

REDES MOVILES 4G

MIGUEL ANTONIO TORRES OSORIO

LUIS ENRIQUE VARGAS PEREZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2012

REDES MOVILES 4G

MIGUEL ANTONIO TORRES OSORIO

LUIS ENRIQUE VARGAS PEREZ

**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

DIRECTOR:

GONZALO DE JESÚS LÓPEZ VERGARA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2012

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias ___/___/_____

A nuestras **familias y amigos**, que siempre nos apoyaron y fortalecieron durante el transcurso de nuestra carrera.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES.....	2
2. REQUISITOS ITU PARA IMT-ADVANCED.....	6
3. LTE-ADVANCED	8
3.1 ARQUITECTURA LTE.....	8
3.1.1 LTE-Advanced y E-UTRAN.....	9
3.1.2 Red Central CN (Core Network).....	13
3.2 AGREGACIÓN DE PORTADORAS.....	16
➤ Canales de control	19
3.3 ACCESO MÚLTIPLE DEL ENLACE DE SUBIDA	20
3.4 MIMO EN LTE-ADVANCED	21
➤ Descripción general	23
4. WIMAX	25
4.1 WIMAX 1.0	25
➤ Modelo de referencia de protocolo	27
4.2 WIMAX 2.0	29
➤ Modelo de referencia de protocolo	31
4.2.1 Entrada a la red en el IEEE 802.16m	32
4.2.2 QoS en IEEE 802.16m	34
➤ Medidas de rendimiento QoS.....	35

➤	Clasificación	36
➤	Solicitudes de ancho de banda y concesiones	42
➤	Asignación de ancho de banda y manejo de tráfico.....	42
4.2.3	Gestión de movilidad	43
➤	Handover de ABS a ABS	44
➤	Handover mixtos	45
➤	Inter-RAT Handovers	46
5.	APLICACIONES 4G	47
6.	CONCLUSIONES	48
	BIBLIOGRAFÍA	49
	ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución desde 2G hasta 4G	5
Figura 2. Visión general del EPS para accesos 3GPP	9
Figura 3. Arquitectura E-UTRAN para LTE-Advanced	10
Figura 4. Pila de protocolos del plano de usuario y plano de control	12
Figura 5. Elementos del EPC	14
Figura 6. Agregación de portadoras en ancho de bando contiguo	16
Figura 7. Agregación de portadoras en ancho de banda no contiguo, banda única	17
Figura 8. Agregación de portadoras en ancho de banda no contiguo, múltiples bandas	18
Figura 9. Comparación de configuraciones de UL entre el Release 8 y Release 10 de LTE	21
Figura 10. MIMO adaptable	23
Figura 11. Modos de LTE-Advanced	24
Figura 12. Red MR de la IEEE-802.16j mostrando tRSs	26
Figura 13. Red MR de la IEEE-802.16j mostrando ntRSs	27
Figura 14. El modelo de referencia de la IEEE 802.16-2009	28
Figura 15. conexiones compatibles entre sistemas heredados (IEEE 802.16-2009) y avanzados (IEEE 802.16m)	30
Figura 16. Modelo de referencia de protocolo del IEEE 802.16m	31
Figura 17. Los 4 estados de entrada a la red de un AMS	32
Figura 18. Clasificación y mapping CID del ABS al AMS	37
Figura 19. Clasificación y mapping CID del AMS al ABS	38

INTRODUCCIÓN

La demanda de servicios móviles de banda ancha esta en continuo crecimiento. A medida que esto sucede, surge la necesidad de mejorar la red para satisfacer los requerimientos de las altas velocidades de transmisión. Las redes 4G proponen tasas de 100 Mbps para dispositivos móviles. Las dos tecnologías que pretenden alcanzar esta velocidad son WiMAX 2.0 y LTE-Advanced.

Sin embargo, este trabajo no es una detallada explicación de todo lo que abarcan estos temas. El contenido de este escrito es una material introductorio de las dos tecnologías mencionadas anteriormente, evitando la complejidad inherente a la profundización.

Para conocer someramente los antecedentes de las redes móviles se describe su evolución, mostrando como se han transformado varias tecnologías a través de las generaciones.

Antes de conocer las características principales de las redes 4G, se presentan los requerimientos impuestos por el IMT-Advanced. Posteriormente se explican las características principales de la arquitectura de LTE y las mejoras de LTE-Advanced frente a LTE. En la parte de WiMAX también se explica un poco acerca de su arquitectura y a medida que se desarrolla se señalan las mejoras de WiMAX 2.0 (IEEE 802.16m).

1. EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES

A través de las generaciones, se ha hecho énfasis en objetivos de diseño que cumplan con las necesidades de la época. Por ejemplo, en la primera generación celular o 1G se enfatizó en la movilidad de la telefonía fija. Las redes que se diseñaron para este propósito fueron AMPS (Advanced Mobile Phone Systems) y TACS (Total Access Communication Systems) que eran redes de conmutación de circuitos con transmisión de voz análoga a través del aire. Una desventaja de la transmisión análoga era la degradación de la calidad y extrema susceptibilidad a cualquier tipo de movilidad y a las condiciones del medio. Por lo tanto, el objetivo principal de la generación 2G era incrementar la calidad de voz. La respuesta a esta necesidad de diseño fue la codificación y transmisión digital, lo cual mejoró significativamente la comunicación de voz. También se hicieron mejoras en la red central (Network Core) que permitieron la introducción de servicios digitales de mensajería básicos, como SMS (Short Messaging Service). Los dos estándares principales de las redes 2G eran el GSM (Global System for Mobile Communications) y IS-95 (Interim Standard 95), a este último se le llamó comercialmente cdmaOne. GSM se basó en técnicas TDMA (Time Division Multiple Access), mientras que cdmaOne, como el nombre lo indica, utiliza CDMA (Code Division Multiple Access). Tal división, además de la variación en las bandas espectrales utilizadas en distintas regiones donde se desplegaron sistemas, contribuyeron a que se presentaran problemas de interoperabilidad durante un largo periodo de tiempo después de estos despliegues.

Al tiempo que crecía la popularidad de 2G, el internet estaba en sus primeros años. Durante este tiempo, la utilización del internet tuvo un crecimiento exponencial, el interés por tener servicios de datos para dispositivos móviles e inalámbricos comenzó a tomar forma. La evolución de GSM en GPRS (General Packet Radio Services) y EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution);

además cdmaOne en cdmaTwo (IS-95b) mejoro la red central para que fuese capaz de manejar transferencia de datos. Por ejemplo, GPRS introdujo dos componentes SGSN (GPRS Support Node) y GGSN (Gateway GPRS Support Node). Los objetivos de estos elementos eran aumentar la infraestructura GSM existente para facilitar el acceso a datos en el nivel RIT (Radio Interface Technology) (objetivo del SGSN), y facilitar la interconexión entre GPRS y otras redes, incluyendo el internet (objetivo del GGSN). Email y web móvil eran servicios disponibles, pero la complejidad del servicio de internet móvil no permitió el acceso a las masas, por lo tanto su uso se limito a las empresas.

En 1999, el ITU aprobó cinco interfaces de radioelectricas que consistían en las tecnologías IMT-2000. Estas eran EDGE, cdma2000, UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) (W-CDMA y TD-CDMA, Wideband-CDMA y Time-Division-CDMA repectivamente), TD-SCDMA (Time Division-Synchronous CDMA) y DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications). En 2007, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) fue reconocida como una tecnología IMT-2000. Estas tecnologías formaron la generación 3G. En su diseño, se hizo énfasis en brindar soporte para los servicios de voz, ampliar y mejorar los servicios de datos, y habilitar multimedia en el teléfono celular. Las tecnologías 3G son clasificadas algunas veces basadas en su naturaleza. EDGE y CDMA2000 son reconocidas como tecnologías evolucionadas, ya que son mejoras de tecnologías 2G. UMTS y WiMAX como revolucionarias porque están basadas en interfaces de radio completamente nuevas. En el caso de UMTS fue WCDMA y WiMAX introdujo OFDMA (Orthogonal Frequency Multiple Access).

Las tecnologías 3G mostraron, y todavía muestran, que el acceso a internet es un servicio importante en la telefónica celular. El uso extendido de los smartphones y pads ofrecido por varias empresas indican la gran demanda de estos servicios. Sin embargo, las tecnologías 3G han afrontado distintos desafíos para atender la demanda creciente: deterioro de la calidad en la cobertura de interiores, tasas

insostenibles a diferentes niveles de movilidad, dificultades en el roaming (debido a la asignación incoherente de anchos de banda en distintos países) y complejidad de la infraestructura. Algunos de estos inconvenientes pueden ser mitigados con despliegues más complejos, sin embargo esta solución implica altos costos y por ende indeseable. Con respecto al rendimiento de la red, el overhead de señalización en redes 3G consume grandes anchos de banda, incluso más que lo necesario para enviar algunos tipos de multimedia. La tabla 1 muestra una síntesis de las características principales de las generaciones móviles hasta la 3G.

Tabla 1. Generaciones de redes de telefonía móvil.

Generation	Year	Network	Technology	Data
1G	Early 1980s	Circuit switched	TACS, AMPS	Analog Voice
2G	Early 1990s	D-AMPS, GSM, CDMA (IS-95)	D-AMPS, GSM, CDMA	Digital Voice
2.5G	1996	Circuit switched or Packet switched	GPRS, EDGE, EVDO, EVDV	Digital Voice + Data
3G	2000	Non-IP Packet switched/Circuit switched	WCDMA, CDMA2000	Digital Voice + High speed Data + video

La última revolución de tecnologías 3G, en particular LTE de 3GPP (3rd Generation Partnership Project) y WiMAX 1.5 de WiMAX Forum tratan estos asuntos. Apartándose de las interfaces que fueron utilizadas en las tecnologías 2G y a principios de la generación 3G (TDMA y W-CDMA), LTE y WiMAX están basadas en OFDMA. Esta tecnología facilita altas tasas de transferencia siendo más robusta para varios niveles de movilidad y condiciones de canal. Las dos redes introdujeron otras tecnologías como el uso de técnicas avanzadas de antenas, simplificación del core network y el uso de elementos inalámbricos repetidores, entre otros.

En el 2008, el ITU-R emitió una circular para dar inicio al proceso de presentación de propuestas para candidatos de tecnologías IMT-Advanced. Los requisitos establecidos por IMT-Advanced se hicieron para solucionar los problemas que tuvieron que afrontar los operadores, proveedores y usuarios en las redes 3G, y para acomodar la demanda en expansión de servicios de banda ancha para dispositivos móviles. IEEE y 3GPP respondieron con las propuestas candidatas en octubre de 2009, el IEEE con WirelessMAN-Advanced (IEEE 802.16m) y 3GPP con LTE-Advanced que es la evolución de LTE. A pesar de que en la actualidad existen, en su mayoría, despliegues que no son 4G; la actualización de LTE a LTE-Advanced y de WiMAX 1.5 a WiMAX 2.0 no es compleja y nos permite ver lo que nos depara el futuro. La figura 1 muestra la evolución de las redes inalámbricas desde 1990 hasta la actualidad.

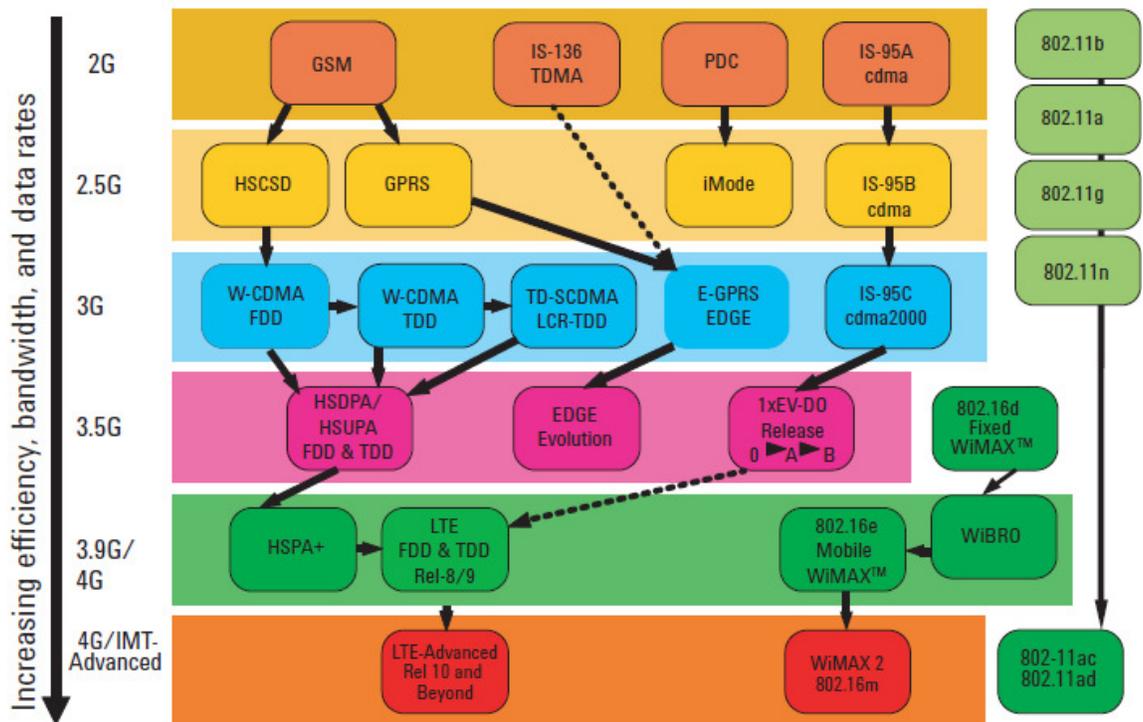


Figura 1. Evolución desde 2G hasta 4G.

