



Universidad del Aconcagua

Práctica Profesional

Facultad de Ciencias Sociales y Administrativas

Licenciatura en Telecomunicaciones

Proyecto:

Análisis comparativo de tecnologías de red LTE y LTE Advanced con posibles técnicas de migración aplicadas en un área urbana de Mendoza, Argentina.

Tutor: Ing. Guillermo Sandez

Alumno: Marcos Antonio Argüello

Legajo: 19478

Año: 2016

Calificación:

INDICE

	Página
Resumen Técnico	7
Capítulo I.....	8
Marco referencial	8
1.1 Introducción	9
1.2 Planteo del problema	10
1.3 Objetivos del Proyecto.....	11
1.4 Alcances y límites	11
1.6 Viabilidad	12
Capítulo II.....	13
Tecnologías celulares	13
2.1 Introducción a las generaciones móviles	14
2.1.1 Primera generación 1G	14
2.1.2 Segunda generación 2G	15
2.1.3 Generación 2.5G.....	15
2.1.4 Tercera generación 3G.....	15
2.2 Long Term Evolution (LTE, Evolución a Largo Plazo)	15
2.2.1 Introducción	16
2.2.2 Arquitectura Long Term Evolution	16
2.2.3 Arquitectura general del sistema LTE.....	18
2.2.3.1 Arquitectura de E-UTRAN	21
2.2.3.2 Entidades de red e interfaces.....	22
2.2.3.3 Protocolos	23
2.2.3.4 Protocolos en la interfaz radio.....	23
2.2.3.5 Protocolos en las interfaces S1 y X2.....	24
2.2.3.6 Plano de usuario entre UE y EPC	26

2.2.3.7 Plano de control entre UE y EPC	27
2.2.4 Red troncal de paquetes evolucionada: EPC	28
2.2.4.1 Entidades de red de EPC:	28
2.2.5 IP Multimedia Subsystem (IMS)	30
2.2.6 Equipos de usuario	31
2.2.7 Interfaz radio	32
2.2.7.1 Capa física	34
2.2.7.2 Señales y canales físicos en los enlaces ascendentes y descendentes	36
2.2.7.2.1 Enlace descendente	36
2.2.7.2.2 Enlace ascendente	37
2.3 Tecnologías a nivel físico. OFDMA, SC-FDMA y MIMO	38
2.3.1 OFDMA	38
2.3.2 SC-FDMA	40
2.3.3 MIMO	42
Capítulo III	44
LTE-A:	44
3.1 Introducción	45
3.1.2 Requerimientos LTE Advanced según IMT	45
3.2 Bandas de frecuencias	48
3.3 Arquitectura	50
3.4 Características LTE-A	50
3.4.1 Agregación de portadoras	50
3.4.2 Mimo en LTE Advanced	51
3.4.2.1 Mimo en Downlink	54
3.4.2.2 Mimo en Uplink	55
3.5 Red de Nodos “Relay”	57
3.5.1 Tipos de nodos Relay	60
Capítulo IV	62

Desarrollo	62
4.1 Evolución a nuevas tecnologías de comunicaciones	63
4.2 Comparativa de tecnología Long Term Evolution y LTE Advanced	68
4.3 Despliegue actual de una red de referencia LTE en un área específica (Ciudad de Mendoza).	74
4.4 Técnicas de migración desde una red LTE V.8 a LTE-A V.10	84
4.5 Rediseño de la RED LTE/LTE-A.	100
5 Conclusión:	106
6 Glosario	108
7 Bibliografía:	112
8 Anexos:.....	115
8.1 Anexo 1: Despliegue LTE ARGENTINA, Esquema de Conectividad IP.	115
8.2 Anexo 2: LTE ARGENTINA Kickoff, Nokia. ⁹²	120

Resumen Técnico

La presente Tesina plantea un análisis comparativo de tecnologías de red móvil Long Term Evolution, en sus variantes LTE y LTE-A, y los pasos necesarios para una posible migración de red. Se detallan las características principales de cada uno de los estándares, analizando los cambios que propone el nuevo estándar de comunicaciones LTE-Advanced sobre su antecesor.

