logarítmico, se puede recurrir al modelo de regresión simple logarítmica estableciendo primero un diagrama de dispersión como consta en la Figura 3.5, obtenida a partir de la Tabla 3.1

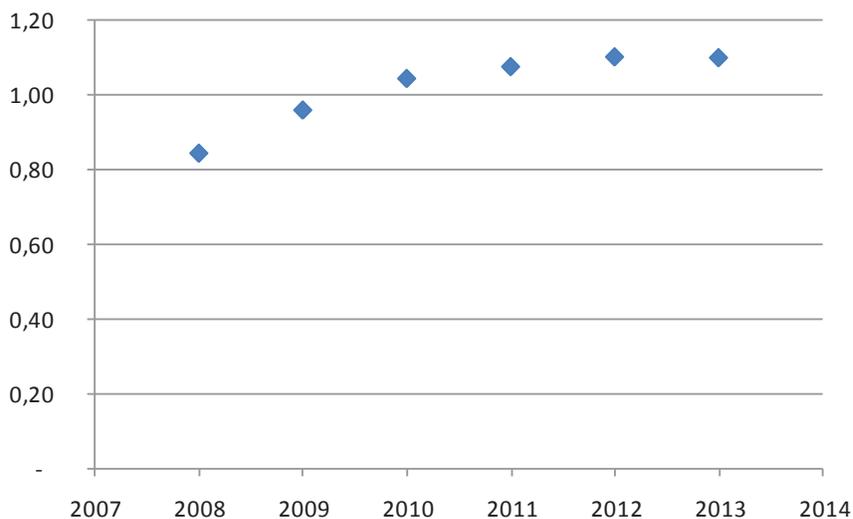


Figura 3.6 Densidad de líneas activas SMA

Este modelo de regresión también es conocido como regresión no lineal por método de mínimos cuadrados. La forma que toma este caso en particular es:

$$y = a * \ln(x) + b \quad (3.4)$$

Esta ecuación cambia su variable original X por $\ln(x)$. Encontrar el modelo logarítmico para la curva de ajuste por método de mínimos cuadrados no es demasiado complejo si se considera $X_i = \ln(x_i)$ con lo que el modelo se transforma en un modelo lineal [33].

De esta manera se puede hallar la Ecuación 3.3 creando una tabla de valores para hallar a y b por medio de las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{\sum(\ln x)(y) - \bar{y} \sum \ln x}{\sum(\ln x)^2 - \bar{\ln x} \sum \ln x} \quad (3.5)$$

$$b = \bar{y} - (a \overline{\ln x}) \quad (3.6)$$

x_i	y_i	$\ln x_i$	$(\ln x_i)^2$	y_i^2	$(\ln x_i) * y_i$
	
		$\Sigma \ln x$	$\Sigma (\ln x)^2$		$\Sigma (\ln x)*y$
	\bar{y}	$\overline{\ln x}$			

Tabla 3.6 Tabla para cálculo de curva de regresión logarítmica.

Recordando que x ni y pueden ser negativos o cero y que pueden utilizarse logaritmos naturales o base 10.

Aplicando al caso particular de estudio, y en base a la Tabla 3.1 la tabla anterior queda de la siguiente manera:

x_i	y_i	$\ln x_i$	$(\ln x_i)^2$	y_i^2	$(\ln x_i) * y_i$
1	0,847	0	0	0,717409	0
2	0,9607	0,69314718	0,48045301	0,92294449	0,6659065
3	1,0439	1,09861229	1,20694896	1,08972721	1,14684137
4	1,0751	1,38629436	1,92181206	1,15584001	1,49040507
5	1,1009	1,60943791	2,59029039	1,21198081	1,7718302
6	1,0987	1,79175947	3,210402	1,20714169	1,96860613
		$\Sigma \ln x =$ 6,57925121	$\Sigma (\ln x)^2 =$ 9,40990642		$\Sigma (\ln x)*y =$ 7,04358926
	$\bar{y} =$ 1,02105	$\overline{\ln x} =$ 1,09654187			

Tabla 3.7 Cálculo de la curva de regresión logarítmica aplicada a la densidad de líneas SMA activas.

Reemplazando:

$$a = \frac{\Sigma(\ln x)(y) - \bar{y} \Sigma \ln x}{\Sigma(\ln x)^2 - \overline{\ln x} \Sigma \ln x}$$

$$a = \frac{7,04358926 - 1,02105 * 6,57925121}{9,40990642 - 1,09654187 * 6,57925121} = 0,14841607$$

$$b = \bar{y} - (a \overline{\ln x})$$

$$b = 1,02105 - (0,14841607 * 1,09654187) = 0,85830557$$

De esta manera se obtiene la curva de regresión logarítmica:

$$y = 0,148 * \ln(x) + 0,858$$

Para 2014 x es igual a 7 y para 2015 igual a 8, con lo que se puede calcular la tendencia de la densidad de líneas activas para los próximos 2 años de la siguiente forma:

$$y_7 = 0.1484 \ln(7) + 0.8583$$

$$y_7 = 1,14707$$

$$y_8 = 0.1484 \ln(8) + 0.8583$$

$$y_8 = 1.16690$$

De esta manera se tiene que la densidad de líneas activas del SMA para 2014 será de 114,707% y en 2015 de 116,69%.

Ahora, con la información de las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5, se procederá a calcular el índice de penetración de usuarios de HSPA+ con respecto al total de abonados del servicio móvil avanzado en el Ecuador. En este caso se tomará en cuenta el total de abonados y no se hará distinción por operadora, con lo que la Tabla 3.8 queda de la siguiente forma:

Total abonados SMA			
AÑO	HSPA +	TOTAL	%HSPA+
2010		15118831	
2011		15874558	
2012	43300,00	17086863,00	0,2534%
ene-13	200896,00	17237823,00	1,1654%
feb-13	193904,00	17357175,00	1,1171%
mar-13	209919,00	17402572,00	1,2063%
abr-13	212134,00	17490994,00	1,2128%
may-13	302824,00	17069159,00	1,7741%
jun-13	303115,00	17140834,00	1,7684%
jul-13	306762,00	17125813,00	1,7912%

Tabla 3.8 Porcentaje de penetración abonados HSPA+ con respecto al total de abonados del servicio móvil avanzado.

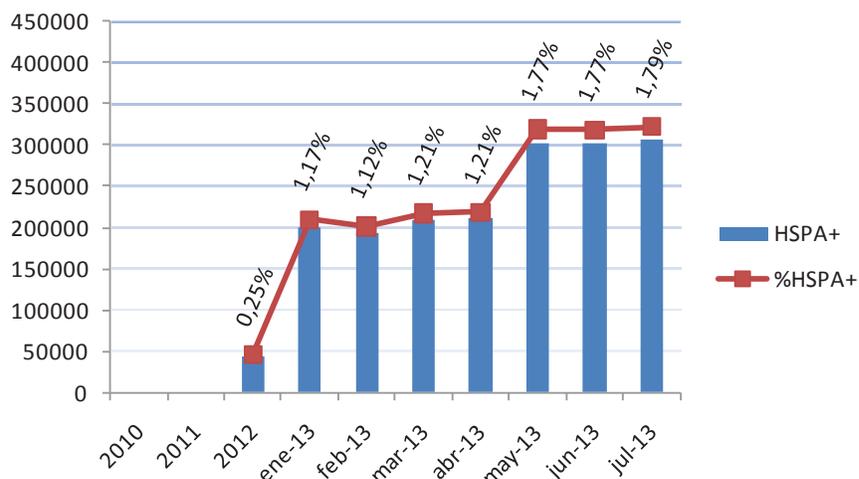


Figura 3.7 Porcentaje de penetración abonados HSPA+ con respecto al total de abonados del SMA

En la Figura 3.7 se puede apreciar las variaciones en el porcentaje de penetración del número de abonados HSPA+ respecto al total de abonados del servicio móvil avanzado.

Con estas cifras se observa un incremento del 5% en la demanda de líneas de servicio móvil avanzado en 2014, y de un 7% en 2015 respecto a 2013.

Sin embargo, tomando en cuenta el índice de abonados de HSPA+ a partir de 2012, éste ha tenido un crecimiento muy marcado, del 0,2534% al 1,7912% con respecto al número de abonados de HSPA+ en total para las tres operadoras en nuestro país.

Como conclusión se obtiene una tendencia logarítmica en cuanto al crecimiento del número de abonados de servicio móvil avanzado y de igual forma con el número de abonados de HSPA+. Por el momento se puede concluir que en el país se hace cada vez más necesaria la adopción de un sistema de cuarta generación como WiMAX 2, o LTE-Advanced. Técnicamente se ha demostrado que ambas tecnologías son compatibles entre sí por los requerimientos IMT-

Advanced, y con una inversión paulatina se puede cubrir el crecimiento en la demanda futura de conexiones 4G con tecnología IEEE 802.16m.

Sin embargo, todavía se espera un crecimiento mayor en los próximos años, influenciado por la implementación de nuevas redes 4G y servicios en Ecuador y en la región de América Latina, lo que requiere considerar una economía de escala en la adquisición de equipos.

En un estudio realizado por Zakhia Abichar y J. Morris Chang de la Universidad estatal de Iowa, junto con Chau-Yun Hsu de la Universidad Tatung *en Taiwán*, se realiza una comparación entre las dos tecnologías principales para telecomunicaciones Móviles Internacionales: WiMAX y LTE, así como su adopción como tecnologías de cuarta generación.

De dicho estudio la principal diferencia entre WiMAX y LTE es que la primera se beneficia de su desarrollo y despliegue tempranos, mientras que LTE ha tomado ventaja de haber sido desarrollada por compañías de telecomunicaciones que eligieron qué tecnología desplegar [34].

En un principio, WiMAX tomó la iniciativa haciendo su aparición en el mercado de comunicaciones móviles de banda ancha. De acuerdo al Foro WiMAX, la tecnología WiMAX tiene cerca de unos 519 despliegues alrededor del mundo con más de 10 millones de suscriptores, así como una banda en el espectro de frecuencias asignado en 178 países.

Sin embargo, ahora el desarrollo de LTE ha tomado la delantera, algunas compañías han decidido cambiar sus sistemas WiMAX. Muchas compañías como Cisco y Alcatel-Lucent anunciaron años atrás dejar de ofrecer estaciones base WiMAX y enfocarse en soluciones radiales para IP. Otras en cambio decidieron continuar ya que ambas tecnología pueden coexistir, como se ha indicado en capítulos anteriores.

Aun así, compañías norteamericanas como Beceem Communications Inc., y Sequans Communications S.A. que previamente se enfocaron en WiMAX 4G, ahora están adoptando LTE [35].

En una investigación hecha para IHS iSuppli en enero de 2011, Francis Sideco, analista principal senior en comunicaciones de la Universidad Loyola Marymount, estima que la tendencia de un crecimiento de LTE con respecto a WiMAX sea de forma exponencial, tomando ventaja en 2012 y con un crecimiento más acelerado a partir de 2013.

Para otra investigación en febrero de 2012, estima que el porcentaje de crecimiento para la renovación y ampliación de LTE pasará de los 400 billones de dólares americanos a nivel mundial.

La tendencia clara es que LTE Advanced y tecnologías relacionadas tomarán el mercado mundial en mayor porcentaje debido a varias razones:

- Mayor difusión de LTE Advanced con respecto a WiMAX IEEE 802.16m.
- La adopción de LTE Advanced por varias compañías e incluso el cambio de algunas redes WiMAX y LTE.
- Los convenios firmados en varios países para la adopción de LTE como tecnología de cuarta generación.
- La creación de terminales de usuario, estaciones base y equipos relacionados en base a LTE Advanced.

Tomando todo esto en consideración, la implementación de sistemas 4G WiMAX 2 en Ecuador es factible desde un punto de vista técnico, pero no tanto desde un punto de vista de mercado y de una implementación a gran escala debido a la poca demanda de equipos IEEE 802.16m, haciendo que la adquisición de los mismos sea más costosa que la de su contraparte LTE-Advanced. Además de no poder suplir la demanda de suministros a precios más bajos que el estándar europeo. Por otra parte, en Ecuador ya se cuenta con otras tecnologías de la familia 3GPP, como GSM y HSPA/HSPA+, lo que implica una transición más suave de tecnologías.

CAPITULO 4

FACTIBILIDAD LEGAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WIMAX2 COMO ALTERNATIVA 4G EN ECUADOR

4.1 INTRODUCCIÓN

Para empezar esta parte del estudio de factibilidad legal de IEEE 802.16m en Ecuador, es necesario que se establezca el escenario actual en el que se encuentra el marco regulatorio en nuestro país. También es indispensable establecer los objetivos que se deben alcanzar con la regulación en Telecomunicaciones en general.

IEEE 802.16m como una tecnología de comunicaciones móvil de cuarta generación, está conformada por una variedad de componentes, tales como; arquitectura física, arquitectura de red, compatibilidad inter-tecnologías y por los servicios que pueda prestar, de ahí que la factibilidad legal sea quizás el mayor obstáculo que cualquier tipo de telecomunicaciones tenga que solventar dada la naturaleza de las mismas, y de la política aplicada a cada región.

La regulación debe procurar una operación eficaz de las distintas operadoras en un mismo escenario, tomar en cuenta el uso eficiente del espectro radioeléctrico, la evolución tecnológica, así como establecer reglas para un mercado de libre competencia y la tasación adecuada de los servicios que permitan una competencia justa entre operadoras y a su vez que sean asequibles para el usuario final.