2. REQUISITOS ITU PARA IMT-ADVANCED

La tercera generación de tecnologías celulares fue definida por el ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector) a través del proyecto IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), definido en 1997, fue definido en términos de velocidades pico de transmisión:

- 2048 kbps en interiores de oficina
- 348 kbps en exteriores e interiores y peatones
- 144 kbps para vehículos
- 9.6 kbps para satélites

No hay requisitos definidos para la eficiencia espectral en 3G. La situación es diferente para IMT-Advanced. Los requisitos de alto nivel del ITU para IMT-Advanced abarcan lo siguiente:

- Un alto grado de funcionalidad a nivel mundial manteniendo la flexibilidad para soportar un amplio rango de servicios locales y aplicaciones de forma que sean rentables.
- Compatibilidad de servicios dentro de IMT y con redes fijas.
- Interoperabilidad con otros sistemas de radio.
- Servicios móviles de alta calidad.
- Equipos de usuario cualificados para ser usados a nivel mundial.

- Aplicaciones, servicios y equipos fáciles de manejar.
- Capacidad de Roaming a nivel mundial.
- Incremento de la velocidad pico de datos para satisfacer servicios móviles avanzados (en el enlace de bajada se requiere 100 Mbps para alta movilidad y 1 Gbps para baja movilidad).

La mayoría de los requisitos son propósitos generales que cualquier estándar tendría como meta. El requisito que distingue los estándares que cumplen con IMT-Advanced con otros previos es el último. Los incrementos en la velocidad son enormes en comparación con 3G, el cual establece velocidades pico en interiores de 2 Mbps con baja movilidad y 144 kbps para vehículos.

3. LTE-ADVANCED

LTE-Advanced es el nombre del proyecto de la evolución de LTE. Ha sido desarrollado por 3GPP (3rd Generation Partnership Project). LTE-Advanced cumple con los requisitos del ITU para la cuarta generación de estándares de radiocomunicación, conocida como IMT-Advanced.

En la primera parte del capítulo se hace una descripción general de la arquitectura LTE, y de los elementos que la componen (MME, S-GW, etc.). En las siguientes secciones se resumen las mejoras más importantes de LTE-Advanced en relación con LTE. Estas mejoras abarcan agregación de portadoras, DFT-S-OFDM (acceso múltiple en el UL) y Enhanced MIMO (como es llamada la tecnología MIMO de LTE-A).

3.1 ARQUITECTURA LTE

3GPP especifica los requisitos y elementos de la arquitectura EPS (Evolved Packet Systems) en el Release 8 que sirven para la nueva generación de redes móviles. La especificación trata dos temas principales: LTE y SAE (System Architecture Evolution); los cuales llevan a la especificación de EPC (Evolved Packet Core), E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) y E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) que corresponden a la red central, RAN (Radio Access Network) y a la interfaz aérea, respectivamente.

El EPS brinda conectividad IP entre UE (User Equipment) y red de datos por paquetes externa usando E-UTRAN. En la Figura 2 se muestra un EPS,

elementos de conmutación de circuitos y paquetes y 3GPP RANs, junto con las interfaces más importantes.

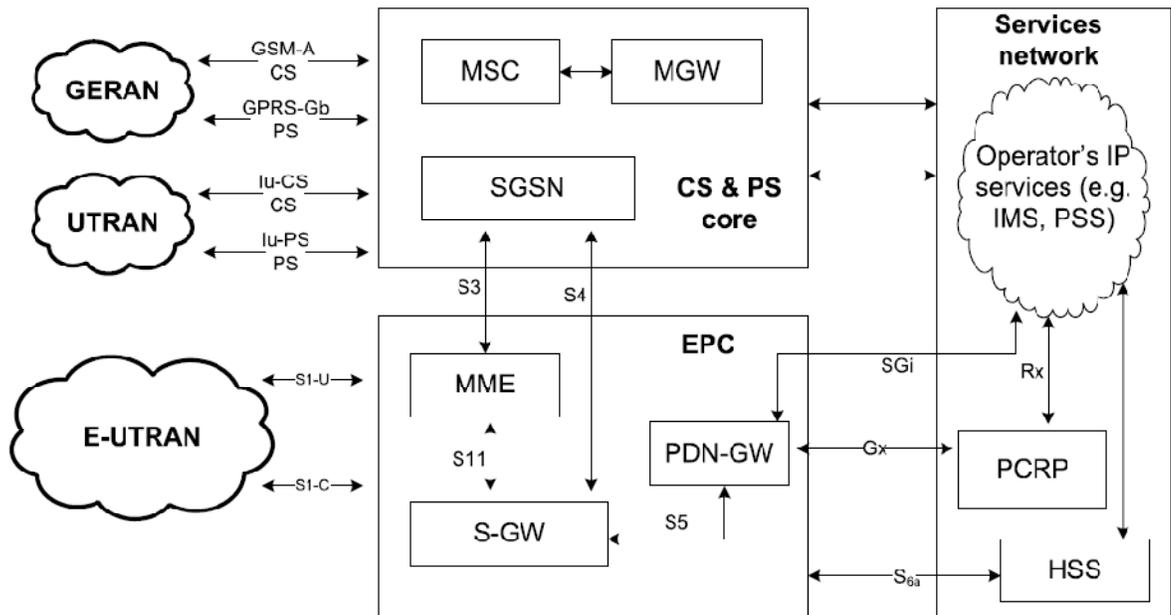


Figura 2. Visión general del EPS para accesos 3GPP.

En las redes 4G, la interfaz aérea y la red de acceso radioeléctrico RAN han sido redefinidas y mejoradas, sin embargo la red central EPC no se le hicieron cambios significativos a la arquitectura estandarizada SAE.

3.1.1 LTE-Advanced y E-UTRAN

El elemento central en la arquitectura E-UTRAN es el eNodeB o eNB (enhanced Node B), este provee a la interfaz aérea con protocolos del plano de usuario y plano de control para comunicarse con el UE (User Equipment). Cada eNB es un

componente lógico que sirve a una o varias celdas E-UTRAN. La interfaz que interconecta los eNBs se llama interfaz X2. Las femtoceldas, conocidas en LTE como HeNBs (Home eNBs), se pueden conectar directamente al EPC o mediante un Gateway, en el caso que se requiera conectar muchas HeNBs. La figura 3 muestra la arquitectura de E-UTRAN para LTE-Advanced.

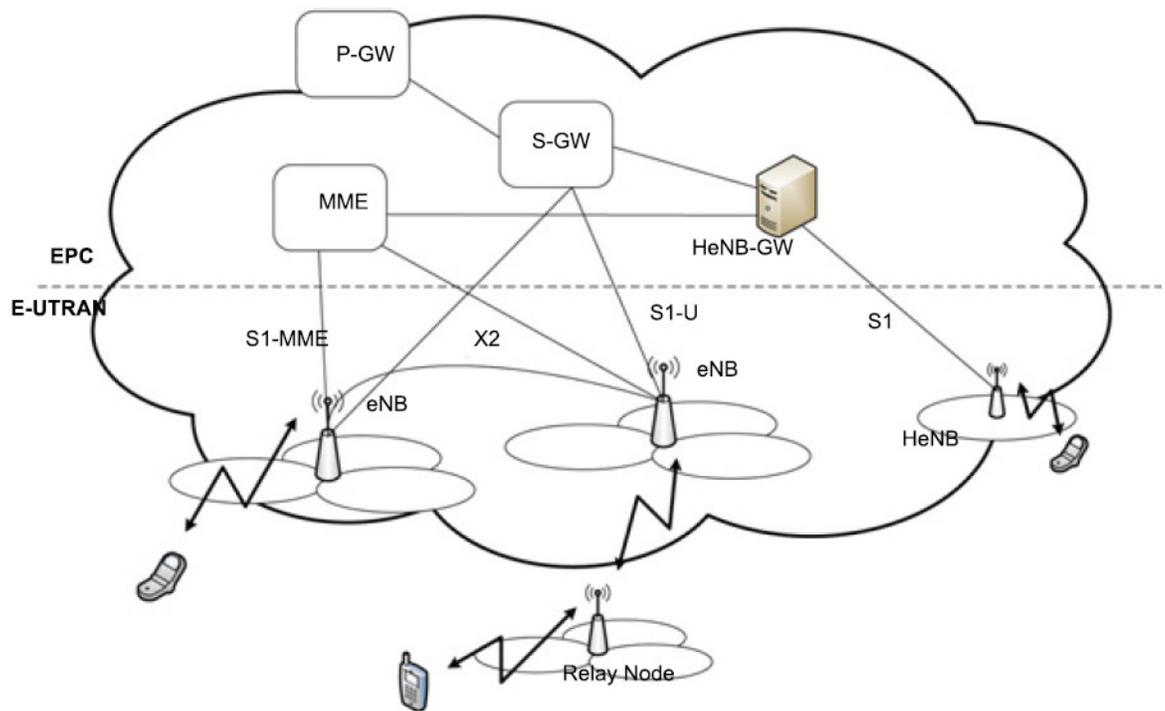


Figura 3. Arquitectura E-UTRAN para LTE-Advanced.

Como se menciona anteriormente, los eNBs le dan al E-UTRAN los protocolos de terminación del plano de control y de usuario. En el plano de usuario, los protocolos incluidos son: PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control), MAC (Medium Access Control), capa física o PHY. En el plano de control se adicionan los protocolos RRC (Radio Resource Control). La Figura 4 muestra ambas pilas de protocolos.

EPS usa el concepto de EPS bearers para enrutar tráfico IP desde un PDN (Packet Data Network) al UE (User Equipment). Un bearer es un flujo de paquetes IP con un QoS especificado entre el Gateway y el UE. El E-UTRAN junto con el EPC establece y libera bearers como lo requieran las aplicaciones.

Las principales funciones de cada capa son:

- MAC (Control de Acceso al Medio)
 - Multiplexación/demultiplexación de RLC PDUs (Packet Data Units)
 - Reportes de información de scheduling
 - Corrección de errores mediante HARQ (Hybrid ARQ)
 - Priorización de canales
 - Relleno

- RLC (Radio Link Control)
 - Corrección de errores mediante ARQ (Automatic Repeat reQuest)
 - Segmentación según el tamaño del bloque de transporte y resegmentación en caso que se necesite realizar una retransmisión
 - Concatenación de SDUs (Session Data Units) para el mismo RB (Radio Bearer)
 - Detección de errores de protocolo y recuperación
 - Entrega secuencial y retransmisión de PDCP SDUs

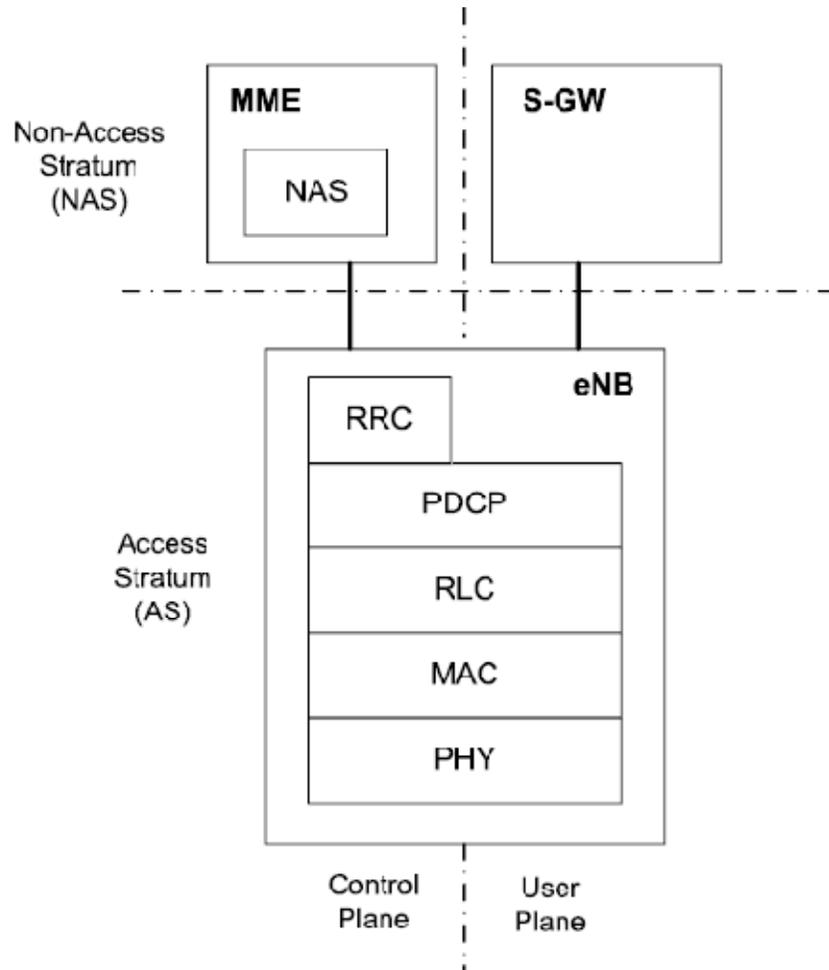


Figura 4. Pila de protocolos del plano de usuario y plano de control.

- PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
 - Compresión del encabezado
 - Entrega secuencial y retransmisión de PDCP SDUs
 - Detección de duplicados
 - Cifrado y protección de la integridad de datos

- RRC (Radio Resource Control)

- Sistema de información Broadcast relacionado con NAS (Non-Access Stratum) y AS (Access Stratum)
 - Establecimiento, mantenimiento, liberación de conexión RRC
 - Funciones de seguridad incluyendo manejo de clave
 - Funciones de movilidad
 - Funciones de gestión QoS
 - Reporte de medidas UE y control de reportes
 - Transferencia directa de mensajes entre UE y NAS
- NAS (Non-Access Stratum)
 - Conexión, gestión de sesión entre UE y la red central
 - Autenticación
 - Registro
 - Activación/desactivación del bearer context
 - Registro de posición
 -

3.1.2 Red Central CN (Core Network)

La Figura 5 muestra la arquitectura general del CN o EPC y la red de acceso E-UTRAN. Muestra los elementos del EPC. A diferencia del E-UTRAN que solo esta conformado por eNB, el EPC esta formado por muchos nodos. Estos nodos del EPC están interconectados mediante interfaces estandarizadas que se indican en la Figura 5. Esto permite interoperabilidad entre distintos fabricantes.

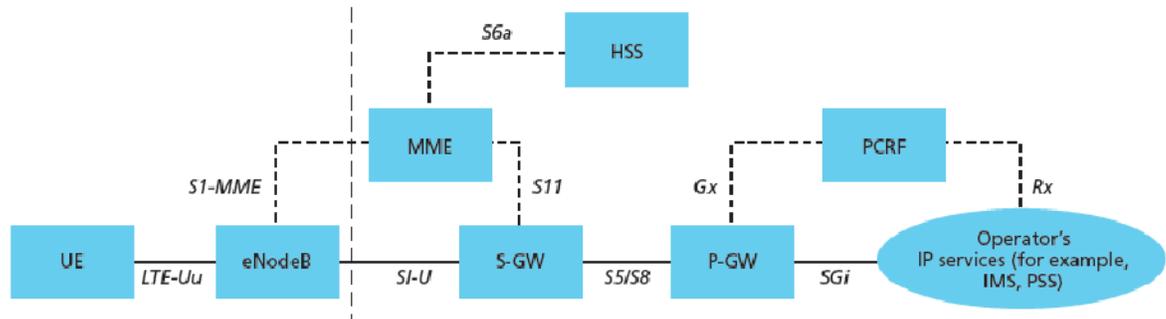


Figura 5. Elementos del EPC.

El EPC realiza el control del UE y establece los bearers. Los nodos principales del EPC son: P-GW (PDN Gateway), S-GW (Serving Gateway) y MME (Mobility Management Entity).

EPC incluye otros nodos lógicos y funciones como HSS (Home Subscriber Server) y PCRF (Policy Control and Charging Rules Function). EPS solo otorga una ruta bearer para cierto QoS, por lo tanto para aplicaciones multimedia como VoIP el control se realiza mediante IMS (IP Multimedia Subsystems), el cual se considera por fuera del EPS. Las funciones de los elementos del EPC son las siguientes:

- MME (Mobility Management Entity): Nodo de control que procesa la señalización entre el UE y el CN. Los protocolos utilizados entre el UE y el CN son NAS (Non-Access Stratum).
- S-GW (Serving Gateway): Todos los paquetes IP son transferidos a través del S-GW, también funciona como anclaje de la movilidad (es decir, que memoriza los enlaces de los nodos con el UE) para los bearers de datos cuando el UE se mueve entre eNBs. También retiene la información acerca de los bearers cuando el UE está en estado de reposo y hace de buffer temporal de enlace de bajada mientras el UE restablece los bearers.

También realiza funciones de administración como recolección de información para facturación e interceptación legítima de las comunicaciones.

- P-GW (PDN Gateway): Se encarga de la asignación de direcciones IP para los UE, ejecución de los QoS y facturación basado en el flujo según las reglas del PCRF (Policy Control and Charging Rules Function). Filtra los paquetes IP de DL del usuario en diferentes bearers basado en sus QoS. Esto se realiza en base a TFTs (Traffic Flow Templates).
- HSS (Home Subscriber Server): Contiene información de la suscripción SAE del usuario como el perfil QoS y restricciones de acceso para roaming. También contiene información acerca de los PDNs al cual el usuario se puede conectar. Esto se puede hacer en forma de APN (Access Point Name), el cual se nombra de acuerdo con las convenciones DNS describiendo el Acces Point al PDN. También se puede realizar mediante direcciones PDN, indicando direcciones IP suscritas. El HSS tiene el registro del MME al cual el usuario está registrado en un momento determinado. El HSS puede tener integrado el AUC (Authentication Center), que realiza tareas de autenticación y genera claves de seguridad.
- PCRF (Policy Control and Charging Rules Function): Toma decisiones con respecto a las políticas de control. Controla las funciones de tarificación del PCEF (Policy Control Enforcement Function) basadas en el flujo, que reside en el P-GW. El PCRF proporciona autorización QoS para decidir la forma en que ciertos flujos de datos serán tratados en el PCEF y verifica que este de acuerdo con el perfil de suscripción del usuario.

3.2 AGREGACIÓN DE PORTADORAS

Para alcanzar la velocidad de transmisión meta para la generación 4G de 1Gbps se necesitara anchos de banda más amplios que los especificados en el Release 8 del LTE. LTE soporta anchos de banda de hasta 20MHz, es improbable mejorar la eficiencia espectral más allá de los objetivos de LTE. Por lo tanto la única forma de alcanzar velocidades de transmisión mas altas es incrementando el ancho de banda. IMT-Advanced establece el límite superior en 100 MHz, pero 40 MHz son admisibles para un desempeño mínimo.

Para que LTE-Advanced pueda utilizar anchos de banda de hasta 100 MHz manteniendo compatibilidad con LTE, se propuso la agregación de portadora. Esto consiste en agrupar varios LTE CCs (Component Carriers) (por ejemplo de hasta 20MHz) para que los dispositivos LTE-Advanced sean capaces de usar un ancho de banda de mayor tamaño (por ejemplo 100MHz). Los dispositivos LTE continúan viendo el espectro como Component Carriers separadas. En la Figura 6 se ilustra el concepto de agregación de potadoras en un ancho de bando contiguo.

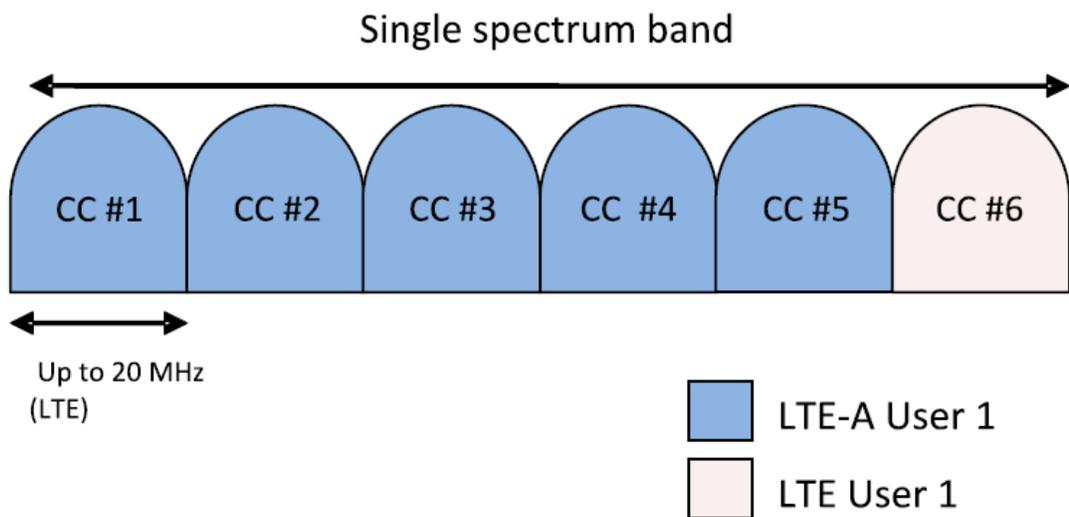


Figura 6. Agregación de portadoras en ancho de bando contiguo.

No siempre es posible para un operador obtener 100 MHz de espectro contiguo. Por esto, el uso de agregación de portadoras no contiguas también se propone. Las CCs que se van a agregar pueden ser no contiguas en la misma banda espectral o no contiguas en diferentes bandas espectrales.

La Figura 7 muestra el caso de agregación de portadoras no contiguas en la misma banda. La figura muestra 2 dispositivos LTE utilizando anchos de banda de hasta 20 MHz, funcionando junto con un dispositivo LTE-Advanced que está usando ancho de banda agregado no contiguo de hasta 100 MHz.

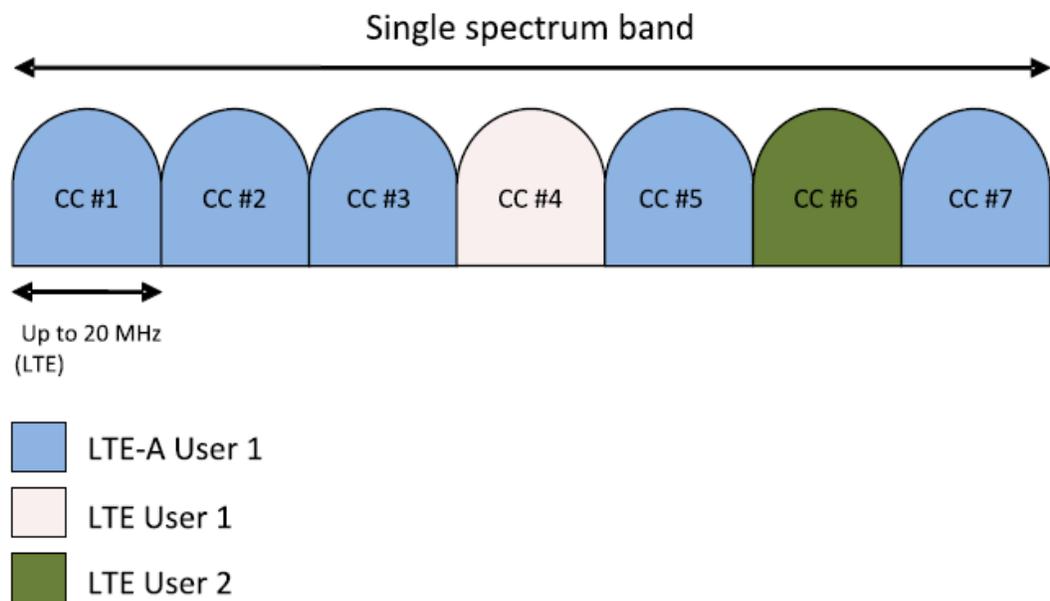


Figura 7. Agregación de portadoras en ancho de banda no contiguo, banda única.

La Figura 8 ilustra el caso de agregación de portadoras no contiguas en diferentes bandas, la figura muestra 2 dispositivos LTE usando anchos de banda de hasta 20 MHz, cada uno en bandas espectrales distintas, funcionando junto con un

dispositivo LTE-Advanced que esta usando ancho de banda no contiguo en diferentes bandas. Las bandas utilizadas pueden ser dedicadas o compartidas.