Para describir la posible implementación o migración de la tecnología, se utiliza la ciudad de Mendoza - Argentina como escenario principal, y se realiza un análisis de la infraestructura actual tomando una red existente LTE como caso de estudio. Se describen las posibles técnicas de migración o convergencia entre ambos estándares.

El objetivo principal de esta Tesina es estudiar y comprender detalladamente las mejoras que plantea un cambio de tecnología por el nuevo estándar de comunicaciones LTE Advanced. Se hace hincapié en los cambios necesarios en la arquitectura de la red móvil para lograr dicha migración, tomando como referencia la red disponible actualmente en la Ciudad de Mendoza - Argentina.

Capítulo I

Marco referencial

1.1 Introducción

Debido al constante crecimiento en el uso de los dispositivos móviles (Smartphone, PDA's y Tablets), la evolución de los mismos para soportar mejores prestaciones en cuanto al rendimiento (Hardware, aplicaciones) y además el ingreso del uso masificado de las llamadas "Redes sociales", se genera una gran necesidad en cuanto a mejoras en la calidad y fiabilidad de las redes de comunicaciones, como así también en velocidad de transmisión de datos y un ancho de banda superior. Un ejemplo del crecimiento se observa en la cantidad de líneas activas por habitante. En octubre de 2014, los dispositivos móviles superaron a la cantidad de habitantes en el mundo, totalizando más de 7.229 millones de líneas activas.¹

Como consecuencia de esto, las redes celulares deben evolucionar constantemente, acompañando al crecimiento de la demanda de nuevos servicios y prestaciones que los usuarios requieran. Dichas redes han evolucionado cambiando las técnicas empleadas como son: los esquemas de modulación, uso de técnicas de multiplexación, actualizar la infraestructura de las redes existentes, con el objetivo de alcanzar mejores velocidades de transmisión de datos.

Una de las tecnologías de comunicaciones que permite, entre otras cosas, una mejor utilización de los recursos, y que se encuentra en pleno despliegue a nivel mundial en estos últimos años, son las redes de comunicación LTE (Long Term Evolution), comercialmente conocidas bajo el término de 4G.

Long Term Evolution es el nombre que la 3GPP ha dado a la línea evolutiva que abarca los sistemas de comunicaciones móviles GSM, GPRS, EDGE, UMTS y HSPA, y con la idea de llegar al estándar LTE-

¹ Tomado del sitio, <http://www.cba24n.com.ar/content/la-cantidad-de-celulares-activos-supera-la-poblacion-mundial>, visitado el día 27/07/16.

Advanced, LTE está caracterizado por ser un sistema de cuarta generación. Este plantea, entre varios objetivos, ofrecer velocidades pico por encima de los 100 Mbps en el enlace descendente y de los 50 Mbps en el ascendente. Además opera completamente con un método de envío de paquetes IP, ofreciendo todos los servicios sobre el protocolo IP, reduciendo los tiempos de latencia y permitiendo canalizaciones de hasta 20 MHz.

Los operadores de comunicaciones móviles se ven en la necesidad constante de buscar innovar sus redes, en muchos casos migrando sus equipos hacia los nuevos estándares de comunicaciones, implementando nuevas técnicas, cambiando en algunos casos la topología de la red.

1.2 Planteo del problema

Por lo expuesto anteriormente, se vislumbra un escenario de constante crecimiento tanto en el uso del ancho de banda actual, nuevos servicios y prestaciones requeridas (Servicios de streaming), así como la futura implementación de dispositivos cotidianos conectados a través de las redes de “Internet de las cosas”, entre otros. Esto plantea un problema en términos de limitaciones de las actuales conexiones de LTE, ya que en un futuro se necesitará un manejo de mayor tráfico de datos y un uso más eficiente de la red.

Esta constante demanda de redes móviles óptimas, para hacer frente a las necesidades del mercado, se traduce en muchos casos en la búsqueda de formas de optimizar las redes existentes, como pueden ser las posibles migraciones de las redes actuales hacia nuevos estándares de comunicaciones.