El gran reto en este caso es crear una serie de leyes y reglamentos que cumplan tanto con los intereses del Estado y que a su vez sean lo suficientemente flexibles con las operadoras de servicios de telecomunicaciones, fomentando de esta

forma la inversión en este campo y proveyendo un marco de seguridad y equidad para los actores del mercado.

4.2 ECUADOR Y EL ESTADO DE SU REGULACIÓN EN MATERIA DE TELECOMUNICACIONES EN LA ACTUALIDAD

En estos momentos, Ecuador está viviendo un período de múltiples cambios en materia de Telecomunicaciones sin cambiar la Ley especial de Telecomunicaciones. Se ha visto la necesidad de un plan nacional de frecuencias que tome en cuenta nuevos servicios como los de IMT y Televisión Digital Terrestre.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) ofrecerá a finales de este año una red 4G [36]. Para este efecto, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, órgano de regulación de las Telecomunicaciones en el Ecuador, otorgó a CNT frecuencias para que provea servicio 4G desde el segundo semestre de 2013 mediante resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 del 12 de diciembre de 2012 en Babahoyo.

CONATEL también resolvió adoptar la Segmentación propuesta por la Telecomunidad Asia Pacífico (APT) para la Banda de 700 MHz. En el plano técnico, CONATEL adoptó el modelo de segmentación A5, conocido como APT, para la banda 700MHz, propuesta por la APT, la cual ofrece el mejor desempeño para el despliegue de sistemas IMT (International Mobile Telecommunications), obteniendo la mayor eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico. Asimismo permite flexibilidad en la definición del tamaño de los bloques de espectro para un mejor ajuste con las características de las tecnologías disponibles y las necesidades del país, evita la utilización de bandas de guarda para la coexistencia entre sistemas FDD y TDD en la misma banda y ofrece una mayor cantidad de espectro para ser aprovechado por las tecnologías 4G. La resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 fue aprobada el 12 de diciembre de 2012.

En otras palabras, esta segmentación de la banda de 700 MHz ofrece la posibilidad para que los ecuatorianos puedan acceder a dispositivos muy modernos y de mayor rendimiento, a menor costo, dado que su fabricación es masiva en los mercados internacionales, donde se ha adoptado el mismo modelo. En este rango de frecuencias, es menor la posibilidad de interferencia, mayor cobertura, se facilita el despliegue y desempeño en el país de la nueva tecnología 4G y, por lo tanto, permite tener acceso a una banda ancha con expectativas de rendimiento únicas. De igual forma, hay mayor posibilidad del ingreso de nuevos actores al mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador.

Según el Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL), la adopción de este esquema de segmentación representa un paso importante en armonización del espectro radioeléctrico a nivel regional que ofrece múltiples beneficios económicos y sociales a los usuarios, al Estado y a la industria, reduce los problemas de interferencia en zonas de frontera, así como también facilita el uso del mismo terminal en diferentes redes a nivel mundial (Roaming Internacional) y ofrece certeza a la industria en la definición de las características de desarrollos tecnológicos [37].

En el I Foro Internacional sobre basura electrónica y campos electromagnéticos, desarrollado en Quito los días martes 13 y miércoles 14 agosto de 2013, MINTEL anunció que CONATEL se prepara para negociar espectro radioeléctrico adicional con las operadoras privadas de telefonía móvil de la banda de 1900 MHz con el objeto de mejorar sus servicios como consta en la Resolución No. TEL-390-19-CONATEL-2013 del 16 de agosto de 2013 [38].

4.2.1 CONCESIONES RELACIONADAS CON WIMAX 2

A la presente fecha, la única tecnología que será desplegada en nuestro país es LTE-Advanced por parte de CNT.

Las bandas de frecuencia, y especificaciones técnicas cumplen con la normativa ecuatoriana, y con las especificaciones indicadas por la UIT para sistemas IMT,

por lo que se concluye que es factible una implementación de IEEE 802.16m que cumpla con el marco regulatorio de las Telecomunicaciones en el Ecuador. Además, la inclusión de nuevas tecnologías ha hecho que se lleven a cabo algunas modificaciones en el Plan Nacional de frecuencias, garantizando el despliegue de tecnología 4G que trabaja en las bandas de frecuencia citadas anteriormente.

4.3 CONSIDERACIONES QUE DEBE TOMAR EN CUENTA EL MARCO REGULATORIO CON RESPECTO A TECNOLOGÍAS 4G

El Marco Regulatorio en este caso debe ser independiente del tipo de tecnología a utilizar, ya sea esta IEEE 802.16m, LTE-Advanced o cualquier otra que se presente en el futuro. Este punto se extiende al tipo de red, móvil o fija para que sea aplicable el concepto de convergencia tecnológica.

De igual forma, se requiere que la regulación no sea proteccionista si se quiere fomentar un ambiente de libre competencia que beneficie tanto al abonado, como al Estado y la inversión privada a partes razonables.

Antes se trató la convergencia rápidamente, pero es necesario notar que el mismo hecho de tomarla en cuenta significa un proceso de desregularización clave de naturaleza lenta pero constante, por lo que se vuelve crítico tratar la naturaleza de la misma si se piensa en un proceso de adaptación tecnológica a nivel global. Esto también implica que la otorgación de licencias o títulos habilitantes debe ser más simplificado, reduciendo el proceso burocrático de las mismas al poder conceder licencias únicas.

También es necesario tomar en consideración los parámetros técnicos de Calidad de servicio y el cumplimiento de los mismos.

En cuanto a la asignación de espectro, como se señaló en el punto 4.2, y en el capítulo 1 y 2, el Ecuador está dando los primeros pasos para una mejor

asignación del espectro tomando en cuenta varios factores; entre uno de ellos, las tecnologías IMT-Advanced [24].

4.4 REGULACIÓN VIGENTE RELACIONADA CON EL SERVICIO MÓVIL AVANZADO.

En este caso de estudio en particular, se tiene que revisar una serie de reglamentos y leyes que afectan directamente al servicio móvil avanzado y a varios aspectos relacionados con el mismo, entre los cuales tenemos:

- Ley Especial de Telecomunicaciones y sus reformas;
- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones y sus reformas;
- Reglamento para la prestación del servicio móvil avanzado;
- Reglamento de Interconexión;
- Reglamento abonados servicios telecomunicaciones y valor agregado;
- Reglamento de radiocomunicaciones (resolución no. 556-21-conatel- 2000);
- Plan Nacional del Buen Vivir.

Este conjunto no sólo se aplica a la prestación del servicio móvil avanzado, ni a esta tecnología en particular (IEEE 802.16m) sino a un grupo amplio de servicios y tecnologías sin distinción en particular. De nuevo, se puede apreciar la necesidad de incorporar la convergencia de servicios y la convergencia tecnológica en el marco regulatorio para simplificar la aplicación de las leyes y el otorgamiento de licencias.

4.4.1 LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA

Esta Ley fue creada en reemplazo de la Ley Básica de Telecomunicaciones de 1972 y fue publicada en el Registro Oficial No. 996 del 10 de agosto de 1992 y posteriormente con varias reformas, que actualmente se encuentra en vigencia en nuestro país.

Es importante tomar en cuenta que esta Ley no considera la convergencia como en el Proyecto de Ley propuesto en 2011, así mismo, en ninguna de las dos se

hace una definición sobre redes, sistemas y tecnologías cuyo resultado final son los servicios de telecomunicaciones.

El Servicio Móvil Avanzado a su vez constituye un servicio final que también debe regirse por su propio reglamento de prestación de servicios, por el reglamento de interconexión entre otros relacionados con el mismo.

Por esta Ley, en 1995 se crean los tres entes; CONATEL, SENATEL y SUPERTEL cada uno con atribuciones particulares.

El Servicio Móvil Avanzado, al ser un servicio de Telecomunicaciones, también está sujeto al Régimen de Libre Competencia tal como consta en esta Ley.

A su vez, el artículo 39 trata sobre la protección de los derechos de los usuarios.⁷⁰

Hasta ahora se han tratado el proyecto de Ley y la Ley vigente al momento en materia de Telecomunicaciones por su importancia con respecto al servicio móvil avanzado y a la asignación y control del espectro radioeléctrico para el mismo.

Siguiendo la jerarquía de leyes aplicada en nuestro país, a continuación se tratarán los reglamentos relacionados de forma sucinta y por último un apartado especial para el plan Nacional del Buen Vivir.

4.4.2 REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA (DECRETO N°. 1790)

El Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones publicado en el Registro Oficial No. 404 del 4 de septiembre de 2001, tiene como finalidad establecer las normas y procedimientos generales aplicables a las funciones de planificación, regulación, gestión y control de la prestación de servicios de

⁷⁰ Artículo 39 (Sustituido por el Art. 58 de la Ley 2000-4, R.O. 34-S, 13-III-2000) "Protección de los derechos de los usuarios".

telecomunicaciones y la operación, instalación y explotación de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, datos y sonidos por cualquier medio; y el uso del espectro radioeléctrico.

Este Reglamento fue impugnado por el CIEEE en el año 2002 por ser inconstitucional, sin embargo el Tribunal Constitucional no lo aceptó.

Entre varios aspectos de este reglamento, son de particular importancia los correspondientes a los artículos sobre los prestadores de servicios de valor agregado, sobre los servicios finales y portadores y su diseño de red⁷¹.

IEEE 802.16m al igual que LTE-Advanced cumplen con esta normativa al incluir protocolos y especificaciones compatibles entre sí dada la naturaleza de las tecnologías de cuarta generación. Esto se cumple aún más al ser tecnologías compatibles entre sí, haciendo posible la creación de redes mixtas e interrelación entre ambas tecnologías en una misma zona geográfica.

Según este reglamento, estos servicios de telecomunicaciones se prestarán en régimen de libre competencia. El título IV trata sobre el régimen del operador dominante.

El título V es, en especial, de sumo interés ya que se habla sobre la interconexión y conexión. Los prestadores de servicios y operadores de redes de telecomunicaciones estarán obligados a negociar de buena fe, un acuerdo de conexión o interconexión aceptable para ambas partes.

Mientras el servicio móvil avanzado hasta hace poco no preveía la prestación de servicios como internet móvil, VoIP, etc., ahora se hace necesario un estudio detallado sobre la prestación de los mismos, su impacto en los pliegos tarifarios y sobre todo en la interconexión y conexión de redes entre operadores que satisfaga a ambas partes.

⁷¹ Artículos 12 y 13.

En el título VII del régimen del espectro radioeléctrico, se define nuevamente al espectro radioeléctrico como un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado, en consecuencia inalienable e imprescindible.

Como una tecnología IMT-Advanced, IEEE 802.16m busca la utilización óptima del espectro radioeléctrico y de los anchos de banda para garantizar un servicio en base a altos estándares de calidad de servicio.

Para la prestación de 4G en nuestro país se hizo necesario un cambio en el Plan Nacional de Frecuencias. El artículo 56 del presente reglamento explica las causales para la reasignación de una banda de frecuencias.

Además, nuevamente se declara que el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico requiere de un título habilitante en el artículo 57.

4.4.3 REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO (RESOLUCIÓN NO. 498-25-CONATEL-2002)

Tal como indica su nombre, este reglamento tiene como objetivo regular la prestación del Servicio Móvil avanzado (SMA) en el Ecuador.

Este reglamento no prevé la introducción de IMT-Advanced que data años después de la creación de este reglamento, sin embargo, las pautas de IMT-Advanced siguen la línea de IMT-2000, y son aplicables a este reglamento.

Es importante notar que, si bien las tecnologías cambian y evolucionan a pasos mayores que los de la regulación en materia de telecomunicaciones, los principios y la línea de evolución son aplicables de forma general. Esto es, una base sólida con principios que tomen en cuenta la evolución, convergencia, creación y prestación de nuevos servicios es la clave fundamental para una normativa a su vez flexible con dichos aspectos.

Sobre la asignación y uso del espectro radioeléctrico:

“Art.8.-El espectro radioeléctrico de frecuencias esenciales⁷² para el SMA de acuerdo con las recomendaciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y el Plan Nacional de Frecuencias, está subdividido en las siguientes bandas:

- a. 824 MHz a 849 MHz;*
- b. 869 MHz a 894 MHz;*
- c. 1710 MHz a 2025 MHz; y,*
- d. 2110 MHz a 2200 MHz;*

Y las que el CONATEL, fundamentado en el Plan Nacional de Frecuencias, considere en adelante para este servicio.”

Como se dijo antes, CONATEL aprobó mediante Resolución No. TEL-391-15-CONATEL-2012 de 4 de julio las modificaciones del Plan Nacional de frecuencias, que entre otros, contemplan las bandas de 700 MHz y 1900 MHz para servicio móvil.

En los artículos 12 a 17 del capítulo IV podemos encontrar una serie de regulaciones correspondientes a SMA, los prestadores del servicio móvil avanzado, el diseño de las redes públicas de telecomunicaciones SMA (RSMA), así como el cambio de patrones de tecnología y el costo para el usuario.

Aquí es necesario hacer un paréntesis y prestar atención al artículo 15. Si el prestador de SMA requiere prestar otros servicios adicionales a los concesionados requiere del respectivo título habilitante. Esto podría hacer que la

⁷² Son frecuencias esenciales del SMA aquellas vinculadas a los sistemas involucrados en la prestación final del servicio, esto es, la banda de frecuencias que enlaza a las estaciones móviles terrestres del SMA con las estaciones de base y la banda de frecuencias que enlaza a las estaciones de base con las estaciones móviles terrestres del SMA.