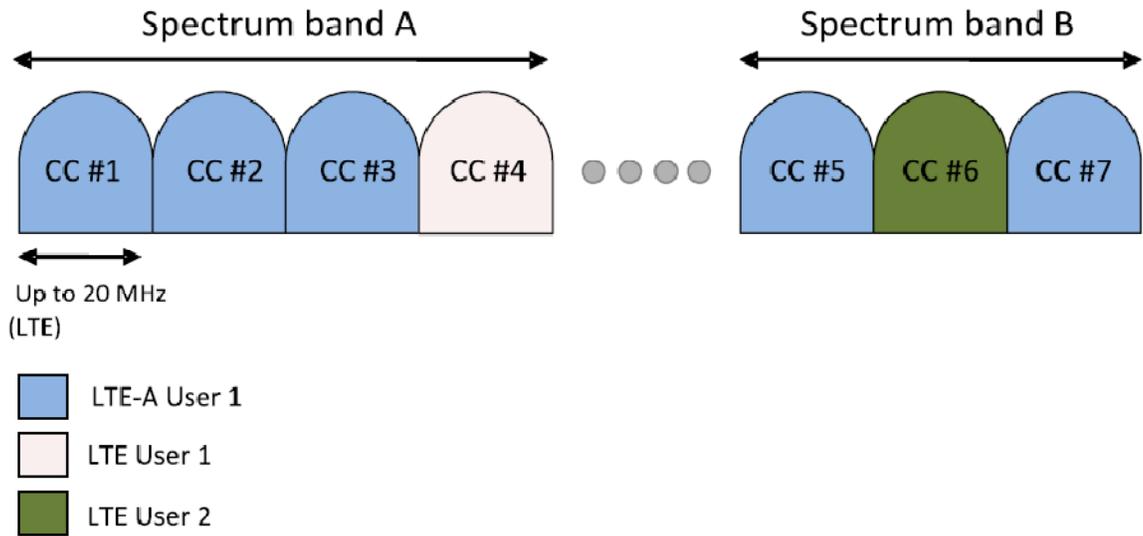


Figura 8. Agregación de portadoras en ancho de banda no contiguo, múltiples bandas.

En todos los casos de agregación de portadoras, el número de UL y DL Component Carriers así como sus anchos de banda pueden ser distintos. Aunque se utilice uno solo eNB, vario LTE-Advanced UEs podrían ser configurados con distinto número de CCs, condiciones de canal, velocidad de transmisión y requerimientos QoS.

Agregación de portadoras no solo ayuda a alcanzar velocidades más altas, sino que también sirve para alcanzar mejor cobertura de velocidades de transmisión medias. Para velocidades medias, se permite el uso de menor orden de modulación y menor tasa de codificación. Esto reduce el balance del enlace, potencia de transmisión y la interferencia.

➤ **Canales de control**

Para utilizar el espectro disponible, los dispositivos deben acceder a canales de control en los UL y DL. Para mantener compatibilidad con dispositivos LTE, cada CC debe mantener sus canales de control.

En caso de que un operador desee funcionar con dispositivos LTE-Advanced únicamente, los canales de control podrían ser reducidos de un conjunto por cada CC (de hasta 20 MHz) a un conjunto por cada grupo de CCs agregados (de hasta 100MHz). Desactivar o activar los canales de control pueden permitir al proveedor de servicio hacer una migración progresiva de LTE a LTE-Advanced controlando cuales bandas espectrales son accesibles a LTE y cuales a LTE-Advanced.

Con respecto al scheduling, la información de asignación de recursos para DL y UL, puede referirse a los recursos dentro del mismo CC en el cual fue enviado, o recursos en otro CC. El primer caso es idóneo cuando el UE se configura para recibir información de asignación de recursos en cada CC, y la puede recibir de forma fiable. El otro caso se utiliza cuando el UE no se ha configurado para recibir información de asignación de recursos en cada CC, o cuando no se puede enviar información en algunos CCs de forma confiable.

3.3 ACCESO MÚLTIPLE DEL ENLACE DE SUBIDA

El UL del Release 8 de LTE está basado en SC-FDMA, una tecnología de acceso múltiple que combina mucho de los aspectos de OFDM con ventajas de sistemas de portadora única, como bajo PAPR (Low Peak to Average Power Ratio). Sin embargo, SC-FDMA requiere asignación de portadora en un bloque espectral contiguo. Esto impide la flexibilidad de scheduling de OFDM.

LTE-Advanced mejora el acceso múltiple de UL adoptando otra tecnología llamada DFT-S-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM). Este esquema es parecido a SC-FDMA con la diferencia que permite la asignación de subportadoras no contiguas para la transmisión por un UE. Por lo tanto permite el scheduling selectivo de frecuencias del UL y mejora el desempeño del enlace. DFT-S-OFDM fue escogido en vez de OFDM debido a su bajo PAPR. Este cambio permite la compatibilidad hacia atrás con sistemas LTE y el cumplimiento de los requisitos de eficiencia espectral de UL.

La Figura 8 muestra diferentes configuraciones del Release 8 y Release 10. Todas las configuraciones del Release 8 son de portadora única, por lo tanto el PAPR no es más grande que lo que se obtiene con modulaciones QPSK y 16QAM. Ya que en el Release 10 (LTE-Advanced) es posible transmitir más de una portadora, los PAPR son más altos que en el Release 8 (LTE). Las múltiples portadoras que se muestran en la Figura 9 en el área de Release 10 DFT-S-OFDM (también conocido como Clustered SC-FDMA) como PUCCH/PUSCH (Physical Uplink Control Channel y Physical Uplink Shared Channel, respectivamente) están en un solo CC y no se deben confundir con las múltiples CCs de agregación de portadoras.

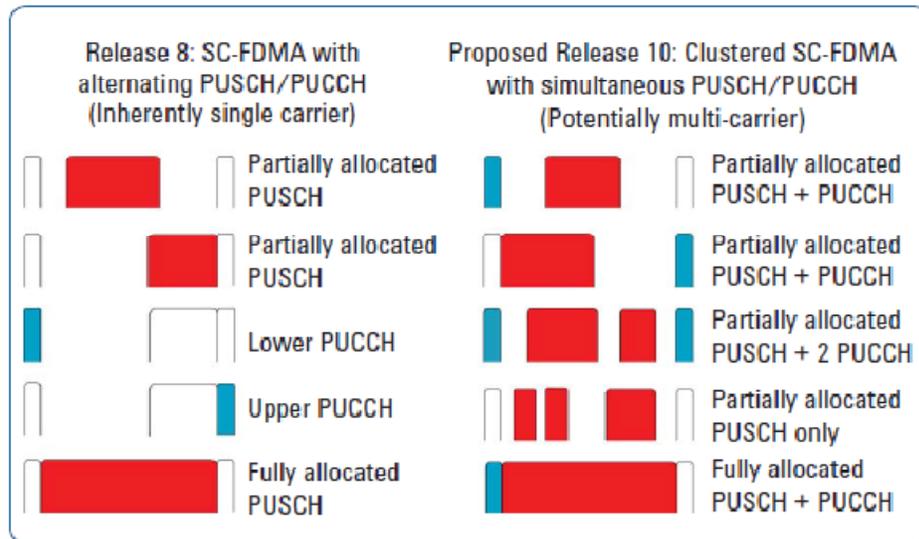


Figura 9. Comparación de configuraciones de UL entre el Release 8 y Release 10 de LTE.

3.4 MIMO EN LTE-ADVANCED

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) es una técnica fundamental en cualquier red móvil que utilice antenas múltiples tanto de parte del transmisor como del receptor. Las estaciones base y los terminales son dotados con múltiples antenas para ser usadas en transmisión y recepción. De esta forma se dispone de las capacidades tanto en UL como DL. La generación 4G de redes celulares debe ofrecer velocidades muy altas a un gran número de usuarios, MIMO es una herramienta muy útil para aumentar la eficiencia espectral de la transmisión inalámbrica.

LTE-Advanced propone mejorar las capacidades MIMO para cumplir con los requerimientos del IMT-Advanced establecidos por el ITU-R. La mayoría de las tecnologías MIMO que fueron presentadas en LTE se espera que sigan

cumpliendo un papel fundamental, en particular Beamforming, multiplexación espacial y diversidad espacial. Sin embargo, incrementos en la velocidad de transmisión pico, promedio de la célula y al borde de la célula deben obtenerse.

Las técnicas anteriormente mencionadas necesitan CSI (Channel State Information) en el BS (Base Station) para que el sistema se pueda adaptar a las condiciones del canal de radio. En los sistemas TDD esta información es recolectada fácilmente del UL, siempre que el Fading del canal sea lo suficientemente bajo, ya que la misma portadora de frecuencia es usada para transmisión y recepción. En los sistemas FDD, debido a su asimetría, la información de retroalimentación sobre el enlace inverso es necesaria. CSI completo puede ocasionar cabeceras excesivas, por lo tanto se prefiere CSI estadísticas en la práctica. La movilidad del UE puede derivar en dificultades en el rendimiento del sistema, ya que la CSI que llega al eNB puede estar desactualizada.

Las técnica multi-antena en un sistema multi-usuario tiene el propósito de entregar flujo de datos usando multiplexación espacial a los diferentes usuarios de manera que todos los grados de libertad de un sistema MIMO sean utilizados. La idea es hacer uso inteligente de SDMA (Space-Division Multiple Access) para que el patrón de radiación del BS se adapte a cada usuario y así obtener la mayor ganancia posible en la dirección de dicho usuario. La Inteligencia recae sobre el BS que recolecta el CSI de cada UE y decide la asignación de recursos con respecto a eso.

➤ **Descripción general**

Enhanced MIMO (como es conocida la tecnología MIMO de LTE-Advanced) se entiende como un marco multimodal en el cual la demanda de velocidades mas altas y mayor cubrimiento se acomoda mediante la selección de un esquema MIMO acorde a los requerimientos el sistema en un momento dado (véase la figura 10). La estrategia de adaptación se escoge basándose en las distintas mediciones de los canales recogidas en el BS a través de un mecanismo de baja tasa de feedback. LTE-Advanced permitirá varias de las tecnologías MIMO antes mencionadas para que se combinen con lo que se conoce como precodificación avanzada.

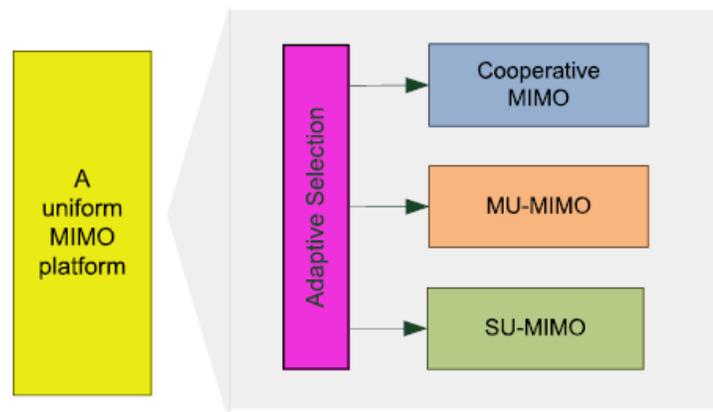


Figura 10. MIMO adaptable.

La figura 11 muestra los modos de Enhanced MIMO. Los tres modos de operación principales son:

- SU-MIMO (Single-User MIMO): Las técnicas diversidad de transmisión y multiplexación espacial pueden seleccionarse para la transmisión con Beamforming. Esta nueva característica junto con un mayor orden de MIMO

(es decir, incremento en número de puertos de antenas) hacen posible un incremento en las velocidades pico de transmisión.

- MU-MIMO (Multi-User MIMO): Es importante ya que ofrece un gran rendimiento a costa de la complejidad del sistema. La flexibilidad de SDMA se incrementa permitiendo un número diferente de streams para cada usuario y así incrementar la velocidad de transmisión promedio de la célula.
- Cooperative MIMO: La velocidad al borde de la célula se aumenta mediante las técnicas que usan coordinación en transmisión y recepción de señales entre distintas BSs, que también ayuda a reducir la interferencia inter-células. Estas técnicas conocidas como CoMP (Cooperative Multipoint) transmisión y recepción, son otro conjunto de tecnologías importantes.