1.3 Objetivos del Proyecto

Objetivo General

El objetivo principal es definir con claridad los beneficios de la tecnología LTE Advanced sobre su antecesora, y establecer una metodología de migración desde la existente red LTE hacia este nuevo estándar, en un área específica.

Objetivos específicos

- Investigar y desarrollar los principales conceptos de la nueva tecnología LTE A.
- Analizar de manera detallada las ventajas de las tecnológicas de LTE Advanced sobre LTE.
- Determinar el diseño de una red de referencia LTE convencional para un área específica de referencia.
- Definir criterios mínimos de integración a respetar en una red LTE en la que se pretenda integrar LTE Advanced.
- Rediseñar para el caso de referencia de la Ciudad de Mendoza una arquitectura de red LTE A.

1.4 Alcances y límites

El alcance previsto será realizar un proceso de investigación de la nueva tecnología LTE y LTE A, y diseñar conceptualmente para una red

de referencia ubicada en un área de la ciudad de Mendoza, una migración entre ambas tecnologías.

No se harán estudios económicos para la implementación, ni estudios que sean referidos a implicaciones legales.

1.6 Viabilidad

Este avance tecnológico es viable, si se considera que en varias regiones del mundo LTE se encuentra activo y en constante evolución hacia LTE-A. Se calcula que en 2020, Long Term Evolution Advanced, será el sistema de comunicación mundial en materia de dispositivos móviles.

Capítulo II

Tecnologías celulares

2.1 Introducción a las generaciones móviles

La constante evolución de los teléfonos móviles ha permitido disminuir su tamaño y peso, desde el Motorola DynaTAC, el primer teléfono móvil en 1983 que pesaba 780 gramos, a los formatos actuales más compactos y con mayores prestaciones de servicios. El desarrollo de baterías más pequeñas y de mayor duración, pantallas con mayor definición, la incorporación de sistemas operativos celulares y aplicaciones de una gran gama de servicios y entretenimiento, hacen del teléfono móvil un elemento muy apreciado para la vida moderna.

Este avance tecnológico fue haciendo que estos equipos incorporen funciones que eran propios de diversos dispositivos, como juegos, reproducción de música, correo electrónico, SMS, agenda electrónica, fotografía digital y video digital, videollamadas, navegación por Internet y hasta Televisión digital.²

La aparición de nuevos servicios fue acompañado de una evolución de las conexiones celulares, para dar soporte a las nuevas prestaciones. En este caso se puede separar en “Generaciones celulares” o estándares de uso de protocolos y medios de transmisión, entre los cuales podemos identificar las siguientes generaciones previas a LTE (4G):

2.1.1 Primera generación 1G

Esta primera generación en telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era deficiente, presentaba una escasa velocidad (2400 baudios), la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad (Basadas en FDMA, Frequency Divison Multiple Access) y no existía seguridad. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System).

² Tomado del sitio, <http://cursos.aiu.edu/Tecnologias%20Moviles/PDF/Tema%201.pdf> , visitado el día 24/07/15

2.1.2 Segunda generación 2G

Esta siguiente generación arribó en 1990 y, a diferencia de la primera, se caracterizó por ser digital. Este estándar utiliza protocolos de codificación más sofisticados. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136), CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón. Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS (Short Message Service). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En los Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communications Services).

2.1.3 Generación 2.5G

La generación 2.5G ofrece capacidades adicionales para los sistemas 2G tales como son: GPRS (General Packet Radio System), HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), IS-136B, IS-95B, entre otros.

2.1.4 Tercera generación 3G

Los sistemas 3G alcanzan velocidades de hasta 384 Kbps permitiendo una movilidad total a usuarios viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores y alcanza una velocidad máxima de 2 Mbps permitiendo una movilidad limitada a usuarios caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. Entre las tecnologías contendientes de la tercera generación se encuentran UMTS (Universal Mobile Telephone Service), CDMA2000, IMT-2000, ARIB (3GPP), UWC-136, entre otras.³

2.2 Long Term Evolution (LTE, Evolución a Largo Plazo)

³ Tomado del sitio:

http://www.academia.edu/6042142/LECTURAS_La_evolucion%C3%B3n_de_la_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_La_guerra_de_los_celulares, visitado el día 24/07/15