Todas las otras frecuencias que se utilicen como soporte de transmisión para la prestación del SMA son frecuencias no esenciales. (fuente: artículo 6 del presente reglamento en estudio).

regulación de tecnologías 4G sea aún más compleja al requerirse de varios títulos habilitantes para la prestación de varios servicios.

No es materia de estudio la reforma necesaria en la normativa actual, sin embargo es lógico pensar que se necesita tomar en cuenta a los paquetes de servicios de forma que se facilite el aspecto legal de la prestación de los nuevos servicios que, se espera puedan brindarse a través de la red móvil celular.

También se trata en este reglamento sobre las estaciones móviles terrestres del SMA, de las obligaciones y derechos de los prestadores de SMA, de los derechos y obligaciones de los usuarios, de los parámetros y metas de calidad de servicio, del régimen de tasas y tarifas, del régimen de interconexión, entre otros.

En cuanto a la facturación de servicio el artículo 29 dice:

“La facturación del servicio de telefonía del SMA se efectuará en tiempo real del uso expresado en minutos y segundos, según corresponda. La facturación de llamadas completadas de servicios de voz se iniciará una vez que el abonado (B) conteste.

Las llamadas completadas a servicios de mensajes de voz se facturarán únicamente cuando el abonado (A) efectivamente deje un mensaje. Otro tipo de servicio de telecomunicaciones se podrá facturar por volumen de datos, capacidad de canal y otros determinados por el CONATEL.”

Uno de los objetivos planteados con IMT-Advanced y a su vez con la creación de IEEE 802.16m fue la de brindar a los proveedores de contenido y a los operadores de red la capacidad de una facturación flexible, tal como se indicó en el capítulo 1 del presente estudio.

Se podría esperar que servicios de tiempo real, que necesiten de un uso mayor del canal y de parámetros más altos de calidad de servicio tengan una facturación

distinta a servicios que requieran menos uso del canal y que tengan menor requerimiento de calidad de servicio.

4.4.4 REGLAMENTO ABONADOS SERVICIOS TELECOMUNICACIONES Y VALOR AGREGADO (RESOLUCIÓN TEL-477-16-CONATEL-2012)

Este reglamento tiene como propósito establecer los mecanismos para que los derechos de los abonados/clientes-usuarios sean garantizados y satisfechos por los prestadores deservicios de telecomunicaciones y de valor agregado, así como regular las relaciones entre estos.

El artículo 15 es importante para el servicio móvil avanzado y para las redes 4G basadas en IP.

“Acceso a la Información, contenidos y aplicaciones.-

...15.6 Hacer uso de cualquier aplicación o servicio legal disponible en la red de Internet, con lo cual el servicio que ofrezcan los prestadores de los servicios no deberán distinguir ni priorizar de modo arbitrario contenido, servicios, aplicaciones u otros, basándose en criterios de propiedad, marca, fuente de origen o preferencia. Los prestadores de los servicios pueden implementar las acciones técnicas que consideren necesarias para la adecuada administración de la red de servicios, lo cual incluye también la gestión de tráfico en el exclusivo ámbito de las actividades que le fueron concesionadas o autorizadas para efectos de garantizar el servicio.”

4.4.5 REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES (RESOLUCIÓN NO. 556-21-CONATEL- 2000 ÚLTIMA MODIFICACIÓN 24-NOV-2011)

Este reglamento tiene por objeto, fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera eficaz, eficiente y regulada dentro del territorio nacional, a fin de obtener el máximo provecho de este recurso.

En el Capítulo III sobre los sistemas de radiocomunicación, el artículo 8 define a los Sistemas de Explotación como aquellos destinados a dar servicio al público en régimen de libre competencia. Estos sistemas bajo ningún punto de vista serán tratados como sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad.

En el capítulo IV sobre las concesiones, el artículo 9 expresa: *“Las concesiones de los servicios de radiocomunicación que operan bajo sistemas de explotación, se regirán conforme a lo establecido en el Reglamento de Concesiones de los Servicios de Telecomunicaciones.”*

4.4.6 PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR (2013-2017)

El Plan Nacional para el Buen Vivir es el documento que sustituye al anteriormente conocido como Plan Nacional de Desarrollo. A efectos de este análisis se han extraído algunas partes correspondientes a las telecomunicaciones en general:

“Gobernar los mercados de telecomunicaciones para construir un nuevo sujeto social.

La información y el conocimiento tienen un rol primordial en la construcción de una nueva sociedad. Esto ha generado un nuevo impulso del gobierno hacia los territorios digitales. La mayoría de las instituciones públicas y privadas a nivel nacional no proporciona servicios ni trámites que permitan acceder a servicios de calidad por medios electrónicos. En el mejor de los casos, se ofertan aplicaciones informativas, cuando el verdadero requerimiento es transaccional. Esta problemática es más grave cuanto más lejos se encuentre la población de las oficinas centrales en las que se realizan los trámites administrativos y/o la prestación física de estos servicios, lo que acentúa la exclusión social y castiga a la población más alejada de los centros urbanos.

El segmento de mayor crecimiento en el país ha sido sin duda el de servicios móviles. La densidad de telefonía móvil ha pasado del 7% en el 2001 a 109% en

el 2012. Sin embargo, en términos censales, solo el 78% de los hogares posee teléfono celular. En Pichincha (55%) y Guayas (51%) existen los porcentajes más altos de población que cuentan con un teléfono móvil con servicio activado. En el otro extremo existen provincias como Bolívar, en la que sólo el 30% de la población cuenta con un teléfono móvil activado (INEC, 2011b).

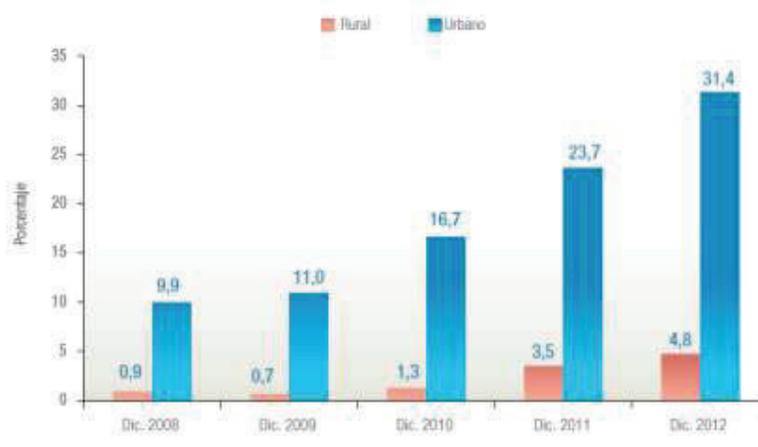
El uso de Internet se ha cuadruplicado con relación al 2006, lo que permite un acceso más democrático a la información. El acceso a Internet en los hogares por parte de la población de los quintiles 1 y 2, es decir los más pobres, se ha incrementado del 1% y del 4% al 11% y al 16%, respectivamente, con las instituciones educativas y los centros de acceso público como los puntos más importantes de acceso para esta población, con un 49% y un 38%, respectivamente (INEC, 2011b).

Adicionalmente, la conectividad de fibra óptica en el país se ha incrementado de 1251 km en once provincias -en el 2006-, a 8 689 km en veinticuatro provincias - en junio de 2012- (Senplades, 2012g). No obstante, aún es evidente la brecha digital de acceso, pues los servicios de telefonía fija e Internet se concentran en los grandes poblados de Pichincha, Guayas y Azuay. Esta brecha es más pronunciada cuando se comparan las zonas urbanas y rurales. Otro elemento importante a considerar es la velocidad en el acceso a Internet. El servicio de banda ancha es concebido como uno de los componentes principales de conectividad para el desarrollo digital.

Ecuador posee una densidad de conexiones de banda ancha fija del 4,19%, lo que está por debajo del 8% de la media latinoamericana, del 7% de la de los países del Asia del Pacífico, y del 19% de Europa (Senatel, 2011). La diferencia en la accesibilidad por provincia (Gráfico 6.11.4) también es marcada en cuanto a su concentración en Pichincha y Guayas, en las capitales provinciales y en las cabeceras cantonales de las diferentes provincias, lo que genera problemas de exclusión y brecha digital.

En América del Sur, al 2012, Ecuador se encuentra en el puesto ocho de doce países considerados para el análisis del nivel de desarrollo de gobiernos electrónicos, por parte del Programa de Administración Pública de las Naciones Unidas. De igual forma, dicho análisis revela que Ecuador se ubica en el puesto ciento dos de un total de ciento noventa y tres países analizados. Este resultado evidencia el nulo avance que el Ecuador ha presentado en cuanto al desarrollo de gobiernos electrónicos, que lo ha hecho descender siete lugares en los dos últimos años. Adicionalmente, el índice de gobierno electrónico del Ecuador es de 0,487, lo que implica que el país se encuentra por debajo de los promedios mundial (0,497) y de América del Sur (0,551) (ONU, 2012).”

GRÁFICO 6.11.3.
Porcentaje de hogares urbanos y rurales con acceso a Internet por zona (2008-2012)

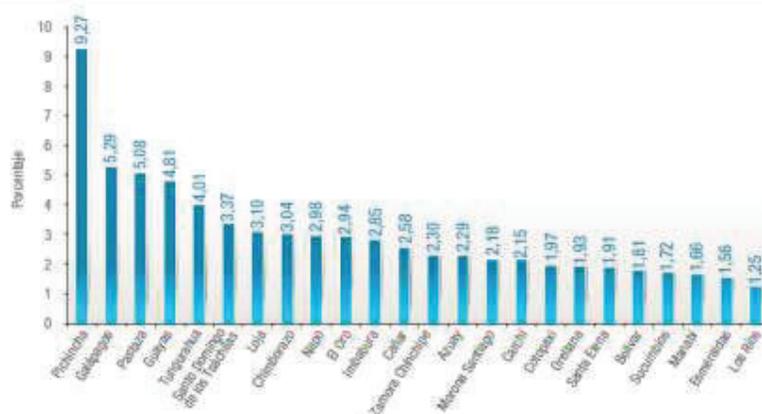


Fuente: INEC, 2012c.
Elaboración: Semplades.

Figura 4.1 Porcentaje de Hogares urbanos y rurales con acceso a internet por zona (2008-2012)⁷³

⁷³ República del Ecuador, Consejo Nacional de Planificación. Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. www.buenvivre.gob.ec

GRÁFICO 6.11.4.
Densidad de conexiones de banda ancha fija (2011)



Fuente: Senatel, 2011.
Elaboración: Serplades.

Figura 4.2 Densidad de conexiones de banda ancha fija (2011)⁷⁴

De igual forma, en la parte 11.3 sobre la democratización de servicios públicos de telecomunicaciones y de tecnologías de información y comunicación (TIC), se habla sobre facilitar la competencia entre operadores de servicios de telecomunicaciones para establecer una distribución más uniforme del mercado y evitar monopolios y oligopolios, implementar requisitos de desempeño para fortalecer la transformación de la matriz productiva en los contratos de concesión de bandas, frecuencias y prestación de servicios., establecer mecanismos de transferencia de tecnología en la normativa de telecomunicaciones para permitir el desarrollo local de nuevas aplicaciones y servicios, entre otros.

⁷⁴ República del Ecuador, Consejo Nacional de Planificación. Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. www.buenvivir.gob.ec

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 RESUMEN DE LO EXPUESTO

En el presente caso de estudio se han tratado aspectos técnicos sobre el estándar IEEE 802.16m, su posible penetración en los próximos años y también se ha tratado de forma breve la normativa legal que rige al Sistema Móvil Avanzado.

En este trabajo se han presentado los temas y se han desarrollado los contenidos de tal forma que muestren la relación estrecha que tiene la parte técnica con la regulación y el mercado en las telecomunicaciones en general, y en particular aplicada a este análisis.

Además, cada capítulo cuenta con una sección introductoria que permite seguir la línea de estudio de factibilidad para IEEE 802.16m aplicada puntualmente en nuestro país. Se ha hecho especial énfasis en ciertos aspectos de la regulación en telecomunicaciones dados los constantes cambios observados en los últimos años a partir de la adopción de tecnologías como la televisión digital terrestre (TDT) y ahora la tecnología de comunicaciones móviles de cuarta generación.

En varios temas se han incluido observaciones de acuerdo a lo tratado, algunas conclusivas y otras de carácter aclaratorio. En este capítulo en particular se recopilarán varias ideas expuestas, y se incluirán otras más para dar por finalizado este estudio de factibilidad.