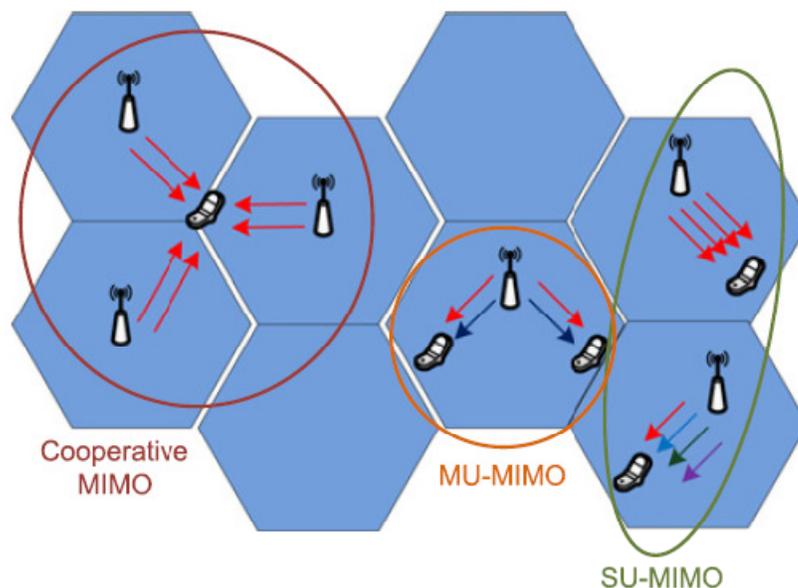


Figura 11. Modos de LTE-Advanced.

4. WIMAX

IEEE 802.16 es la primera tecnología banda ancha para dispositivos inalámbricos fijos, nómadas y móviles. Desde 2001, el grupo de trabajo del IEEE 802.16 ha estado trabajando en nuevas enmiendas. El trabajo dio frutos con el estándar IEEE 802.16-2009, a principios del 2009 y con la respuesta del IEEE a los requisitos IMT-Advanced en marzo de 2011 con el IEEE 802.16m.

En este capítulo primero se hace una introducción de WiMAX 1.0 para entender aspectos generales de la red (por ejemplo los modos) y un resumen de las capas que define WiMAX. Luego, se resumen algunos de los temas más importantes de WiMAX, en particular: los pasos que se siguen para la entrada a la red, características generales del QoS (también se incluyen el tema de asignación de ancho de banda), y los distintos tipos de Handover que se dan en WiMAX 2.0.

4.1 WIMAX 1.0

WiMAX 1.0 y 1.5 están basados en el estándar IEEE 802.16-2009 junto con la enmienda IEEE 802.16j. Se distinguen dos modos: PMP (Red multipunto) y MR (Multihop Relay). En una red PMP existen los BSs (Base Stations) mediante los cuales los suscriptores se conectan a la red, estos BSs a su vez están conectados a una infraestructura para el manejo de las operaciones de red. En la enmienda IEEE 802.16j se define el modo MR, a diferencia del modo PMP los suscriptores se pueden conectar no solo a través de un BS sino también a través de un RS (Relay Station). Los BS de este modo son llamados MR-BS. Un RS está conectado a un MR-BS mediante un enlace inalámbrico.

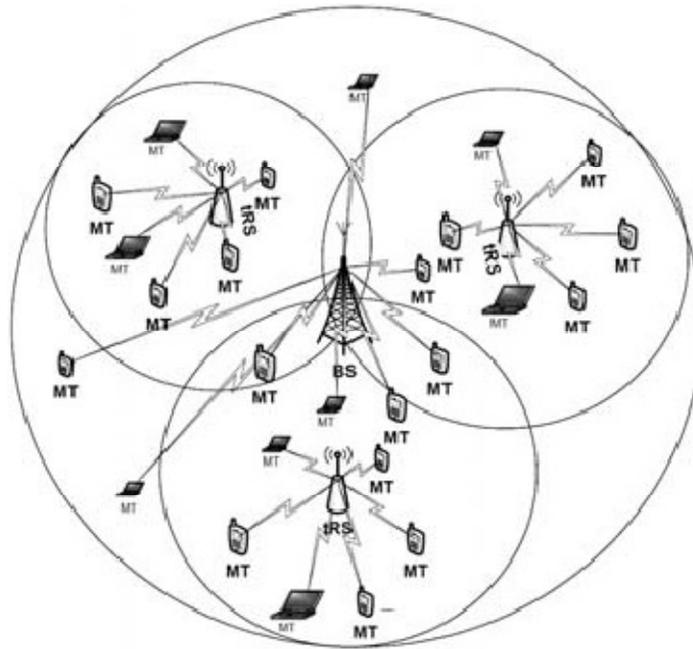


Figura 12. Red MR de la IEEE-802.16j mostrando tRSs.

Los RS se dividen en: RSs transparentes y los que no lo son (tRS y ntRS, respectivamente). tRS son subordinados de MR-BSs o de los ntRSs y comparten la frecuencia portadora de estos, son utilizados en el área de cobertura de un MR-BS para mejorar el rendimiento de la red. Los ntRSs pueden operar en la misma o en diferente frecuencia de portadora de una celda de MR-BS y son utilizados para extender la cobertura de los MR-BSs. Las figuras 12 y 13 muestran ejemplos de cómo se aplican los RS transparentes y no transparentes.

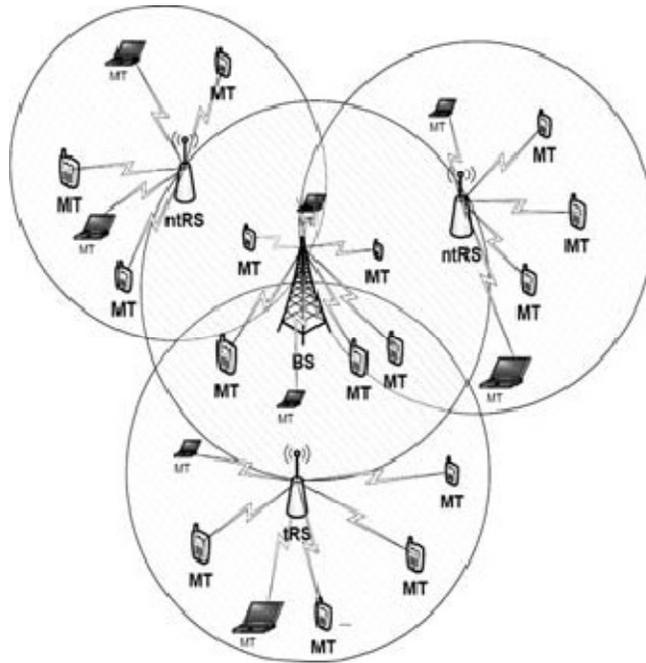


Figura 13. Red MR de la IEEE-802.16j mostrando ntRSs.

➤ **Modelo de referencia de protocolo**

El estándar IEEE 802.16-2009 define la capa física y la de control de acceso al medio (MAC). El modelo divide la MAC en dos subcapas principales: CS (Service Specific Convergence Sublayer) y CPS (Common Part Sublayer). La figura 14 muestra el modelo.

El modelo nos muestra dos planos, un plano de datos y uno de gestión y control. En el plano de datos el estándar establece descripciones para la capa MAC y la capa física. Para el plano de gestión y control se incluyen algunas pautas que deben ser aplicadas en los NCMS (Network Control and Management Systems) como por ejemplo descripciones de los SAPs (Service Acces Points), sin embargo los pormenores de los NCMS no están incluidos en el estándar.

La subcapa CS proporciona SAPs para capas superiores como ATM, IPv4, IPv6; también procesa PDUs (Protocol Data Units) antes de ser admitidos en la red

IEEE 802.16. Así como la subcapa CS proporciona SAPs a capas superiores, la subcapa CPS lo hace para la subcapa CS, también le brinda servicios a varias CSs para clasificación y QoS (Quality of Service) de las PDUs.

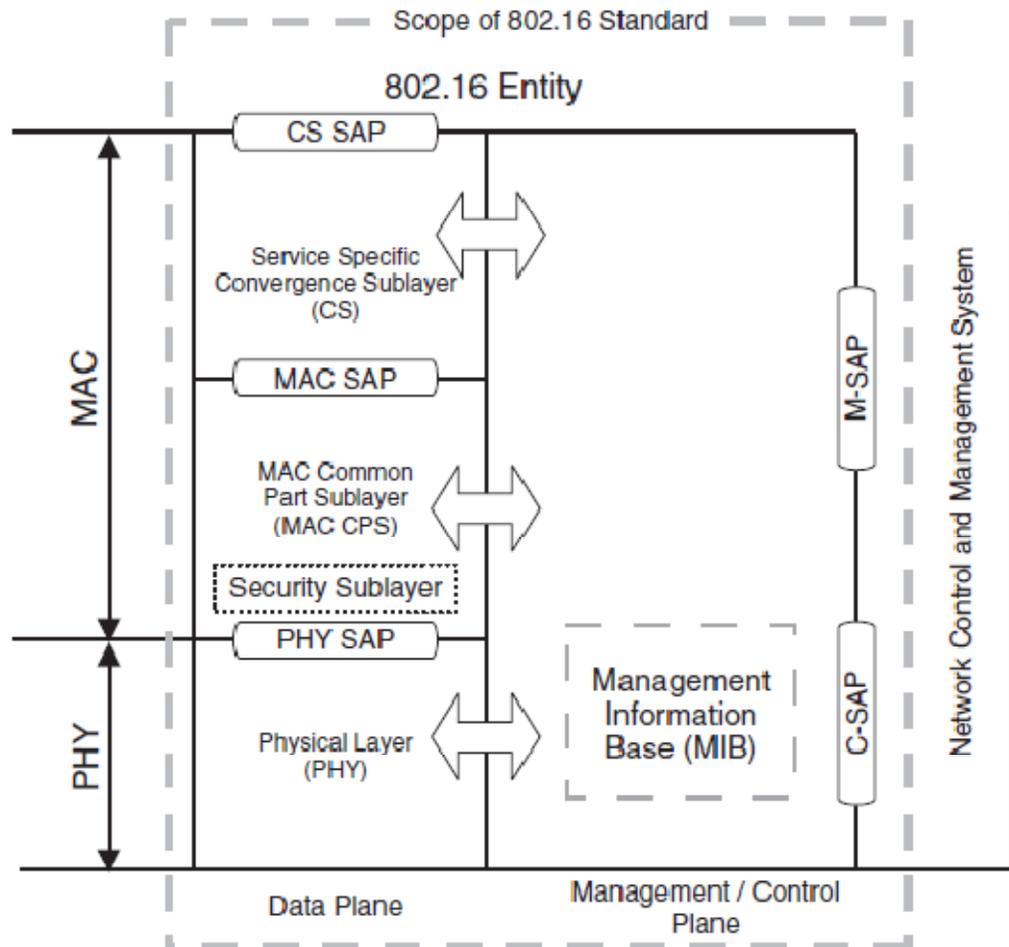


Figura 14. El modelo de referencia de la IEEE 802.16-2009.

Hay varias interfaces aéreas que definen la capa física del estándar IEEE 802.16-2009: WirelessMAN-Single Carrier, WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA. De estas la única que permite servicios de telefonía móvil es la interfaz WirelessMAN-OFDMA. Esta ópera a frecuencias debajo de 11 GHz con TDD (Time Division Duplex) o FDD (Frequency Division Duplex). Es compatible con los

modos PMP y MR. Soporta enlaces con LOS (Line of Sight) y NLOS (Non Line of Sight). Requiere gestión de la energía, mecanismos para contrarrestar la interferencia y antenas múltiples.

4.2 WIMAX 2.0

El estándar que define el WiMAX 2.0 es la enmienda IEEE 802.16m. Fue desarrollado para que cumpla con los requisitos del IMT-Advanced. La red esta compuesta por ABSs (Advanced Base Stations) y AMSs (Advanced Mobile Subscribers) o abonados móviles avanzados. Los AMSs se conectan al ASN (Access Service Network) y al CSN (Connectivity Service Network) a través del ABSs. El CSN supervisa las capas superiores, funciones de conectividad y otras gestiones de la red IEEE 802.16m. También ofrece conectividad a la troncal de la red.

En el 16m también existen RSs, llamados ARSs que pueden ser transparentes o no transparentes.

Se pueden instalar femtoceldas conectadas a ASNs. Una femtocelda conectada a un ABS es llamada Femto ABS. El 16m establece varias femtoceldas, las cuales se distinguen según los abonados que tienen permiso para acceder a la femtocelda. Se tienen CSG (Closed Subscriber Group) y OSG (Open Subscriber Group), como su nombre lo indica en los OSGs se permiten usuarios de toda la red. Los CSG se dividen en abiertos (CSG-Open) y cerrados (CSG-Closed). La diferencia entre los dos radica en que el cerrado solo permite un grupo establecido de abonados en cambio los CSGs-Open también permiten usuarios que no estén en el grupo pero dándoles menos prioridad.