2.2.1 Introducción

LTE es una tecnología de transmisión de datos, de banda ancha inalámbrica que fue principalmente diseñada para dar soporte al constante acceso de teléfonos móviles y de dispositivos portátiles a internet. El término LTE fue inicialmente desarrollado por la organización 3GPP (3rd Generation Partnership Project) quienes detectaron una gran necesidad de asegurar la competitividad del sistema 3G para el futuro, y así poder complacer a los usuarios que demandaban más calidad y mayor rapidez de servicio, cuyo objeto de estudio era la evolución de la red de acceso de UMTS, denominada como UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network). Formalmente, la nueva red de acceso recibe el nombre de E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) aunque muchas veces se utiliza también el término LTE en las especificaciones como sinónimo de E-UTRAN. Asimismo, en lo concerniente a la red troncal se denomina EPC (Evolved Packet Core).^{4 5}

2.2.2 Arquitectura Long Term Evolution

Características de la arquitectura LTE

La red troncal EPC (“Evolved Packed Core”) tiene su desarrollo a partir del año 2004 y hasta el 2009, durante ese tiempo se han desarrollado estudios que han permitido realizar los estándares que definen la arquitectura del núcleo de la red. Esta presenta varias ventajas con respecto a las tecnologías que se han desarrollado anteriormente para redes celulares, mejorando la latencia, el throughput y la capacidad de la red, además, el núcleo de la red presenta simplicidad en la

4 Tomado del sitio: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/106/105>, visitado el día 24/07/2015

5 Tomado del sitio: <http://www.areatecnologia.com/tecnologia/lte.html>, visitado el día 28/07/2015

arquitectura, optimiza el tráfico de los servicios, los cuales son totalmente basados en IP. De una manera muy simplificada se puede describir la arquitectura LTE como se puede apreciar en la Figura N°1, donde se observa la interacción de los eNodeB, a través de una red IP, con los gateway's que proporcionan comunicación y accesos a diversos servicios o redes, permitiendo una interacción entre la parte móvil y las otras redes con las que cuenta el ISP o incluso externas.

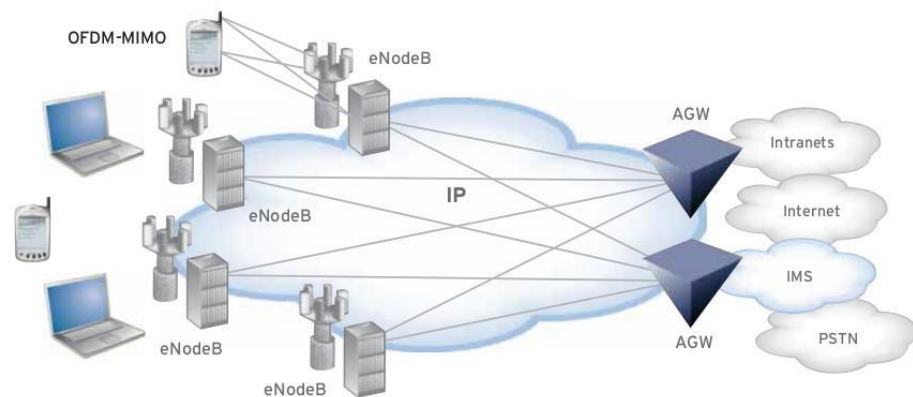


Figura N° 1: Arquitectura LTE.⁶

La arquitectura LTE consta de dos partes, Figura N° 2, la EPC y la EUTRAN (Envolved UTRAN). La EUTRAN es la parte de la red que se encarga de todas las funciones relacionadas a la interfaz de radio y el control de los móviles. Por otro lado, la EPC brinda acceso a otras redes de paquetes IP; además, es aquí donde se gestiona los aspectos relacionados a la seguridad, calidad de servicio, gestión de recursos y movilidad.