5.2 CONCLUSIONES

- Los Sistemas Avanzados de Telecomunicaciones Móviles Internacionales son sistemas de acceso inalámbrico móvil de difusión que incluyen nuevas características que van más allá de los sistemas IMT-2000.
- Los sistemas IMT-Advanced soportan una amplia gama de aplicaciones que van desde las que tienen poca movilidad hasta las de alta movilidad en un amplio rango de tasas de datos, proporcionales al uso de los modelos y la densidad de usuarios.
- El grupo IEEE 802.16 empezó a desarrollar una enmienda para la línea base de IEEE 802.16 en enero de 2007, como una interface de aire que cumpla con los requerimientos establecidos por la ITU-R con respecto a lo que se denominan tecnologías IMT-Advanced, tal como está establecido en la Recomendación ITU-R M.1645.
- En IEEE 802.16m se tomaron en cuenta las mejoras en los mecanismos de control/señalización, reducción del *overhead*, control del tráfico y cobertura en el límite de las celdas, retardos en la interface de aire, consumo de potencia en los terminales, cabeceras MAC, soporte para FDD, técnicas avanzadas MIMO para un solo usuario o para múltiples usuarios, mejoras en los servicios basados en localización, auto configuración de redes, etc.
- Es importante aclarar que el estándar base para IEEE 802.16m, sólo define protocolos para las capas física y de acceso al medio. Al disponer de otras entidades tales como IETF, no necesita de una estructura de protocolos para tecnologías celulares dada su naturaleza.
- La arquitectura de red WiMAX es no-jerárquica en un marco de “todo IP” de extremo a extremo, para sistemas móviles basados en el uso máximo de protocolos IP estándar no propietarios.

- El soporte de movilidad dentro de una arquitectura de red WiMAX se basa en el esquema IP móvil. IP móvil es un protocolo IETF que permite a los usuarios móviles moverse desde una red a otra mientras mantienen sus direcciones IP.
- IEEE 802.16m ha modificado el modelo de referencia dado por el estándar IEEE 802.16-2009 al clasificar aún más las funciones de la sub capa MAC de parte común.
- Tanto IEEE 802.16m como 3GPP LTE y LTE-Advanced definen un plano de control y protocolos de capa física con funciones de control y administración con distintos nombres.
- La estructura de protocolos IEEE 802.16m es similar a la de IEEE 802.16, con algunos bloques funcionales adicionales en el plano de control para nuevas características como funciones de repetición, auto-organización y auto-optimización, multi-portadora, etc.
- Calidad de Servicio (QoS) para redes IP es un set de estándares y mecanismos en todo el sector de la industria para asegurar alta calidad y desempeño para las aplicaciones de usuario.
- La QoS se ha convertido en un factor importante en las telecomunicaciones, en especial en sistemas como el sistema móvil avanzado que hace uso de un recurso natural y escaso como es el espectro radioeléctrico.
- La sub-capas de seguridad IEEE 802.16m permite el despliegue de procedimientos de seguridad y encriptación robustos y confiables que permiten proteger la confidencialidad, privacidad e integridad del tráfico y credenciales de abonado, así como prevenir el robo de servicio en redes celulares. Esto es particularmente fundamental ya que la normativa de los

servicios y sistemas de telecomunicaciones exigen la protección tanto del usuario y de la información del mismo, así como su identidad en la red de servicio. También es obligación de los operadores establecer mecanismos que permitan la desconexión de equipos robados y con el paso de tiempo también se espera que las credenciales virtuales y otros mecanismos similares cuenten con todas las garantías de seguridad, confidencialidad y privacidad.

- Si bien en un principio se buscó identificar deficiencias del estándar IEEE 802.16-2009 para el diseño de la capa física de IEEE 802.16m reemplazando protocolos y procedimientos por unos nuevos o mejorados, fue necesario realizar modificaciones extremas para cumplir con los requerimientos de IMT-Advanced. Para este particular el criterio principal fue incrementar el throughput, reducir la latencia de acceso entre otros.
- Tanto IEEE 802.16m como 3GPP LTE-Advanced introdujeron el concepto de agregación de portadora para poder soportar anchos de banda mayores.
- Una de las características distintivas de los sistemas celulares de cuarta generación es la capacidad de operar en anchos de banda extremadamente grandes. Para esto la operación multi-portadora se ha convertido en una característica fundamental de los sistemas IMT-Advanced.
- Simulaciones por computadora [3] demostraron que IEEE 802.16m supera los requerimientos IMT-Advanced de eficiencia espectral de usuario en los límites de la celda.
- Los sistemas IEEE 802.16m deberán operar en frecuencias de radiofrecuencia menores a los 6GHz y ser desplegadas en un espectro autorizado ubicado en los servicios móviles fijos de banda ancha, y ser capaces de operar en las frecuencias identificadas por IMT-Advanced.

- En IEEE 802.16m se soportan las bandas de 450-470 MHz, 1710-2025 MHz, y 2110-2200 MHz que no eran bandas en las que podían operar revisiones previas de la especificación IEEE 802.16.
- El estudio de demanda en telecomunicaciones es la actividad más importante que precede al diseño de un sistema factible. Por esta razón fue necesario considerar el entorno actual de los sistemas móviles de cuarta generación y los que preceden a esta conocidos como 3.5G para una aproximación a grosso modo de la posible penetración de IEEE 802.16m como una alternativa factible en el Ecuador.
- Se puede apreciar una tendencia creciente del uso de paquetes de servicios tales como Doble y Triple Play en todo el mundo, lo que produce un aumento en el uso de internet y banda ancha.
- Se prevé futuros despliegues de 4G en varias partes del mundo y, para interés de este caso de estudio, en varios países de Latinoamérica incluido el Ecuador.
- Uno de los factores importantes para la adopción de tecnologías IEEE 802.16m o LTE-Advanced tiene que ver con el aumento del índice de penetración de smartphones en la región, así como de la contratación de servicios otorgados a través de HSPA+.
- En general, tanto en la región de Latinoamérica como en América del norte y otras partes del mundo se ve una tendencia muy marcada a la implementación y despliegue de redes LTE-Advanced.
- Si bien IEEE 802.16m y LTE-Advanced son compatibles entre sí, existen otros factores de peso para adoptar una tecnología sobre otra, o incluso cambiar de tecnología como intereses comerciales, políticos, de parte de la

propia industria de equipos, abastecimiento de repuestos, tecnologías anteriores que pertenezcan a la misma línea de estándares, etc.

- En nuestro país se puede apreciar un crecimiento de tipo logarítmico en el número de líneas activas de voz, datos y terminales de uso público a partir de 2004 hasta la presente fecha.
- La primera operadora en implementar una red 4G en el Ecuador será CNT E.P., la que tiene menor participación en el mercado. Conecel S.A. ostenta la mayor participación en el mercado de las tres únicas operadoras en nuestro país.
- Al no disponer de datos sobre IEEE 802.16m o LTE-Advanced, fue necesario recurrir a una tecnología anterior inmediata como HSPA+ para el estudio de mercado. Con ello se pudo observar un incremento de la demanda de líneas de servicio móvil avanzado con dicha tecnología. No se puede predecir con exactitud cuál será la tendencia en el uso de líneas con tecnología 4G hasta que estas tecnologías sean implementadas y ofrecidas, pero se puede pensar que seguirá una tendencia suave de crecimiento dado el tiempo necesario para la transición de los sistemas actuales a LTE-Advanced o IEEE 802.16m.
- Como se ha visto a lo largo de todos los capítulos, es imposible tratar IEEE 802.16m de forma independiente sin hacer referencia a LTE-Advanced, ya sea por cuestiones técnicas o comerciales.
- Con la implementación de nuevas tecnologías IMT-Advanced también se hace necesario considerar una economía de escala en la adquisición de equipos.
- IEEE 802.16m como una tecnología de comunicaciones móvil de cuarta generación, está conformada por una variedad de componentes, tales como; arquitectura física, arquitectura de red, compatibilidad inter-

tecnologías y por los servicios que pueda prestar, de ahí que la factibilidad legal sea quizás el mayor obstáculo que cualquier tipo de telecomunicaciones tenga que solventar dada la naturaleza de las mismas, y de la política aplicada a cada región.

- En Ecuador se están adoptando medidas de carácter técnico para la adopción de sistemas IMT-Advanced.
- En general, la regulación aplicada a los actuales sistemas celulares también lo es para sistemas de cuarta generación. Sin embargo, se pudo apreciar que van apareciendo algunos detalles importantes a considerar, como son la convergencia de servicios y una mejor distribución del espectro radioeléctrico.
- Se hizo un paréntesis para hablar de forma sucinta sobre las Leyes y Reglamentos que rigen en el sector de las comunicaciones móviles celulares dada su importancia al momento de otorgar concesiones y títulos habilitantes a las operadoras de tales servicios.
En este caso, fue necesario considerar el Proyecto de Ley de Telecomunicaciones propuesto por la Presidencia de la República hace 2 años, en el cual cambia la organización de los entes encargados del control y regulación de las telecomunicaciones.
- Se ha visto la necesidad de planteamientos de carácter general en la normativa de las telecomunicaciones que a su vez contemplen la evolución tecnológica, la convergencia tecnológica y de servicios y otros.
- En el Plan Nacional Para el Buen Vivir 2013-2017 también se trata el crecimiento de la densidad de telefonía móvil, Internet y conectividad de fibra óptica dada la importancia en la sociedad de la información y el conocimiento. Esto tiene relevancia ya que se tiene que planificar nuevos despliegues de tecnología en materia de telecomunicaciones, por lo que

conocer nuestro estado actual es el primer paso para proyectar metas a futuro.

- No existe ni existió la factibilidad legal para la implementación de redes WiMAX 2 ni existió para LTE. Se ha implementado por hecho y no por derecho.
- Es necesaria la creación de una nueva Ley de Telecomunicaciones acorde con el desarrollo tecnológico y no simplemente realizar cambios en Reglamentos y expedir Resoluciones.

5.3 RECOMENDACIONES

- Para entender más a fondo IEEE 802.16m es necesario un estudio de los estándares previos a su creación, las metas que se buscaron obtener y sus cambios. Las semejanzas y diferencias son un punto clave para apreciar la evolución de WiMAX como una alternativa que cumpla con los requerimientos de IMT-Advanced.
- En caso de considerar futuras implementaciones de esta tecnología, se recomienda realizar un estudio de mercado y disponibilidad de equipos con tecnología IEEE 802.16m. Es importante saber que tanto IEEE 802.16m como LTE-Advanced son tecnologías compatibles entre sí, sin embargo IEEE 802.16m podría no reportar beneficios de economía a escala como la implementación a gran escala de LTE-Advanced.
- En cuanto a la regulación presente y propuesta, se recomienda una revisión más detallada por parte del Estado. La creación y eliminación de entes no es el único paso a una regulación más flexible y simplificada, también lo es la creación de leyes que contemplen la continua evolución de los sistemas y que tengan concordancia con las definiciones de sistemas, tecnologías y redes. Es de particular interés el tratamiento más detallado sobre la convergencia de servicios y los paquetes de servicios para la disposición de títulos habilitantes.
- Dado el potencial que ofrecen tecnologías IMT-Advanced como IEEE 802.16m o LTE-Advanced en cuanto a la creación de contenidos, se recomienda que se incentive la creación y desarrollo de aplicaciones tanto a nivel de operadoras como a nivel privado y a nivel de universidad, lo que permitiría un posible nuevo campo de especialización en materia de telecomunicaciones.
- Al Estado, se recomienda un seguimiento activo sobre la actividad comercial y legal en cuanto a sistemas 4G en la región que permita

establecer mejores políticas en cuanto al control y regulación de los nuevos sistemas móviles celulares en nuestro país.

- Se recomienda que tanto profesionales, profesores, estudiantes, miembros y representantes de los entes regulatorios de las telecomunicaciones, entre otros, se informen tanto sobre las características de los sistemas de telefonía celular 4G, y de su impacto en el mercado y en la normativa en el país y la región.
- Para una mayor comprensión de la parte regulatoria, se recomienda referirse a trabajos y otros proyectos de titulación que tomen en cuenta las diferencias técnicas entre IEEE 802.16m y LTE-Advanced, así como los estudios sobre la regulación y propuestas de cambio de la misma en cuanto a los sistemas móviles de cuarta generación.
- Se recomienda que, de ser posible y contando con suficiente información al respecto, en un futuro se considere un estudio de mercado de la prestación de servicios a través de tecnologías 4G en el país, y mostrar su evolución a través del tiempo.
- Se recomienda la creación de una nueva Ley de Telecomunicaciones acorde con el desarrollo tecnológico.