En el estándar IEEE 802.16m se describen medios para que los sistemas de este estándar (sistemas avanzados), sean compatibles con los sistemas del IEEE 802.16-2009 (sistemas heredados). Los abonados móviles (MSs) del IEEE 802.16-2009, llamados R1 MSs se pueden conectar con ABSs. Y viceversa, los abonados móviles avanzados (AMs) se pueden conectar o hacer traspasos entre R1 BSs. Hay dos conexiones que no son compatibles: ARSs con R1 BS y conexiones entre RSs heredados y avanzados. La figura 15 muestra los distintos enlaces entre redes heredadas y avanzadas.

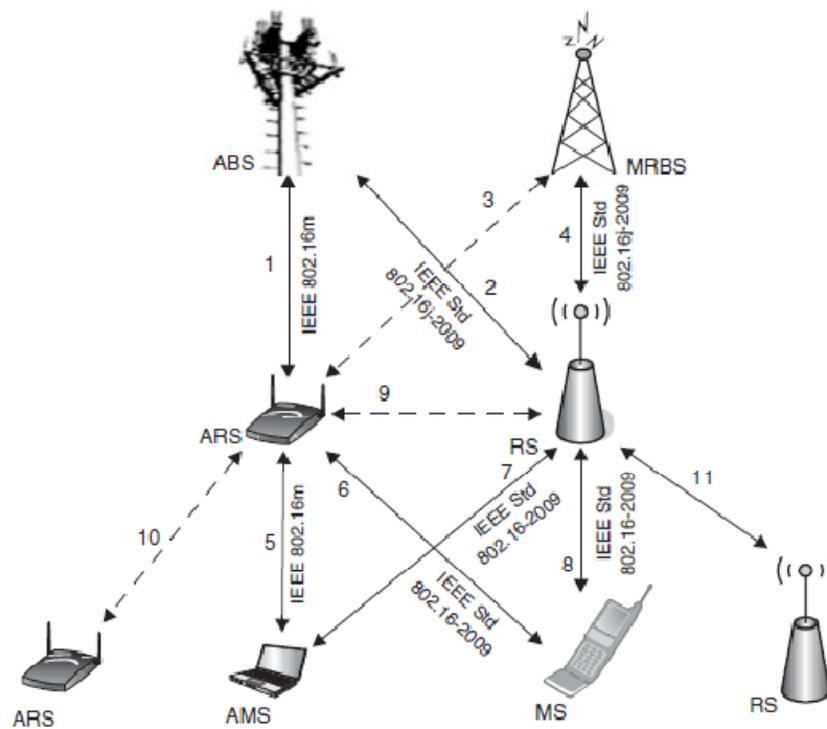


Figura 15. Conexiones compatibles entre sistemas heredados (IEEE 802.16-2009) y avanzados (IEEE 802.16m).

➤ **Modelo de referencia de protocolo**

El modelo de referencia del IEEE 802.16m es parecido al IEEE 802.16-2009. Los SAP no son necesarios entre funciones del MAC CPS y entre funciones de gestión y del MAC. Igual que en el IEEE 802.16-2009 también hay 2 planos para la capa física y el MAC: datos, y control y gestión. La Figura 16 muestra el modelo.

La interfaz aérea del IEEE 802.16m se llama Advanced WirelessMan-OFDMA y soporta TDD y FDD duplex. También soporta Half FDD (H-FDD). El IEEE 802.16m puede agregar portadoras contiguas o no contiguas para permitir anchos de banda de hasta 100MHz, como lo exige la IMT-Advanced (el requisito es de 40MHz). Estas dos formas de agregar portadoras mejoran la eficiencia en el espectro de frecuencia comparado con el IEEE 802.16-2009. Sin embargo, esta mejora conlleva a cambios en los dispositivos y su complejidad.

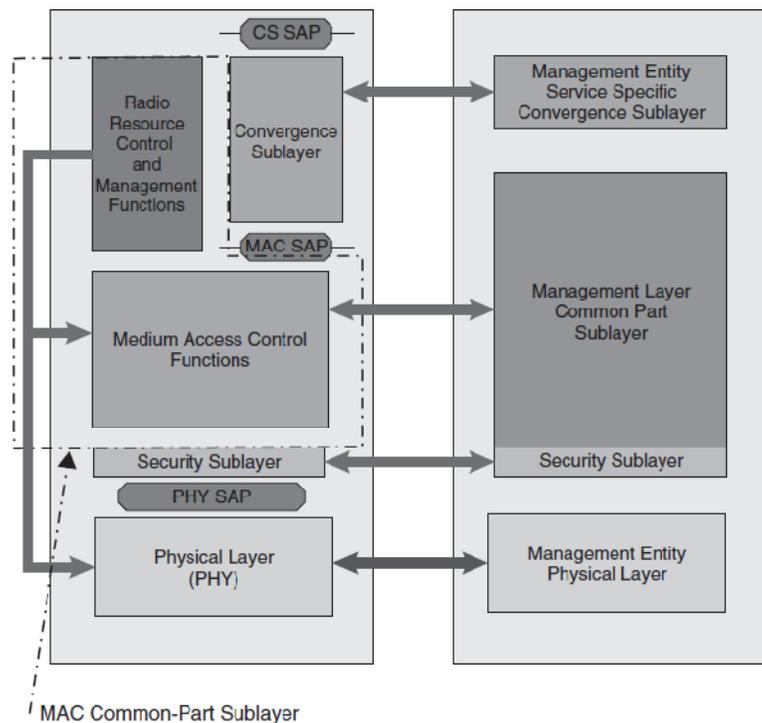


Figura 16. Modelo de referencia de protocolo del IEEE 802.16m.

4.2.1 Entrada a la red en el IEEE 802.16m

Un AMS pasa por 4 estados para entrar a la red:

- Inicialización
- Acceso
- Conectado
- Inactivo

La Figura 17 muestra los 4 estados.

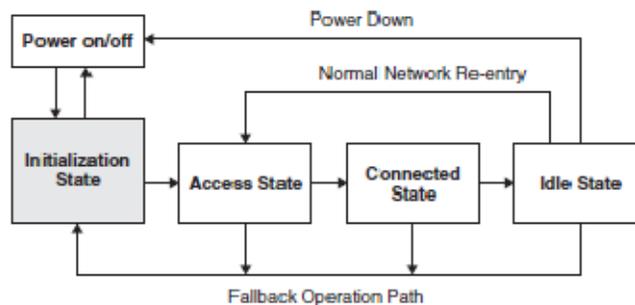


Figura 17. Los 4 estados de entrada a la red de un AMS.

La entrada a la red y el ranging inicial se efectúan cuando el AMS está en estados de inicialización y acceso. Los procesos de ranging periódicos y otros procesos son realizados cuando el AMS está conectado.

Cuando el AMS está en inicialización realiza las siguientes funciones: Exploración y sincronización, Adquisición de la cabecera de supertrama, Selección de la celda. Cuando finalizan las dos últimas funciones, comienza el estado de acceso en el cual están las siguientes tareas:

- Ranging y sincronización UL

- Negociación de pre-autenticación
- Autenticación MS, autorización e intercambio claves
- Capacidad de intercambio y registro con el ABS
- Establecimiento del SF (Service Flow)

Un AMS en funcionamiento multiportadora debe configurar la portadora antes de realizar la entrada a la red y el ranging inicial. Cuando se detecta el PREAMBLE, el AMS decodifica la cabecera de la supertrama, la configuración del sistema y otros parámetros con los que el ABS determina si es compatible con operación multiportadora. En el momento en que termina la selección de la portadora primaria candidata por el AMS, continúan las tareas de la entrada a la red. Esta misma se convierte en la portadora primaria y se negocian portadoras secundarias con el ABS. UL ranging se puede omitir para portadoras secundarias siempre que el AMS pueda utilizar información de configuración para tiempo, frecuencia y energía de la portadora primaria.

Una femtocelda BS gestiona los procesos de entrada y ranging de forma muy parecida a un ABS. Sin embargo, un AMS no debe intentar el ingreso a la red, traspaso, reingreso desde inactivo o actualización de la ubicación a un CSG-Closed excepto en caso de emergencia. Una OSG femtocelda BS permite a cualquier AMS dentro de su rango de cobertura.

Los ARS pasan por 3 estados: inicialización, Acceso y operación.

La entrada a la red y el ranging inicial se llevan a cabo en la inicialización y el acceso, y el ranging periódico y otros tipos de ranging se realizan en estado operacional. En estado de inicialización, el ARS realiza: exploración y sincronización DL (Detección de A-PREAMBLE), adquisición del canal de Broadcast, selección de la estación de acceso.

Una vez terminada la inicialización entra a estado de acceso, en el cual se realizan los siguientes procesos:

- Ranging y sincronización UL
- Negociación de pre-autenticación
- Autenticación ARS, autorización e intercambio claves
- Capacidad de intercambio y registro con el ABS
- Medición de estaciones vecinas y selección de estación de acceso (en caso de ser requerido por el ABS)
- Establecimiento del SF (Service Flow)
- Configuración de parámetros de operación ARS

Por último, el ARS entra en estado operacional. Los AMS y ARS realizan los mismos procesos, excepto que en algunos casos el ARS adicionalmente realiza un chequeo de las estaciones vecinas para evitar la interferencia. La entrada a la red de los AMSs puede ser distribuida entre ARS y ABS. Esto incluye procedimientos como capacidad de negociación, establecimiento de conexión, autenticación y registro. La adaptación de los enlaces es manejado por el ARS.

4.2.2 QoS en IEEE 802.16m

Para que una red tenga un adecuado QoS se deben abordar 4 aspectos:

- Medidas de rendimiento de QoS
- Clasificación
- Señalización para solicitudes de ancho de banda y concesiones
- Asignación de ancho de banda y manejo de tráfico

El estándar IEEE 802.16m establece mecanismos para estos, en la capa física y en la capa MAC.

➤ **Medidas de rendimiento QoS**

El nivel de rendimiento de una conexión se expresa en términos de throughput, retardo, jitter, prioridad y pérdida de paquetes. Además de estos, el estándar detalla otros parámetros para establecer y mantener una conexión.

- **Máximo tráfico sostenible:** La velocidad máxima en bits por segundo. El tráfico del usuario debe ser monitoreado para que este en conformidad con esta cantidad. Este tráfico no garantiza que esté disponible, solo señala un límite. El estándar no señala mecanismos para el monitoreo del tráfico.
- **Máximo tráfico burst:** El tamaño más grande de burst para un servicio en particular medido en bits. También es el máximo y continuo burst que es fijado por la red para un servicio, en caso que dicho servicio no esté utilizando los recursos del sistema. El máximo tráfico sostenible y máximo tráfico burst son codificados conjuntamente por una palabra de 6 bits. El estándar establece 23 niveles para el máximo tráfico sostenible y máximo tráfico burst.
- **Mínimo tráfico reservado:** Como su nombre lo indica se refiere al mínimo tráfico reservado para un servicio, se mide en bits por segundo. Si una conexión solicita una velocidad más alta que esta, el ABS debe garantizarla. En caso de que la velocidad solicitada sea menor a esta, el ABS también debe garantizarla.

Delay

- Latencia máxima: Intervalo de tiempo máximo entre la recepción del paquete al ABS o AMS, y el reenvío de la SDU (Service Data Unit) a la interfaz aérea. El valor del parámetro debe garantizarse por la red, si se precisa.

Jitter

- Jitter tolerado: Máximo retardo para una conexión en segundos. En caso de que se especifique, debe garantizarse por el ABS. La latencia máxima y jitter tolerado son codificados conjuntamente por una palabra de 6 bits.

Prioridad

- Prioridad de tráfico: Determina la prioridad de un service flow (Un service flow es un flujo de paquetes unidireccional con parámetros QoS especificados).

Estos parámetros se pueden clasificar en hard y soft. Los parámetros hard son aquellos que garantizan los valores especificados por la red, si así se especifica, entre ellos están mínimo tráfico de reserva, latencia máxima y jitter tolerado. Los parámetros soft son los que se cumplen estadísticamente o con el “best effort” de la red. Entre los parámetros soft se encuentran máximo tráfico sostenible y prioridad de tráfico.

➤ Clasificación

Se refiere al proceso de mapping de un MAC SDU en una conexión de transporte para ser transmitida entre pares MAC. Una conexión de transporte está asociada a un service flow que define las restricciones QoS de la conexión de transporte y determina el tratamiento que se le da al SDU.