5.4 TABLA RESUMEN

Conclusión	Resumen	Ámbito(s)
1	IMT-Advanced son sistemas de acceso inalámbrico con características superiores a IMT-2000	Técnico
2	El grupo IEEE 802.16 empezó a desarrollar una nueva enmienda como una interface de aire que cumpla con la recomendación ITU-R M.1645	Técnico
3	IEEE 802.16m toma en cuenta mejoras en varios aspectos técnicos a nivel de plano de control y plano de datos	Técnico
4	IEEE 802.16m sólo define protocolos para capas 1 y 2 correspondientes al modelo OSI	Técnico
5	La arquitectura de red WiMAX es no-jerárquica en un marco "todo IP" de extremo a extremo	Técnico
6	El soporte de movilidad para WiMAX se basa en el esquema IP móvil	Técnico
7	La estructura de protocolos de IEEE 802.16m es similar a la de IEEE 802.16 con algunos bloques funcionales adicionales	Técnico
8	Fueron necesarias modificaciones extremas al estándar anterior para cumplir con los requerimientos IMT-Advanced	Técnico
9	IEEE 802.16m y 3GPP LTE-Advanced introducen el concepto de agregación de portadora	Técnico
10	Ecuador está adoptando medidas de carácter técnico y para la adopción de sistemas IMT-Advanced	Técnico
11	QoS para redes IP es un set de estándares y mecanismos para asegurar alta calidad y desempeño para las aplicaciones de usuario	Técnico y Regulatorio
12	QoS se ha convertido en un factor importante en las telecomunicaciones	Técnico y Regulatorio
13	La sub-capas de seguridad IEEE 802.16m permite el despliegue de procedimientos de seguridad robustos y confiables	Técnico y Regulatorio
14	Una de las características de 4G es la capacidad de operar en anchos de banda grandes (operación multi-portadora)	Técnico y Regulatorio
15	Los sistemas IEEE 802.16m deberán operar en frecuencias menores a 6 GHz	Técnico y Regulatorio
16	IEEE 802.16m soporta bandas de 450-470 MHz, 1710-2025 MHz, y 2110-220 MHz no soportadas en revisiones previas	Técnico y Regulatorio

Tabla 5.1 Conclusiones (continúa)

Conclusión	Resumen	Ámbito(s)
17	Quizás el mayor obstáculo que cualquier tipo de telecomunicaciones tenga que solventar sea la factibilidad legal	Regulatorio
18	En general, la regulación actual para SMA también es válida para los sistemas de cuarta generación	Regulatorio
19	Aparecen nuevos detalles importantes en cuanto a convergencia de servicios, mejor distribución del espectro radioeléctrico, etc.	Regulatorio
20	Fue necesario dar un pequeño resumen de la regulación vigente en cuanto al SMA	Regulatorio
21	Son necesarios planteamientos de carácter general en la normativa de las telecomunicaciones que contemplen la evolución tecnológica, convergencia tecnológica y de servicios, oferta de servicios entre otros.	Regulatorio
22	La primera operadora en implementar 4G en Ecuador será CNT E.P.	Regulatorio y Comercial
23	El aumento del índice de penetración de smartphones en la región es otro factor importante para adoptar 4G	Comercial
24	La implementación de IMT-Advanced plantea la necesidad de considerar economías de escala en adquisición de equipos	Comercial
25	En Ecuador se puede apreciar un crecimiento logarítmico en el número de líneas activas de voz, datos y terminales a partir de 2004 a la presente fecha	Comercial
26	En América del Norte así como Latinoamérica se nota una tendencia marcada en la adopción de LTE-Advanced	Comercial y Técnico
27	Se utilizaron datos correspondientes a HSPA+ por su semejanza con 4G.	Comercial y Técnico
28	Es imposible hablar de IEEE 802.16m o LTE-Advanced de forma totalmente separada	Comercial y Técnico
29	El estudio de demanda en telecomunicaciones es la actividad más importante que precede al diseño.	Técnico, Regulatorio y Comercial
30	Se puede apreciar una tendencia creciente al uso de paquetes de servicios	Técnico, Regulatorio y Comercial
31	Factores políticos, comerciales, de la industria, etc., son factores de peso para elegir cualquiera de las dos tecnologías 4G	Técnico, Regulatorio y Comercial
32	Las telecomunicaciones están conformadas no sólo por la técnica, también por la regulación y el mercado de las mismas.	Técnico, Regulatorio y Comercial

Tabla 5.1 Conclusiones.

Recomendación	Resumen	Ámbito(s)
1	Para entender IEEE 802.16m a fondo, estudiar los estándares previos	Técnico
2	Las semejanzas y diferencias entre el estándar actual y los anteriores son la clave para apreciar la evolución de WiMAX como tecnología IMT-Advanced	Técnico
3	Para una mejor comprensión del marco regulatorio y diferencias entre tecnologías 4G, referirse a trabajos y proyectos de titulación correspondientes al tema	Técnico y Regulatorio
4	Para futuras implementaciones, se recomienda un estudio de mercado y disponibilidad de equipos IEEE 802.16m	Regulatorio
5	Una revisión por parte del Estado de la regulación actual y propuesta, con especial énfasis en la convergencia de servicios y los paquetes de servicios para la disposición de títulos habilitantes.	Regulatorio
6	Crear una nueva Ley de Telecomunicaciones que esté de acuerdo con el desarrollo tecnológico.	Regulatorio
7	Un seguimiento activo por parte del Estado de la actividad comercial y legal de los sistemas 4G en la región para establecer políticas en cuanto a control y regulación de los nuevos sistemas móviles celulares en nuestro país.	Regulatorio y Comercial
8	Un futuro estudio de mercado que cuente con la suficiente información en cuanto a prestación de servicios a través de 4G y su evolución en el tiempo.	Regulatorio y Comercial
9	Incentivar la creación de contenidos y desarrollo de aplicaciones a nivel de operadoras, sector privado, universidades, entre otros que permitan un nuevo campo de especialización en las telecomunicaciones.	Comercial y Técnico
10	Que todos los actores en el campo de las telecomunicaciones se informen acerca de los sistemas 4G y de su impacto en el mercado y normativa en el país y la región	Técnico, Regulatorio y Comercial

Tabla 5.2 Recomendaciones

BIBLIOGRAFÍA

- [1] International Telecommunication Union. ITU-R. "Document IMT-ADV/1-E. Background on IMT-Advanced". Documento en digital con fecha 30 de mayo de 2008.
- [2] International Telecommunication Union. ITU-R. "Requeriments related to technical perfomance for IMT-Advanced radio interface(s)". Documento digital. Aprobado en noviembre de 2008.
- [3] Sassan Ahmadi. "Mobile WiMAX - A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology". Primera edición. Elsevier Inc. 2011. ISBN: 978-0-12-374964-2.
- [4] Carl Eklund, Roger B. Marks, Subbu Ponnuswamy, Kenneth L. Stanwood, Nico J.M. van Waes. "Inside the IEEE 802.16TM Standard for Wireless Metropolitana Area Networks". IEEE Press 2006.
- [5] <http://www.wimaxforum.org/about/working-groups>
- [6] WiMAX Forum. "WiMAX ForumR Network Architecture: Architecture, detailed protocols and Procedures WMF-T33-107-R015v02 WME Approved". Documento Digital WiMAX Forum 2011.
- [7] IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society. "IEEE Standard for local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems". Aprobado el 13 de mayo de 2009.
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_ip
- [9] http://blogs.cisco.com/sp/paradigm_shift_in_ip_mobility_cmip_to_pmip2/

- [10] Erik dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld. “4G LTE / LTE-Advanced for Mobile Broadband”. Publicado por Elsevier. Primera publicación 2001. ISBN: 978-0-12-385489-6
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/lpsec>
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/Asynchronous_Transfer_Mode
- [14] <http://en.wikipedia.org/wiki/SNMP>
- [15] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group. “IEEE 802.16m System Description Document (SDD)”. 21 de diciembre de 2010. <http://ieee802.org/16/tgm/index.html>
- [16] Seok-Yee Tang, Peter Müller, Hamid R. Sharif. “WiMAX Security and Quality of Service. an end-to-end perspective”. Publicaciones John Wiley And Sons 2010. ISBN 978-0-470-72197-1 (H/B)
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Extensible_Authentication_Protocol
- [18] <http://www.itu.int/net/newsroom/wrc/2012/features/imt.aspx>
- [19] <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=253>
- [20] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group. “IEEE 802.16m System Requirements”. Entregado el 24 de septiembre de 2009. http://ieee802.org/16/tgm/core.htm#07_002

- [21] WiMAX Forum, Intel^R. "WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard". Documento digital, abril 2010.
- [22] Rafael Muñiz González. "Marketing en el siglo XXI (3ra edición)". Editorial CENTRO DE ESTUDIOS FINANCIEROS, 2010. ISBN 9788445416129
- [23] Hugo Carrión Robalino, Consultor. "ESTUDIO DE DEMANDA TELECOMUNICACIONES RURALES".
- [24] Superintendencia de Telecomunicaciones. "Revista Institucional N°16/2012 Evolución de la Telefonía Móvil en Ecuador". www.supertel.gob.ec
- [25] <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=pressreleasedisplay&pressreleaseid=4787>
- [26] <http://www.bnamericas.com/news/telecomunicaciones/latinoamerica-alcanzara-penetracion-lte-de-10-en-dos-anos-segun-nsn>
- [27] Erasmo Rojas, Director América Latina y El Caribe 4G Americas. "Latin America Deep Dive". Presentación en formato digital 4G Americas, mayo de 2013.
- [28] <http://illuminatilab.com/blog/internet/mercado-movil-latam/>
- [29] <http://www.descargarandroid.com/android-lidera-el-mercado-de-los-dispositivos-moviles/>
- [30] http://www.canal-tecnologico.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1481:resumen-2012-de-avances-en-telecomunicaciones-en-ecuador&catid=30:telecomunicaciones&Itemid=125

- [31] http://www.thinkwithgoogle.com/mobileplanet/es/graph/?country=ar&country=br&country=mx&category=DETAILS&topic=Q00&stat=Q00_1&wave=2011&wave=2012&wave=2013&age=all&gender=all&chart_type=bar&active=wave
- [32] GSMA, A.T. Kearney, Wireless Intelligence. “[Observatorio móvil de América Latina 2011. impulsando el desarrollo económico y social a través de la banda ancha móvil](#)”. Documento en formato digital. www.gsmworld.com. Enero 2012.
- [33] Lia Vas, Ph.D. Documento MA422, “[Mathematical Modeling-Empirical \(experimental\) models. Effectiveness and validity.](#)” disponible en línea en http://www.usciences.edu/~lvas/math422/Empirical_models.pdf
- [34] Zakhia Abichar, J. Morris Chang, Chau-Yun Hsu. “[WiMAX vs. LTE: Who Will Lead the Broadband Mobile Internet?](#)”. IT Professional, vol. 12, no. 3, pp. 26-32, mayo/junio, 2010
- [35] <http://www.isuppli.com/Mobile-and-Wireless-Communications/News/Pages/Mobile-Communications-Revenue-to-Rise-by-Double-Digit-Margin-in-2012.aspx>
- [36] <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/la-cnt-ofrece-para-finales-de-año-la-red-4g-590522.html>
- [37] <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/conatel-aprueba-regulacion-que-permitira-a-ecuador-vertiginoso-crecimiento-tecnologico-4g/>
- [38] <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/2013/08/page/2/>

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

3GPP	3rd Generation Partnership Project Proyecto Asociación de Tercera Generación
AAA	Authentication, Authorization, and Accounting Autenticación, Autorización y Contabilización
ACK	Acknowledgement Admisión, reconocimiento.
AES	Advanced Encryption Standard Estándar de Encriptación Avanzada
AES-CCM	AES-Counter with CBC-MAC Contador AES con CBC-MAC
AES-CTR	AES-Counter Contador AES
AM	Acknowledgment mode Modo de reconocimiento.
APT	Asia-Pacific Telecommunity o A5 Telecomunidad Asia-Pacífico
ARQ	Automatic Repeat-reQuest Solicitud de Repetición Automática
ASN	Access Service Network Red de Servicio de Acceso
ASN-GW	ASN Gateway Puerta de enlace de la ASN
ASP	Application Service Provider Proveedor de Servicio de Aplicación
ATM	Asynchronous Transfer Mode Modo de Transferencia Asíncrona
AUC	Authentication Center Centro de Autenticación
BS	Base Station Estación Base

CDMA	Code Division Multiple Access Acceso múltiple por división de código
CID	Connection Identifiers Identificadores de Conexión
CMPI	Client Mobile IP Cliente IP Móvil
CNT	Corporación Nacional de Telecomunicaciones
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
CS	Convergence Sub-layer Sub-capa de Convergencia
CSG	Closed Subscriber Groups Grupos Cerrados de Suscriptor
CSN	Connectivity Service Network Red de Servicio de Conectividad
DCCH	Dedicated Control Channel Canal de Control Dedicado
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol Protocolo de Configuración Dinámica de Host
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable
DP	Decision Point Punto de decisión.
DPF	Data Path Function Función de Camino de Datos
DSL	Digital subscriber line Línea Digital de Suscriptor
DTCH	Dedicated Traffic Channel Canal de Tráfico Dedicado
EAP	Extensible Authentication Protocol Protocolo de Autenticación Extensible
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM
EMBS	Enhanced Multicast and Broadcast Service

	Servicio Mejorado de Multicast y Broadcast
eNB	Evolved Node B Nodo B evolucionado
EP	Enforcement Point Punto de Cumplimiento
EPC	Evolved Packet Core Core/Núcleo de Paquetes Evolucionado
ePDG	Evolved Packet Data Gateway Puerta de Enlace de Paquetes de Datos Evolucionada
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access. (Interfaz de aire de 3GPP LTE) Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre Evolucionado
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network Red UMTS de Acceso Radioeléctrico Evolucionado
FA	Foreign Agent Agente Foráneo
FBSS	Fast Base Station Switching Conmutación Rápida de Estación Base
FDD	Frequency Division Duplex Duplexación por División de Frecuencias
FID	Flow Identifiers Identificadores de Flujo
Gateway	Puerta de Enlace
GERAN	GSM/EDGE radio access network Red de acceso radioeléctrico GSM/EDGE
GSMA	GSM Association Asociación GSM
GPCS	Generic Packet CS Sub-capa de Convergencia de Paquetes Genéricos
GPRS	General Packet Radio Service Servicio General de Paquetes vía Radio
GRE	Generic Routing Encapsulation Encapsulamiento Genérico de Enrutamiento

GSM	Global System for Mobile Communications Sistema Globale para Comunicaciones Móviles
HA	Home Agent Agente Inicial
HARQ	Hybrid automatic repeat request Solicitud Automática de Repetición Híbrida
H-CSN	Home CSN CSN Inicial
HeNB	Home eNB eNB Inicial
HLR	Home Location Register Registro Inicial de Localización
HSPA	High Speed Packet Access Acceso de Paquetes de Alta Velocidad
HSPA+	High Speed Packet Access plus Acceso de Paquetes de Alta Velocidad +
HSS	Home Subscriber Server Servidor Inicial de Suscriptores (base de datos)
IETF	Internet Engineering Task Force Fuerza de Trabajo en Ingeniería de Internet
IMS	IP Multimedia Subsystem Subsistema Multimedia IP
IMT	International Mobile Telecommunications Telecomunicaciones Móviles Internacionales
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
InH	Indoor Hotspot “Punto Caliente” Puertas adentro. Hotspot es un lugar con una conexión a Internet de alta velocidad y conectividad inalámbrica
IP CS	IP Convergence sublayer Sub-capa de Convergencia IP
IP	Internet Protocol Protocolo de Internet

IP-in-IP	(Protocolo de tunelización)
IPv4	Internet Protocol version 4 Protocolo de Internet versión 4
IPv6	Internet Protocol version 6 Protocolo de Internet versión 6
ITU	International Telecommunication Union Unión Internacional de Telecomunicaciones
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones
LAN	Local Area Network Red de Área Local
LBS	Location Based Service Servicio Basado en la Ubicación
LLC	Logical link control Control de enlace lógico
LOS	Line of Sight Línea de Vista
LR	Location Register Registro de Localización
LTE	Long Term Evolution Evolución a Largo Plazo
MAC	Media Access Control Control de Acceso al medio
MAN	Metropolitan area network Red de área metropolitana
MAP	Medium Access Protocol Protocolo de Acceso al Medio
MBS	Multicast and broadcast service Servicio de Multicast y Broadcast
MDHO	Macro Diversity Handover Handover por macro-diversidad
MIB	Management Information Base

	Base de Administración de Información
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output Múltiples Entradas Múltiples Salidas
MINTEL	Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información
MIP	Mobile IP IP Móvil
MME	Mobility Management Entity Entidad de Administración de Movilidad
MPDU	MAC PDU PDU MAC
MS	Mobile Station Estación Móvil
MSDU	MAC service data unit Unidad de datos de servicio MAC
NACK	Not Acknowledge Sin Reconocimiento
NAP	Network Access Providers Proveedores de Acceso a la Red.
NB	Node B Nodo B
NCMS	Network Control and Management System Sistema de Control y Administración de Red
NGN	Next Generation Networks Redes de Próxima Generación
NLOS	Non-LOS Sin línea de vista
NMS	Network Management System Sistema de Administración de Red
NRM	Network Reference Model Modelo de Referencia de Red
NSP	Network Service Providers Proveedores de Servicio de Red

ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSI	Open Systems Interconnection Interconexión de Sistemas Abiertos
PA	Paging Agent Agente del Paging
PC	Paging Controler Controlados de Paging
PCEP	Policy and Charging Enforcement Point Punto Responsable de las Políticas y Cobro
PCRF	Policy and Charging Rule Function Función de Políticas y Reglas de Cobro
PDCP	Packet Data Convergence Protocol Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos
PDN	Packet Data Network Red de Paquetes de Datos
PDU	Protocol data unit Unidad de datos de protocolo
PG	Paging group Grupo Paging
PHS	Payload Header Suppression Supresión del payload de cabecera
PHY	Physical layer Capa Física
PKM	Key Management Protocol Protocolo administración de claves
PLMN	Public Land Mobile Network Red Móvil Pública Terrestre
PMIP	Proxy Mobile IP Proxy IP Móvil
PNF	Plan Nacional de Frecuencias
QoS	Quality of Service Calidad de Servicio
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Service

	Servicio de usuario de acceso telefónico de autenticación remota
RAN	Radio Access Network Red de Acceso por Radio
RAT	Radio Access Technology Tecnología de Acceso por Radio
RF	Radio frequency Radiofrecuencia
RLC	Radio Link Control Control de enlace de radio
RMa	Rural Macrocell Macro-celda rural
ROHC	Robust Header Compression Compresión de cabecera robusta
RP	Reference Point Punto de Referencia
RRA	Radio Resource Agent Agente del Recurso de Radio
RRC	Radio Resource Control Control del Recurso de Radio
RRCM	Radio Resource Control and Management Control y Administración del Recurso de Radio
RRM	Radio Resource Management Administración del Recurso de Radio
RTP	Real-time Transport Protocol Protocolo de Transporte en Tiempo real
RUIM	Removable User Identity Module Módulo de identidad de usuario removible
SAE	System Architecture Evolution Evolución de la Arquitectura del Sistema
SAP	Service Access Point Punto de Acceso al Servicio
SDU	Service Data Unit

	Unidad de datos de servicio
SENATEL	Secretaría Nacional de Telecomunicaciones
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
SFID	Service Flow Identifiers
	Identificadores del Flujo de Servicio
SGSN	Serving GPRS Support Node
	Nodo de Apoyo para Servir a GPRS
SIM	Subscriber Identity Module
	Módulo de Identidad de Suscriptor
SLA	Service Level Agreement
	Acuerdo de Nivel de Servicio
SMA	Servicio Móvil Avanzado
SNMP	Simple Network Management Protocol
	Protocolo Simple de Administración de Red
SA	Authentication and Security Association control
	Control de Autenticación y Asociación de Seguridad
STID	Station Identifier
	Identificador de Estación
SUPERTEL	Superintendencia de Telecomunicaciones
TA	Tracking Area
	Área de rastreo
TDD	Time-division duplexing
	Duplexación por División de tiempo
TIC	Tecnologías de la información y comunicación
TLV	Type-length-value
	Tipo-longitud-valor
TM	Transparent mode
	Modo Transparente
UDP	User Datagram Protocol
	Protocolo de Datagramas de Usuario
UE	User Equipment
	Equipo de Usuario
UM	Unacknowledged Mode

	Modo sin reconocimiento
UMa	Urban Macrocell Macrocela Urbana
UMi	Urban Microcell Microcela Urbana
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
UPE	User-Plane Entity Entidad de Plano de Usuario
USIM	Universal SIM SIM Universal
V-CSN	Visited CSN CSN visitada
VoIP	Voice over IP Voz sobre IP
VPN	Virtual private network Red privada virtual
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access Acceso por múltiple división de código en banda ancha
WRC	World Radiocommunication Conference Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones

ANEXO A

Document IMT-ADV/1-E**7 March 2008****Original: English only**

Working Party 5D

BACKGROUND ON IMT-ADVANCED

Source: Attachment 7.1 to Document 5D/97

1 Key features of IMT-Advanced

International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced) systems are mobile systems that include the new capabilities of IMT that go beyond those of IMT-2000. Such systems provide access to a wide range of telecommunication services including advanced mobile services, supported by mobile and fixed networks, which are increasingly packet-based.

IMT-Advanced systems support low to high mobility applications and a wide range of data rates in accordance with user and service demands in multiple user environments. IMT-Advanced also has capabilities for high quality multimedia applications within a wide range of services and platforms, providing a significant improvement in performance and quality of service.

The key features of IMT-Advanced are:

- a high degree of commonality of functionality worldwide while retaining the flexibility to support a wide range of services and applications in a cost efficient manner;
- compatibility of services within IMT and with fixed networks;
- capability of interworking with other radio access systems;
- high quality mobile services;
- user equipment suitable for worldwide use;
- user-friendly applications, services and equipment;
- worldwide roaming capability; and,

- enhanced peak data rates to support advanced services and applications (100 Mbit/s for high and 1 Gbit/s for low mobility were established as targets for research)⁷⁵.

These features enable IMT-Advanced to address evolving user needs.

The capabilities of IMT-Advanced systems are being continuously enhanced in line with user trends and technology developments.

2 Consumer demands

Consumer demands will shape the future development of IMT-2000 and IMT-Advanced. Recommendation ITU-R M.1645 describes these trends in detail, some of which include the growing demand for mobile services, increasing user expectations, and the evolving nature of the services and applications that may become available. Also, Report ITU-R M.2072 details the market analysis and forecast of the evolution of the mobile market and services for the future development of IMT-2000, IMT-Advanced and other systems. This Report provides forecasts for the year 2010, 2015, and 2020 timeframes.

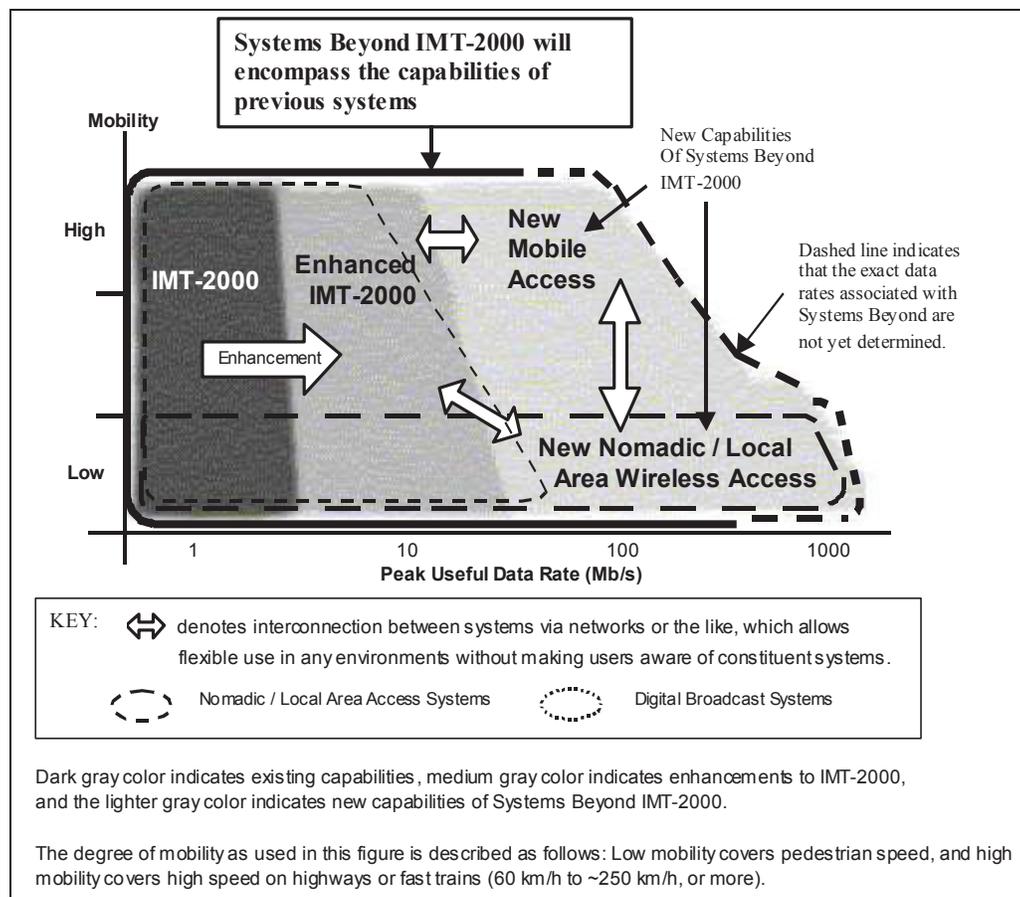
3 Relationship of IMT-2000 and IMT-Advanced

International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) systems provide access to a wide range of telecommunication services, supported by the fixed telecommunication networks (e.g. PSTN/ISDN/IP), and to other services which are specific to mobile users. To meet the ever increasing demand for wireless communication (e.g. increased no. of users, higher data rates, video or gaming services which require increased quality of service, etc.), IMT-2000 has been, and continues to be, enhanced.

FIGURE A1-1

Illustration of capabilities of IMT-2000 and IMT-Advanced

⁷⁵ Data rates sourced from Recommendation ITU-R M.1645.



This diagram is taken directly from Recommendation ITU-R M.1645 and reflects the terminology in use at the time of its adoption. Resolution ITU-R 56 defines the relationship between “IMT-2000”, the future development of IMT-2000 and “systems beyond IMT-2000” for which it also provides a new name: IMT-Advanced. Resolution ITU-R 56 resolves that the term IMT-2000 encompasses also its enhancements and future developments. The term “IMT-Advanced” should be applied to those systems, system components, and related aspects that include new radio interface(s) that support the new capabilities of systems beyond IMT-2000. The term “IMT” is the root name that encompasses both IMT-2000 and IMT-Advanced collectively.

4 Framework of IMT-Advanced

The framework and objectives, including overall timeframes for the future development of IMT-2000 and IMT-Advanced are described in some detail in Recommendation ITU-R M.1645.

ANEXO B

REPORT ITU-R M.2134

**Requirements related to technical performance
for IMT-Advanced radio interface(s)**

(2008)

1 Introduction

International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced) systems are mobile systems that include the new capabilities of IMT that go beyond those of IMT-2000. Such systems provide access to a wide range of telecommunication services including advanced mobile services, supported by mobile and fixed networks, which are increasingly packet-based.

IMT-Advanced systems support low to high mobility applications and a wide range of data rates in accordance with user and service demands in multiple user environments. IMT-Advanced also has capabilities for high-quality multimedia applications within a wide range of services and platforms providing a significant improvement in performance and quality of service.