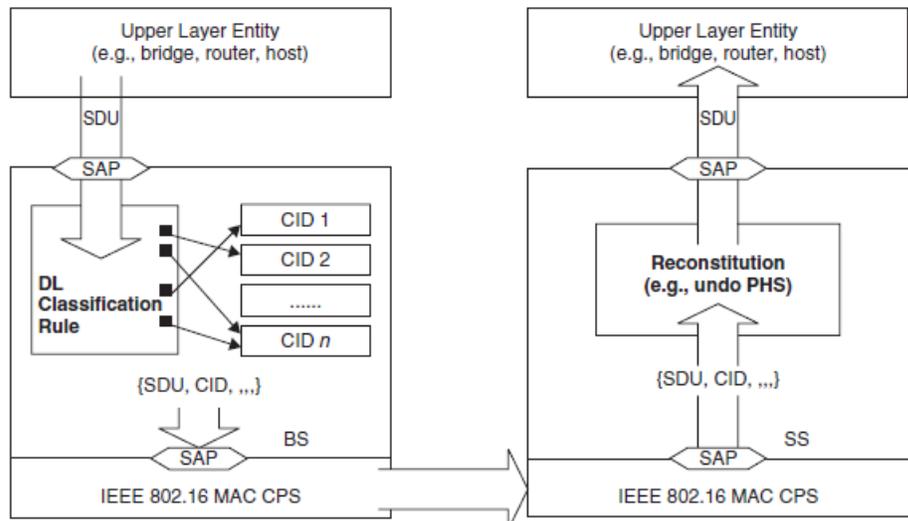


Figura 18. Clasificación y mapping CID del ABS al AMS.

Los paquetes que entran al sistema son clasificados y asociados con una conexión y un SF (service flow) bajo ciertas reglas de clasificación. Cada una de estas reglas indica cómo deben ser relacionados los paquetes con las conexiones y SFs. Los criterios que son utilizados para este proceso son: origen y destino del paquete, prioridad de reglas y un CID (Connection ID). Varias reglas de clasificación pueden servir a un solo SF. Paquetes que no queden relacionados con ningún CID se descartan. La Figura 18 y 19 muestran la clasificación y el mapping CID.

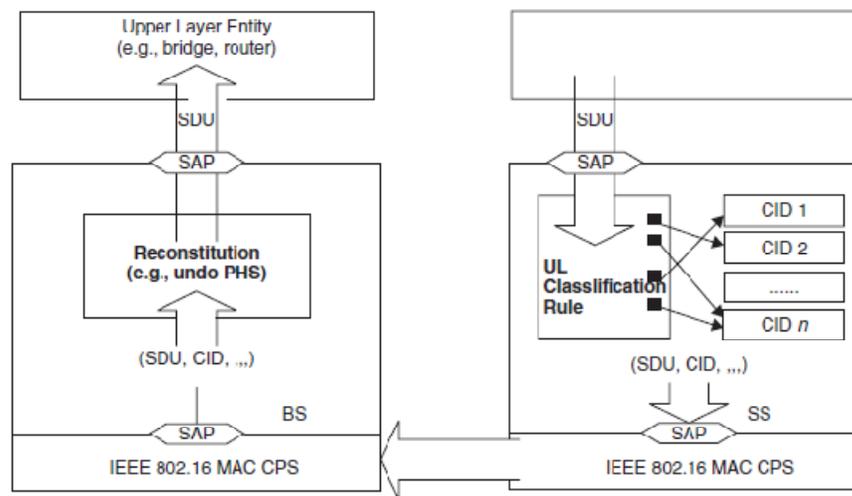


Figura 19. Clasificación y mapping CID del AMS al ABS.

Dependiendo de la relación con la conexión, los SFs pueden ser de 3 tipos:

- SF aprovisionado: Esta asociado al parametro ProvisionedQoSParamSet. No tiene conexiones asociadas, para que esto ocurra primero debe ser admitido.
- SF admitido: Esta asociado al parametro AdmittedQoSParamSet, el cual lo utiliza el ABS para asignar recursos al SF con base en los parámetros QoS. Estos parámetros son máximo tráfico sostenible, minimo tráfico reservado, prioridad de tráfico, jitter tolerado y latencia máxima. Estos parámetros se definen de acuerdo al tipo de flujo. Cuando el tráfico no es en tiempo real no se define el jitter tolerado y la latencia máxima. Un SF admitido esta relacionado con una conexión de la red.
- SF activo: Esta asociado al parámetro ActiveQoSParamSet. Es un SF admitido con una conexión activa que tiene paquetes para transmitir.

Además de estos 3 tipos de SF, la enmienda IEEE 802.16m adiciona otro llamado SF de emergencia. Estos tienen mayor prioridad que el resto en la admisión. El

ABS concede recursos del sistema al AMS en respuesta al SF de emergencia sin completar todo el procedimiento de configuración por el que tienen que atravesar los demás SFs.

El proceso de activación de un SF admitido es un modelo de activación de 2 fases. En la primera fase los recursos son suministrados al SF, pero estos recursos no se utilizan hasta que haya paquetes listos para transmitir. La segunda fase comienza cuando la conexión está establecida, lo cual ayuda a no desperdiciar los recursos de la red.

Una conexión y un SF necesitan ser admitidos para que el transporte de tráfico pueda ser utilizado, estos pueden alterados o eliminados, una de las alteraciones puede ser el cambio de ancho de banda. La solicitud de cambio de ancho de banda se procesa en un módulo de autorización del ABS. La operación es en modo estático o dinámico. En modo estático, el modulo supervisa SF aprovisionados, mantiene su estado y permite la admisión de SFs si los parámetros de estos son subconjuntos de los parámetros QoS aprovisionados. Para que SF aprovisionado se convierta en un SF activo, los parámetros QoS deben ser un subconjunto de los parámetros QoS aprovisionados. En modo dinámico, se conecta a un policy server que se llama para procesar cualquier solicitud de admisión o activación. El policy server corrobora si el `AdmittedQoSParamSet` o `ActiveQoSParamSet` es un subconjunto de los parámetros propuestos por el policy server. Si esto sucede la solicitud es aceptada, sino es rechazada.

Los SFs se pueden agregar por medio de service class. Un service class se identifica por un conjunto único de requisitos QoS. En un service class las conexiones pueden tener distinto requisitos QoS. Los operadores de red deben gestionar los service classes ya que el estándar no define cuantos deben utilizarse ni especifica ninguno.

Los servicios scheduling agrupan los SFs o los service classes. El estándar establece 5 scheduling services:

- UGS (Unsolicited Grant Service): Soporta SFs UL en tiempo real que transportan paquetes de datos periódicos de tamaño fijo como VoIP sin supresión de silencios. Este tipo de scheduling proporciona entregas de tamaño fijo y en tiempo real de forma periódica. Elimina los gastos de recursos y la latencia ocasionados por las solicitudes de ancho de banda y asegura los parámetros de tiempo real requeridos por el SF. El ABS otorga ancho de banda dependiendo del Mínimo Tráfico Reservado, el cual comúnmente es el Máximo Tráfico Sostenible. Un AMS utilizando UGS no se le permite utilizar slots de contención para solicitar oportunidades de transmisión para este tipo de servicios. Se permite que el AMS coloque un bit SI (Slip Indicator) el cual le indica al ABS que la cola de transmisión se ha excedido. Cuando se recibe el indicador SI, el ABS le da mas recursos a las tramas subsiguientes. Un AMS también puede usar campos como FL (Frame Latency) y FLI (Frame Latency Indicator) para una latencia desproporcionada.
- RtPS (Real Time Polling Service): Soporta servicios en tiempo real con paquetes de tamaño variable, como videos MPEG (Moving Pictures Experts Group). El ABS asigna oportunidades de solicitudes unicast periódicamente para que los SSs (Subscriber Stations) tengan oportunidades de transmisión en este scheduling service. Estas solicitudes pueden ser aceptadas o denegadas por el ABS dependiendo de las capacidades de la red. Los AMSs solo se les permite usar las oportunidades de solicitud unicast o añadir una solicitud a un PDU, no se les permite usar solicitudes de contención para este tipo de servicio.

- Extended rtPS: Soporta paquetes de tamaño variable, como VoIP con supresión de silencios. Se asemeja al UGS, ya que otorga unicast de manera no solicitada. De la misma forma que el rtPS, el Extended rtPS tiene periódicamente oportunidades de solicitud unicast. Los requerimientos de ancho de banda se le pueden añadir a un PDU. Un AMS con Extended rtPS puede competir por una oportunidad de solicitud, también puede enviar una palabra CQICH (Channel Quality Indicator Channel) para informar al ABS que hay información para enviar.
- NrtPs (Non-real-time Polling Service): Soporta servicios con tolerancia al retardo que requieren asignaciones regularmente, como FTP. Funciona igual al rtPS y Extended rtPS en cuanto a oportunidades de solicitud de ancho de banda. Una diferencia entre estos dos y el nrtPS es que el polling que realiza el ABS a las conexiones tarda más que en el rtPS y el Extended rtPS (1 segundo o menos). En nrtPS se pueden utilizar oportunidades de solicitud de contención.
- BE (Best Effort Service): El servicio BE es el de más baja prioridad en la red. Provee pocas garantías QoS o ninguna. Un AMS con este scheduling service compite en la región del ancho de banda de contención para enviar su solicitud de ancho de banda al ABS. El ABS obedece a la solicitud si los recursos del sistema no están comprometidos con otros scheduling services. Un ejemplo de este tipo de servicio es HTTP.

➤ **Solicitudes de ancho de banda y concesiones**

Las solicitudes de ancho de banda en el IEEE 802.16m son transmitidos a través de indicadores o mensajes. Los mensajes pueden incluir información acerca de estado de la cola del AMS como el tamaño del buffer y QoS. En el IEEE 802.16m es posible modificar los parámetros QoS para SFs activas. El AMS y el ABS negocian el conjunto de parámetros QoS durante la configuración del SF. Cuando los valores QoS para el tráfico UL cambian, el ABS con autonomía toma la decisión de cambiar los parámetros QoS, como por ejemplo el intervalo de polling. Este cambio de parámetros también se puede dar debido a una señalización explícita del AMS.

➤ **Asignación de ancho de banda y manejo de tráfico**

El IEEE 802.16m no define algoritmos para redes avanzadas, ya sean simples o multihop. Un ARS puede operar en modo centralizado o distribuido. Un ABS realiza todo el schedule de su celda cuando se configura para operar en scheduling centralizado. En modo distribuido el schedule lo realiza el ABS o el ARS, pero los recursos de radio los asigna el ABS.

El mecanismo de control de errores ARQ (Automatic Repeat Request) opera de la misma forma que en el IEEE 802.16-2009. HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) es obligatorio en el IEEE 802.16m, puede ser de 2 tipos: combinación de paquetes y redundancia incremental. El HARQ es un mecanismo Stop-and-Wait de N canales que utiliza HARQ asíncrono en el DL y HARQ síncrono en el UL.

En HARQ asíncrono, el formato de transmisión y la asignación de recursos puede ser distinta a la transmisión inicial. El Schedule de cualquier transmisión lo hace el ABS y la asignación para retransmisiones es indicada al AMS mediante el mensaje de control A-MAP (Advanced allocation map). Cuando el AMS recibe el A-MAP, se identifica el DL burst de destino desde el ABS. El AMS debe enviar un

ACK si decodifico el busrt correctamente, sino el AMS envía un NACK (Negative ACK) al ABS y una retransmisión de los datos tiene que gestionarse por el ABS con un retardo máximo de retransmisión. Un HARQ burst es descartado si se alcanza una máximo de retransmisiones. Para tráfico constante, el cual tiene asignaciones persistentes en la transmisión inicial, las retransmisiones HARQ se presentan de manera no persistente, es decir, los recursos son asignados dinámicamente.

El HARQ síncrono es utilizado en el UL, la asignación de recursos para las retransmisiones pueden ser fijas o adaptables. Por defecto se tiene que los parámetros y recursos para la retransmisión están ya especificados, es decir, retransmisiones fijas. Se puede habilitar las retransmisiones adaptables en el UL, es decir, los parámetros de la retransmisión se dan explícitamente. Un AMS que se le asigna un ancho de banda UL, se le anuncia de la asignación mediante UL A-MAP. Si la decodificación del ABS es exitosa, el ABS envía un ACK al AMS, sino envía una NACK. En este último caso, el AMS procede con la retransmisión. Si en la retransmisión el AMS no recibe el UL A-MAP para el HARQ burst, el AMS transmite el PDU fallido con los recursos que le fueron asignados a el ultimo PDU con el mismo ID de conexión. Si existe el UL A-MAP, el AMS realiza la retransmisión HARQ como lo indica el UL A-MAP.

4.2.3 Gestión de movilidad

En el IEEE 802.16m existen 4 tipos de handover:

- R1 BS a R1 BS
- ABS a R1 BS

- R1 BS a ABS
- ABS a ABS

El estándar IEEE 802.16-2009 define el primero, el resto está definido en el IEEE 802.16m.