The key features of IMT-Advanced are:

- a high degree of commonality of functionality worldwide while retaining the flexibility to support a wide range of services and applications in a cost efficient manner;
- compatibility of services within IMT and with fixed networks;
- capability of interworking with other radio access systems;
- high-quality mobile services;
- user equipment suitable for worldwide use;
- user-friendly applications, services and equipment;
- worldwide roaming capability;
- enhanced peak data rates to support advanced services and applications (100 Mbit/s for high and 1 Gbit/s for low mobility were established as targets for research)⁷⁶.

These features enable IMT-Advanced to address evolving user needs.

The capabilities of IMT-Advanced systems are being continuously enhanced in line with user trends and technology developments.

⁷⁶ Data rates sourced from Recommendation ITU-R M.1645.

2 Scope and purpose

This Report describes requirements related to technical performance for IMT-Advanced candidate radio interfaces. These requirements are used in the development of Report ITU-R M.2135.

This Report also provides the necessary background information about the individual requirements and the justification for the items and values chosen. Provision of such background information is needed for a broader understanding of the requirements.

This Report is based on the ongoing development activities from external research and technology organizations.

3 Related ITU-R texts

Recommendation ITU-R M.1224

Recommendation ITU-R M.1645

Recommendation ITU-R M.1768

Recommendation ITU-R M.1822

Report ITU-R M.2038

Report ITU-R M.2072

Report ITU-R M.2074

Report ITU-R M.2078

Report ITU-R M.2079

Report ITU-R M.2135

Report ITU-R M.2133.

4 Minimum requirements

IMT-Advanced can be considered from multiple perspectives, including the users, manufacturers, application developers, network operators, and service and content providers as noted in § 4.2.2 in Recommendation ITU-R M.1645 – Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000. Therefore, it is recognized that the technologies for IMT-Advanced can be applied in a variety of deployment scenarios and can support a range of environments, different service capabilities, and technology options. Consideration of every variation to encompass all situations is therefore not possible; nonetheless the work of the ITU-R has been to determine a representative view of IMT-Advanced consistent with the process defined in Resolution ITU-R 57 – Principles for the process of development of IMT-Advanced and the requirements defined in this Report.

The requirements presented in this document are for the purpose of consistent definition, specification, and evaluation of the candidate RITs or SRITs for IMT-Advanced in ITU-R in conjunction with the development of Recommendations and Reports, such as the framework and key characteristics and the detailed specifications of IMT-Advanced. The intent of these requirements is to ensure that IMT-Advanced technologies are able to fulfil the objectives of IMT-Advanced and to set a specific level of minimum performance that each proposed technology needs to achieve in order to be considered by ITU-R for IMT-Advanced.

These requirements are not intended to restrict the full range of capabilities or performance that candidate technologies for IMT-Advanced might achieve, nor is it intended to describe how the IMT-Advanced technologies might perform in actual deployments under operating conditions that could be different from those presented in ITU-R Recommendations and Reports on IMT-Advanced.

Requirements are to be evaluated according to the criteria defined in Report ITU-R M.2135 – Requirements, evaluation criteria, and submission templates for the development of IMT-Advanced.

NOTE 1 – The values herein are for a radio interface technology (RIT) or a set of radio interface technologies (SRIT).

4.1 Cell spectral efficiency

Cell⁷⁷ spectral efficiency (η) is defined as the aggregate throughput of all users (the number of correctly received bits, i.e. the number of bits contained in the service data units (SDUs) delivered to Layer 3, over a certain period of time) divided by the channel bandwidth divided by the number of cells. The channel bandwidth for this purpose is defined as the effective bandwidth times the frequency reuse factor, where the effective bandwidth is the operating bandwidth normalised appropriately considering the uplink/downlink ratio.

The cell spectral efficiency is measured in bit/s/Hz/cell.

Let χ_i denote the number of correctly received bits by user i (downlink) or from user i (uplink) in a system comprising a user population of N users and M cells. Furthermore, let ω denote the channel bandwidth and T the time over which the data bits are received. The cell spectral efficiency, η , is then defined according to equation (1).

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^N \chi_i}{T \cdot \omega \cdot M} \quad (1)$$

TABLE 1
Cell spectral efficiency

Test environment ⁽¹⁾	Downlink (bit/s/Hz/cell)	Uplink (bit/s/Hz/cell)
Indoor	3	2.25
Microcellular	2.6	1.80
Base coverage urban	2.2	1.4
High speed	1.1	0.7

⁽¹⁾ The test environments are described in Report ITU-R M.2135.

These values were defined assuming an antenna configuration of downlink 4×2 , uplink 2×4 . However, this does not form part of the requirement and the conditions for evaluation are described in Report ITU-R M.2135

4.2 Peak spectral efficiency

The peak spectral efficiency is the highest theoretical data rate (normalised by bandwidth), which is the received data bits assuming error-free conditions assignable to a single mobile station,

⁷⁷ A cell is equivalent to a sector, e.g. a 3-sector site has 3 cells.

when all available radio resources for the corresponding link direction are utilised (i.e., excluding radio resources that are used for physical layer synchronisation, reference signals or pilots, guard bands and guard times).

The minimum requirements for peak spectral efficiencies are as follows⁷⁸:

- Downlink peak spectral efficiency is 15 bit/s/Hz
 - Uplink peak spectral efficiency is 6.75 bit/s/Hz.
- These values were defined assuming an antenna configuration of downlink 4 × 4, uplink 2 × 4. However this does not form part of the requirement and the conditions for evaluation are described in Report ITU-R M.2135.

4.3 Bandwidth

Scalable bandwidth is the ability of the candidate RIT to operate with different bandwidth allocations. This bandwidth may be supported by single or multiple RF carriers.

The RIT shall support a scalable bandwidth up to and including 40 MHz.

Proponents are encouraged to consider extensions to support operation in wider bandwidths (e.g. up to 100 MHz) and the research targets expressed in Recommendation ITU-R M.1645.

4.4 Cell edge user spectral efficiency

The (normalized) user throughput is defined as the average user throughput (the number of correctly received bits by users, i.e., the number of bits contained in the SDU delivered to Layer 3, over a certain period of time, divided by the channel bandwidth and is measured in bit/s/Hz. The channel bandwidth for this purpose is defined as the effective bandwidth times the frequency reuse factor, where the effective bandwidth is the operating bandwidth normalised appropriately considering the uplink/downlink ratio. The cell edge user spectral efficiency is defined as 5% point of the cumulative distribution function (CDF) of the normalized user throughput. Table 2 lists the cell edge user spectral efficiency requirements for various test environments.

With χ_i denoting the number of correctly received bits of user i , T_i the active session time for user i and ω the channel bandwidth, the (normalized) user throughput of user i , γ_i , is defined according to equation (2).

$$\gamma_i = \frac{\chi_i}{T_i \cdot \omega} \quad (2)$$

⁷⁸ For information, theoretical peak data rates can then be determined as in the following examples, which are calculated by multiplying the peak spectral efficiency and the bandwidth:

- Example downlink peak data rate in 40 MHz is 600 Mbit/s.
- Example downlink peak data rate in 100 MHz is 1 500 Mbit/s.
- Example uplink peak data rate in 40 MHz is 270 Mbit/s.
- Example uplink peak data rate in 100 MHz is 675 Mbit/s.

TABLE 2
Cell edge user spectral efficiency

Test environment ⁽¹⁾	Downlink (bit/s/Hz)	Uplink (bit/s/Hz)
Indoor	0.1	0.07
Microcellular	0.075	0.05
Base coverage urban	0.06	0.03
High speed	0.04	0.015

⁽¹⁾ The test environments are described in Report ITU-R M.2135.

These values were defined assuming an antenna configuration of downlink 4 × 2, uplink 2 × 4. However, this does not form part of the requirement and the conditions for evaluation are described in Report ITU-R M.2135.

4.5 Latency

4.5.1 Control plane latency

Control plane (C-Plane) latency is typically measured as the transition time from different connection modes, e.g., from idle to active state. A transition time (excluding downlink paging delay and wireline network signalling delay) of less than **100 ms** shall be achievable from idle state to an active state in such a way that the user plane is established.

4.5.2 User plane latency

The user plane latency (also known as transport delay) is defined as the one-way transit time between an SDU packet being available at the IP layer in the user terminal/base station and the availability of this packet (protocol data unit, PDU) at IP layer in the base station/user terminal. User plane packet delay includes delay introduced by associated protocols and control signalling assuming the user terminal is in the active state. IMT-Advanced systems shall be able to achieve a user plane latency of less than **10 ms** in unloaded conditions (i.e., a single user with a single data stream) for small IP packets (e.g., 0 byte payload + IP header) for both downlink and uplink.

4.6 Mobility

The following classes of mobility are defined:

- Stationary: 0 km/h
- Pedestrian: > 0 km/h to 10 km/h
- Vehicular: 10 to 120 km/h
- High speed vehicular: 120 to 350 km/h

Table 3 defines the mobility classes that shall be supported in the respective test environment.

TABLE 3
Mobility classes

	Test environments ⁽¹⁾			
	Indoor	Microcellular	Base coverage urban	High speed
Mobility classes supported	Stationary, pedestrian	Stationary, pedestrian, Vehicular (up to 30 km/h)	Stationary, pedestrian, vehicular	High speed vehicular, vehicular

⁽¹⁾ The test environments are described in Report ITU-R M.2135.

A mobility class is supported if the traffic channel link data rate, normalized by bandwidth, on the uplink, is as shown in Table 4, when the user is moving at the maximum speed in that mobility class in each of the test environments.

TABLE 4

Traffic channel link data rates

	Bit/s/Hz	Speed (km/h)
Indoor	1.0	10
Microcellular	0.75	30
Base coverage urban	0.55	120
High speed	0.25	350

These values were defined assuming an antenna configuration of downlink 4×2 , uplink 2×4 . However, this does not form part of the requirements and the conditions for evaluation are described in Report ITU-R M.2135.

4.7 Handover

The handover interruption time is defined as the time duration during which a user terminal cannot exchange user plane packets with any base station. The handover interruption time includes the time required to execute any radio access network procedure, radio resource control signalling protocol, or other message exchanges between the user equipment and the radio access network, as applicable to the candidate RIT or SRIT. For the purposes of determining handover interruption time, interactions with the core network (i.e., network entities beyond the radio access network) are assumed to occur in zero time. It is also assumed that all necessary attributes of the target channel (that is, downlink synchronisation is achieved and uplink access procedures, if applicable, are successfully completed) are known at initiation of the handover from the serving channel to the target channel.

The IMT-Advanced proposal shall be able to support handover interruption times specified in Table 5.

TABLE 5
Handover interruption times

Handover type	Interruption time (ms)
Intra-frequency	27.5
Inter-frequency	
– within a spectrum band	40
– between spectrum bands	60

In addition, inter-system handovers between the candidate IMT-Advanced system and at least one IMT system shall be supported, but are not subject to the limits in Table 5.

4.8 VoIP capacity

VoIP capacity was derived assuming a 12.2 kbit/s codec with a 50% activity factor such that the percentage of users in outage is less than 2% where a user is defined to have experienced a voice outage if less than 98% of the VoIP packets have been delivered successfully to the user within a one way radio access delay bound of 50 ms.

However, this codec does not form a part of the requirements and the conditions for evaluation are described in Report ITU-R M.2135.

The VoIP capacity is the minimum of the calculated capacity for either link direction divided by the effective bandwidth in the respective link direction⁷⁹.

These values were defined assuming an antenna configuration of 4 × 2 in the downlink and 2 × 4 in the uplink. However, the antenna configuration is not a minimum requirement and the conditions for evaluation are described in Report ITU-R M.2135.

TABLE 6
VoIP capacity

Test environment ⁽¹⁾	Min VoIP capacity (Active users/sector/MHz)
Indoor	50
Microcellular	40
Base coverage urban	40
High speed	30

⁽¹⁾The test environments are described in Report ITU-R M.2135.

⁷⁹ In other words, the effective bandwidth is the operating bandwidth normalised appropriately considering the uplink/downlink ratio.

ANEXO C

<http://www.itu.int/ITU-D/tech/MobileCommunications/Spectrum-IMT.pdf>

Spectrum for IMT

Introduction

In the mid 1980's the ITU started work to define the next "generation" of mobile radio standards to move existing mobile networks from specific National and Regional standards onto a global basis. This necessitated finding a new globally available frequency band as well as attempting to maximize convergence within the many existing second generation mobile wireless technologies.

At the 1992 ITU World Radio Conference 230 MHz of new radio spectrum was identified for the terrestrial component of 'Future Public Land Mobile Telecommunication Systems' (FPLMTS), later to be known as International Mobile Telecommunications-2000 (**IMT-2000**). This provided the necessary impetus to complete ITU standards for the third generation of mobile radio technologies in time for initial commercial implementation of IMT-2000 (**3G**) in the year 2000.

Early work on 3G in the ITU was directed towards obtaining a global spectrum allocation since multi-band radios were at that time economically unattractive. Similarly a single global standard for 3G seemed at the time the only realistic solution. However it became rapidly clear that even the 230 MHz of new spectrum identified in 1992 would be insufficient for future mobile needs. At the ITU World Radio Conference in 2000 all the major existing cellular bands were also added, increasing the potential IMT-2000 spectrum availability by approximately three times. Fortunately it also became practical to produce economical multi-band radios.

Due to the rapid growth of 2G mobile during the 1990's it became necessary for the ITU to offer a number of possible routes from the various existing 2G systems to a 3G capability. Fortunately it also became economically realistic to offer multi-mode/multiband mobile equipment to smooth the transition from 2G to 3G operations.

Mobile radio technologies are proving to be the only economical approach to making telecom services available to underserved regions in developing countries and globally mobile users far outstrip fixed telecom users. In developed countries mobile use is near saturation and so the driving force in these areas is new "broadband" multimedia services.

These new services will be provided through enhancements to IMT-2000 (**3G**) and through IMT-Advanced (**4G**) in the future. **IMT is the generic ITU name for 3G/4G.**

Radio spectrum below 1 GHz is optimum for the needs of developing countries, due to the ability to serve larger rural areas from a single cell site compared to spectrum above 2GHz. However, it is very challenging to find wide bandwidths below 1 GHz so "broadband" needs must be met primarily through spectrum above 2 GHz.

The 2007 World Radio Conference made valuable strides in identifying additional spectrum for **IMT**, both below 1 GHz and above 2 GHz.

Identification of Spectrum for IMT in the ITU Radio Regulations

The ITU Radio Regulations are an international treaty, signed by ITU Members and updated at regular intervals in World Radio Conferences. They provide a top level view of how the radio spectrum is to be shared amongst the many global, regional and national radio-based services. Individual regional and national regulators work within this high level ITU framework to meet their own specific priorities and needs. As long as there are no potential international interference situations, regional and national plans can and do differ significantly from the ITU “master plan”.

Even though vast amounts of radio spectrum are allocated on a PRIMARY basis to the Mobile Service in the ITU Radio Regulations this spectrum is not necessarily available to IMT in any given area. There are many other competing radio-based services and spectrum is often designated co-PRIMARY for both Fixed and Mobile services.

The concept of **identifying** spectrum for *potential* use by IMT, in the ITU Radio Regulations, gives global equipment manufacturers some guidance on the range of frequency bands in which IMT services are likely to be deployed, leading to economies of scale and minimizing product costs. The **identification** “*for those administrations wishing to deploy IMT*” allows use by other services to which the spectrum is allocated and does not convey any priority for IMT over those other radio-based services.

The following frequency bands are currently identified for IMT in all three ITU Regions:

450 – 470 MHz
 790 – 960 MHz
 1710 – 2025 MHz
 2110 – 2200 MHz
 2300 – 2400 MHz
 2500 – 2690 MHz

Note that the Radio Regulations are extremely complex with vast numbers of **Footnotes** to clarify the detailed agreements between the ITU Members so **this information is of necessity just a high level view of the global spectrum organization for IMT.**

Additional frequency bands identified for IMT on a Regional or National basis:

698-790 MHz (Region 2)

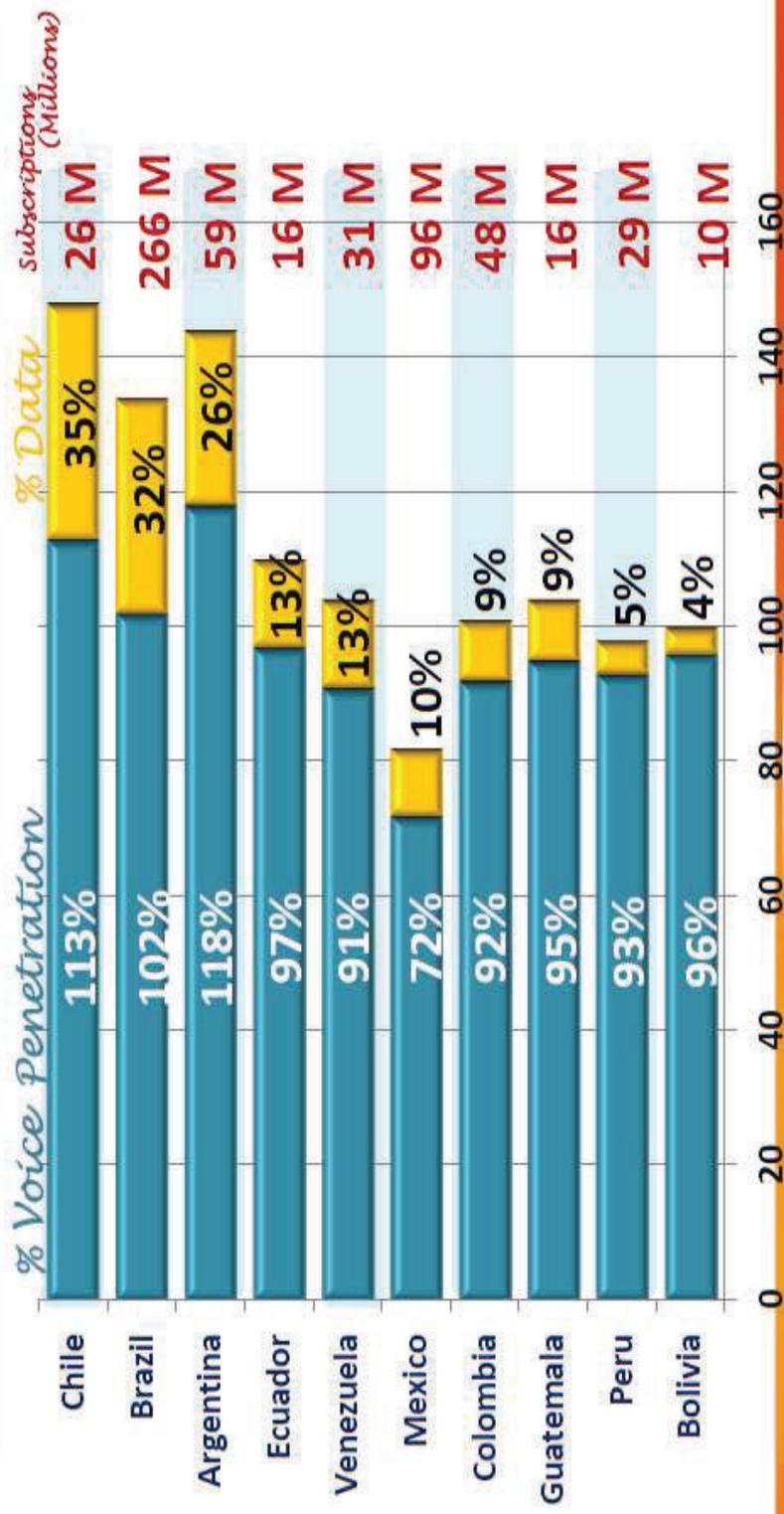
610 – 790 MHz (9 countries in Region 3: Bangladesh, China, Rep. of Korea, India, Japan, New Zealand, Papua New Guinea, Philippines and Singapore.)

3400 – 3600 MHz (Over 80 Administrations in Region 1 plus 9 in Region 3 including India, China, Japan and Rep. of Korea).

ANEXO D

Top 10 Wireless Data Markets in Latin America by 4Q 2012

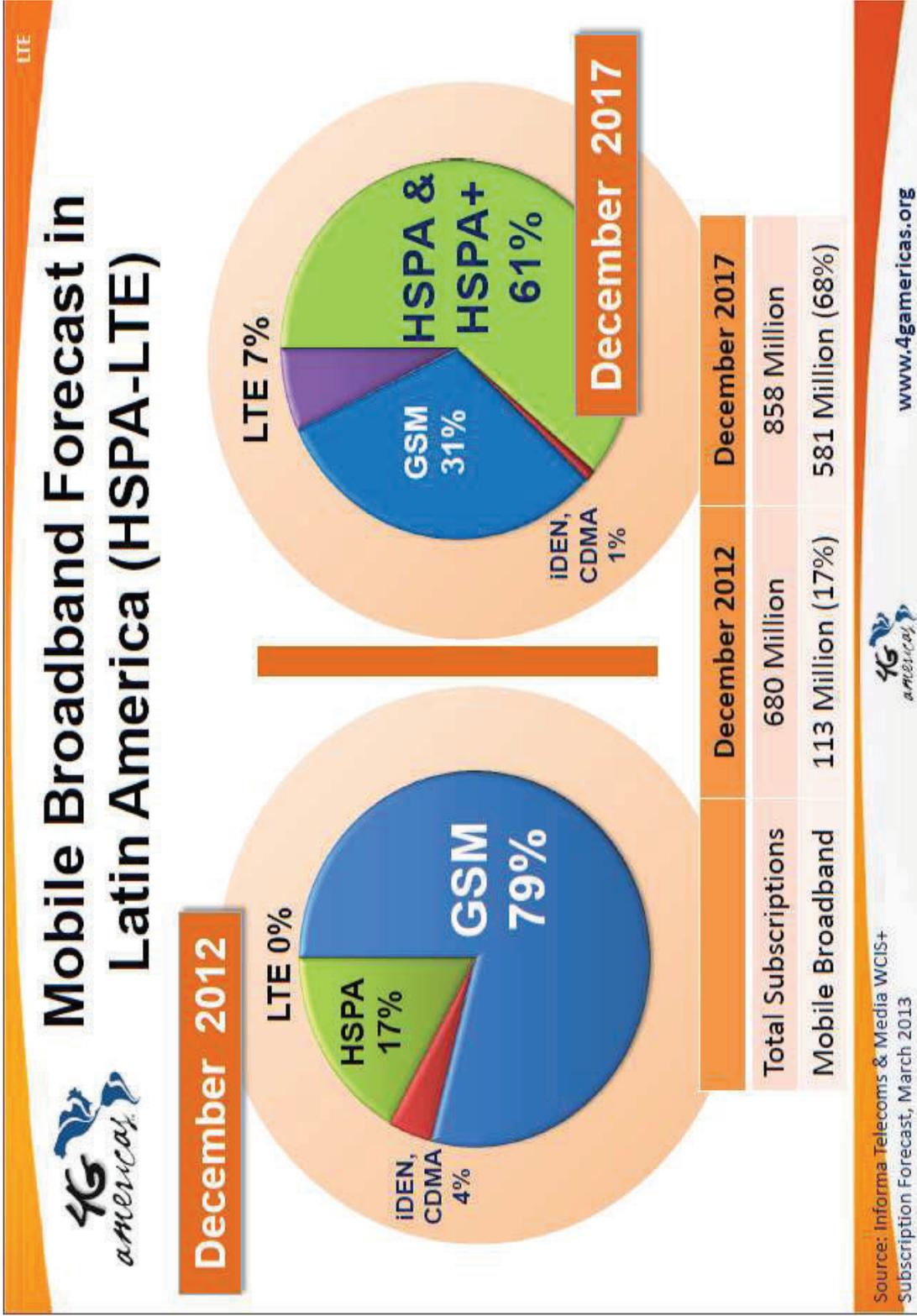
Average Latin America penetration: 93% voice and 19% data



Source: Bank of America Merrill Lynch, Global Wireless Matrix 3Q2012, January 2013



www.4gamericas.org



ANEXO E

Parte del documento “Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2012” elaborado por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

“El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) en uso de sus atribuciones establecidas en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformatoria, aprobó mediante Resolución No. TEL-391-15-CONATEL-2012 de 4 de julio de 2012 las modificaciones del Plan Nacional de Frecuencias de septiembre de 2008. El Plan Nacional de Frecuencias (PNF), establece la atribución de las bandas de frecuencias a los diferentes servicios de radiocomunicaciones tales como Fijo, Móvil, Fijo por Satélite, Móvil por Satélite, Móvil Aeronáutico, Móvil Marítimo, Radiodifusión.

La actualización del PNF se realizó tomando en cuenta las Resoluciones aprobadas por el CONATEL en materia de gestión del espectro radioeléctrico desde el año 2000, modificaciones de atribución de bandas de frecuencias radioeléctricas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), aprobadas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones de los años 2003, 2007, 2012 y en la situación actual del sector de telecomunicaciones en el Ecuador; el PNF está estructurado bajo el siguiente esquema...”

Como se pudo apreciar en el capítulo 2, sobre las frecuencias de operación identificadas por IMT Advanced, las bandas de 700 MHz y 1900 MHz aprobadas están incluidas en las bandas 698-960 MHz y 1710-2025 MHz.

460 - 890 MHz

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Uso)
698 - 806 MÓVIL 5.313B MOD 5.317A RADIODIFUSIÓN Fijo MOD 5.293 5.309 5.311A	698 - 806 MÓVIL MOD 5.317A Fijo 5.311A	698-806 EQA.85: Fijo y MÓVIL (IMT)
806 - 890 FIJO MÓVIL MOD 5.317A RADIODIFUSIÓN 5.317 5.318	806 - 890 FIJO MÓVIL MOD 5.317A	806-824;851-869 EQA.80: FIJO y MÓVIL (truncalizados) 824-849;869-890 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT)

Banda de 460 - 890 MHz en el Plan Nacional de Frecuencias⁸⁰

890 - 1164 MHz

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Uso)
890 - 902 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico MOD 5.317A Radiolocalización 5.318 5.325	890 - 902 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico MOD 5.317A Radiolocalización	896-898 EQA.80: FIJO y MÓVIL (truncalizados) 890-894 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT) 901-902 EQA.100: FIJO y MÓVIL (buscapersonas bidireccional)

Banda de 890 - 1164 MHz en el Plan Nacional de Frecuencias⁸¹

⁸⁰ Conatel, Senatel. Plan Nacional de Frecuencias, Ecuador 2012. Archivo en formato digital.

⁸¹ Conatel, Senatel. Plan Nacional de Frecuencias, Ecuador 2012. Archivo en formato digital.