➤ **Handover de ABS a ABS**

Un AMS obtiene la topología de red mediante un escaneo o mediante anuncios realizados periódicamente por el ABS. Un anuncio ABS informa acerca de ABSs vecinos y R1 BSs. Un ABS puede enviar anuncios unicast. El ABS debe realizar las asignaciones correspondientes al AMS para que al AMS se le permita escanear la red. Los AMSs le pueden dar prioridad de escaneo a ciertos ABSs vecinos según algunas medidas. Una vez se tiene el reporte de estas medidas el AMS o la red decide el ABS objetivo para realizar el handover. Las reglas para él envió del reporte las establece el ABS.

Para que comience el procedimiento de handover debe ocurrir que: el AMS inicie el handover, o que un ABS ordene el handover; en cualquiera de los dos casos es posible que haya más de un ABS objetivo. Si el handover lo ordena el ABS y solo contiene un ABS objetivo, el AMS tiene que acogerse a esta selección. Un handover iniciado por un AMS hace que pare el flujo de datos DL del ABS y se cancelen las asignación UL. Si el mensaje de handover enviado por el AMS contiene más de un ABS objetivo, el AMS debe indicar su selección al ABS. El ABS determinara si es posible realizar el handover con dicha selección o con otros ABS objetivos. Si con ningún ABS objetivo seleccionado por el AMS se puede realizar el handover, el ABS escogerá uno nuevo.

Iniciación, preparación y ejecución son las 3 fases del handover:

- **Iniciación:** El AMS inicia el handover cuando envía el mensaje solicitándolo. En el caso en que el handover es obligado por el ABS, el comando enviado comienza tanto la iniciación como la preparación.
- **Preparación:** Si el ABS envía un comando con un solo ABS objetivo, termina la fase de preparación. Si el comando contiene más de un ABS objetivo, la preparación termina cuando el AMS envía la indicación del ABS objetivo. La preparación incluyen la comunicación entre los dos ABS a través del backbone para el envío de información y optimización del handover. Un comando de señalización de handover indica que tipo de información se transfiere al ABS objetivo, el tiempo de desconexión y el tipo de multiplexación en caso que el AMS vaya a mantener la conexión con los dos ABS durante el procedimiento de handover.
- **Ejecución:** El AMS comienza el procedimiento para entrar de nuevo a la red en el ABS objetivo. Si la conexión simultánea con los dos ABS no es compatible, el ABS de origen detiene asignaciones DL. En caso contrario, el AMS termina la comunicación con el ABS de origen cuando el AMS ha culminado el proceso de entrada al ABS objetivo.

El procedimiento puede ser cancelado en cualquiera de las 3 fases. El ABS y AMS retornarían a operación normal si el procedimiento es cancelado.

➤ **Handover mixtos**

Handover mixtos son aquellos que se dan entre sistemas heredados y avanzados, es decir, de R1 BS a ABS o de ABS a R1 BS. Para obtener la topología de red el R1 BS anuncia la información del sistema a los R1 BSs vecinos y LZones de los ABSs vecinos. El ABS anuncia la información del sistema a los R1 BSs, tanto en

los LZone como en los MZone, El ABS debe indicar que es un dispositivo avanzado a través del LZone.

Un R1 MS puede realizar un handover de R1 BS a ABS (más específicamente a un LZone ABS) objetivo utilizando la señalización y procedimientos establecidos en el IEEE 802.16-2009. Un AMS también puede pedir un cambio de LZone a MZone, después que se ha realizado el handover.

Para el handover desde ABS a R1 BS, el R1 MS procederá como lo indica el IEEE 802.16-2009. El AMS debe hacer uso de señalización y procedimientos de sistemas 16m pero la reentrada a la red se hará con procedimientos IEEE 802.1-2009. El mapping de la información necesaria entre el handover estará a cargo del ABS.

➤ **Inter-RAT Handovers**

El IEEE 802.16m propone la posibilidad de handovers con otras tecnologías como 3GPP, 3GPP2 y 802.11 pero los detalles de la señalización están fuera del alcance de esta enmienda. Un estándar donde se trata este tema es el IEEE 802.21 (Media Independent Handovers).

La red avanzada anuncia información acerca de otras tecnologías a través de broadcast o por solicitud. El sistema adquiere la información a través de un servidor. Esta información se puede enviar como broadcast a través del Network Boundary Indication.

5. APLICACIONES 4G

La generación 4G va a hacer posibles nuevas aplicaciones debido a las velocidades de transmisión que maneja y sus nuevos atributos. Una de las aplicaciones más interesantes es la videoconferencia en alta definición. Los nuevos teléfonos celulares capaces de tomar videos HD y las redes 4G hacen factible este servicio.

El sector de juegos de los dispositivos portátiles tendrá un cambio ya que se dispondrán servicios para jugar en modo multijugador. La transmisión no presentara retardos que presentaban las tecnologías anteriores.

Las aplicaciones de GPS y mapas ya existen, sin embargo las nuevas tecnologías le añaden nuevas características a estas aplicaciones, específicamente se tiene previsto lanzar aplicaciones GPS con realidad aumentada (Augmented Reality). Esto dará al usuario un cubrimiento del entorno físico en que se encuentra en tiempo real.

Los hospitales, colegios y comandos de policía se verán beneficiados de nuevos servicios para la atención de emergencias o servicios como la telemedicina.

6. CONCLUSIONES

La monografía presenta un resumen de las dos tecnologías consideradas de cuarta generación, específicamente WiMAX 2.0 y LTE-Advanced. La evolución de las redes inalámbricas se ha dado gracias a la combinación de varias tecnologías en vez de una sola tecnología revolucionaria. Un ejemplo claro de esto es LTE-Advanced. Por su parte, WiMAX alcanza altas velocidades de transmisión debido a que utiliza técnicas de acceso múltiple que hacen mejor uso del ancho de banda.

La velocidad meta de LTE-Advanced es de 1 Gbps y 500 Mbps para DL y UL, respectivamente. La meta de WiMAX 2.0 es de 1 Gbps y 300 Mbps para DL y UL, respectivamente. Debido a que estas velocidades son teóricas, estas no serán la principal razón para que los proveedores de servicios móviles tomen la decisión de adquirir entre una y otra tecnología, sino la facilidad de pasar entre la generación anterior (que ellos poseen) y la nueva (4G).

Ambas tecnologías proponen velocidades que en la actualidad son casi fantásticas, pero recordemos que las velocidades de transmisión actuales eran utópicas hace 10 años. Los servicios móviles cada día requerirán más ancho de banda y estos serán suplidos por nuevas tecnologías móviles.

BIBLIOGRAFÍA

DU KL., Swamy MN. Wireless Communication Systems: From RF Subsystems to 4G Enabling Technologies. Nueva York: Cambridge University Press; 2010.

Ahmadi, S. Mobile WiMAX: A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology. Elsevier; 2011.

Taha, AE., Hassanein HS., Ali NA. LTE, LTE-Advanced and WiMAX: Towards IMT-Advanced Networks. John Wiley & Sons; 2012.

Agilent Technologies. Introducing LTE-Advanced. 2011.

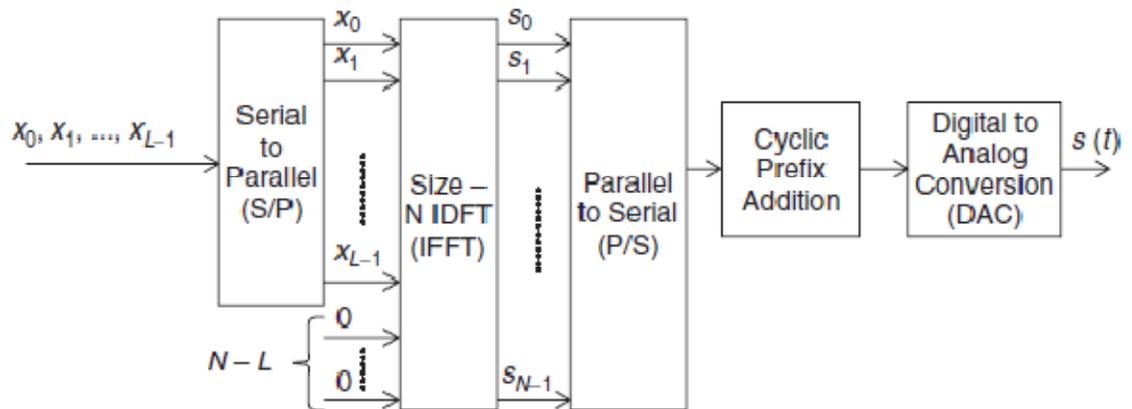
Akyildiz IF., Gutierrez DM., Reyes E. The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced. Elsevier; 2010.

ANEXO A

OFDMA

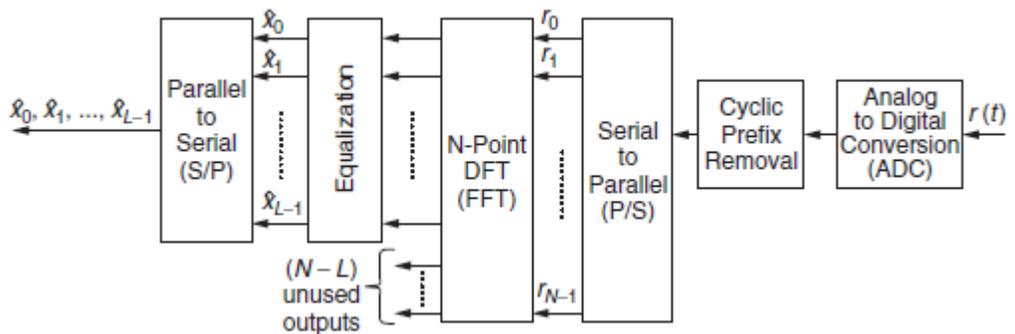
El único método de acceso múltiple que utiliza WiMAX es OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Acces), tanto para el enlace de subida como para el de bajada. Para entender esta técnica primero debemos revisar el OFDM.

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) es una técnica de multiportadora para la codificación de datos digitales. Permite altas velocidades de transmisión con una complejidad de ecualización y detección aceptables. Como su nombre lo indica consiste en la transmisión de frecuencias subportadoras ortogonales. La Figura muestra como es construido un bloque OFDM. Un secuencia L de símbolos x_0, x_1, \dots, x_{L-1} , modulados son convertidos a paralelos para que se les aplique la N transformada rápida de Fourier inversa (IFFT). La diferencia $N-L$ es rellenada con ceros. Luego las salidas s_0, s_1, \dots, s_{N-1} , son convertidas a serie y se les adiciona el CP (Cyclic Prefix). El bloque terminado se convierte a análogo para ser transmitido. La figura siguiente muestra lo descrito.



Modulación OFDM mediante IFFT.

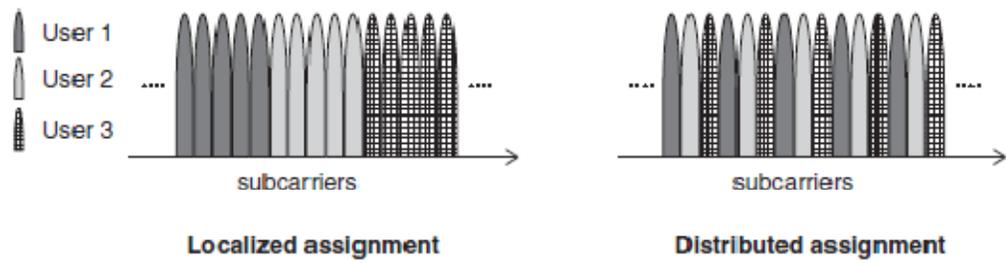
La demodulación OFDM invierte el proceso. Cuando se recibe la señal analógica, esta se convierte a digital y se le quita el CP. Luego se convierte a N canales paralelos para aplicarle la N transformada rápida de Fourier, y por último se convierte a serie. La figura siguiente muestra el proceso.



Demodulación OFDM.

Para que múltiples usuarios se conecten a un BS (Base Station) en una red OFDM se requiere TDMA (Time Division Multiple Access). Esto debe ser así porque todas las subportadoras se le asignan a un solo usuario, por lo tanto cada uno debe tener el conjunto de las subportadoras por turnos. OFDMA, por el contrario, asigna subconjuntos de subportadoras de todo el ancho de banda a cada uno de los usuarios. El ancho de banda se divide en M subconjuntos, cada uno con L subportadoras. Por lo tanto, M usuarios pueden estar conectados al mismo tiempo.

La asignación de subportadoras puede ser localizada o distribuida. La Figura muestra los dos tipos de asignación. En la distribuida, subportadoras del mismo usuario están entre subportadoras de otros. En la localizada, subportadoras del mismo usuario están ubicadas una contigua a la otra. Cada asignación puede aprovecharse de forma distinta. En la asignación distribuida se puede evitar que varias subportadoras del mismo usuario se desvanezcan. La asignación localizada sirve para otorgar canales con buenas condiciones a ciertos usuarios.



Asignación localizada y distribuida.