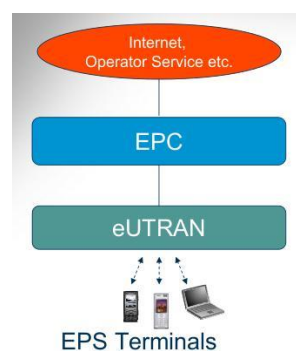


Figura N° 2: Arquitectura LTE simplificada.⁷

⁶ Fuente: <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>

2.2.3 Arquitectura general del sistema LTE

En las especificaciones se denomina a la arquitectura del sistema LTE como Evolved Packet System (EPS). La idea es la misma que en las otras generaciones, dividir el sistema en los tres elementos mencionados anteriormente: un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN y una red troncal que denominaremos EPC. Todos los componentes que engloban este sistema están diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no es necesario disponer de un dispositivo que trabaje en modo circuito ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes.⁸

La EUTRAN está compuesta por los eNodeB, tal como se observa en la Figura N°3, brindando aspectos de control de móviles y el manejo del medio, estos elementos de red se interconectan entre ellos por medio de interfaces X2. Los eNodeB interactúan con la EPC por medio de los MME (“Mobility Management Entity”) con interfaces S1 para el control de la movilidad, gestión y otros aspectos. Ambas son interfaces IP que además usan el protocolo SCTP (“Stream Control Transmission Protocol”).

Por otro lado, algunas de las funciones del eNodeB son:

- Funciones de gestión de recursos de radio como conexión, control de admisión de radio y control de movilidad en el plano de usuario.
- Compresión de encabezados IP y encriptación de datos de usuario.
- Enrutamiento en el plano de usuario.
- Transmisión de información broadcast.
- Reportes de configuración para movilidad.

Las funciones de la MME son las siguientes:

- Proveer señalización, seguridad y control de la seguridad.

7 Fuente: <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>

8 Tomado del sitio: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%EDtulo+2+--+LTE.pdf>, visitado el día 28/07/2015

- Proveer señalización entre los nodos para gestionar la movilidad entre nodos.
- Es el encargado de administrar tarifas para cobros.
- Gestiona la movilidad entre otras redes como 2G y 3G.

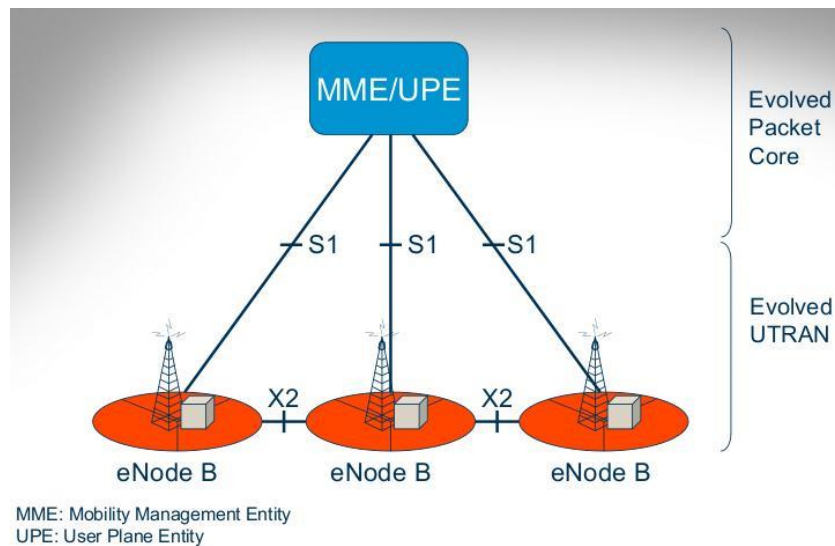


Figura N°3: Interfaces entre eNodeB y MME.⁹

Una visión más amplia de la arquitectura planteada por LTE se muestra en la Figura N°4, donde se aprecia la interacción de LTE con diversos tipos de redes como GSM, UMTS, IP y otras. En color naranja se presentan los bloques funcionales los cuales son: los eNodeB, MME y SAE GW (También denominado SWG, “Serving Gateway”), en este último bloque se han incluido el PGW (PDN Gateway, “Public Data Network Gateway”). El dicha figura las líneas continuas representan el flujo de datos por medio de las interfaces correspondientes y las líneas discontinuas se representa la señalización entre los diferentes bloques funcionales o equipos.

⁹ Fuente: <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>

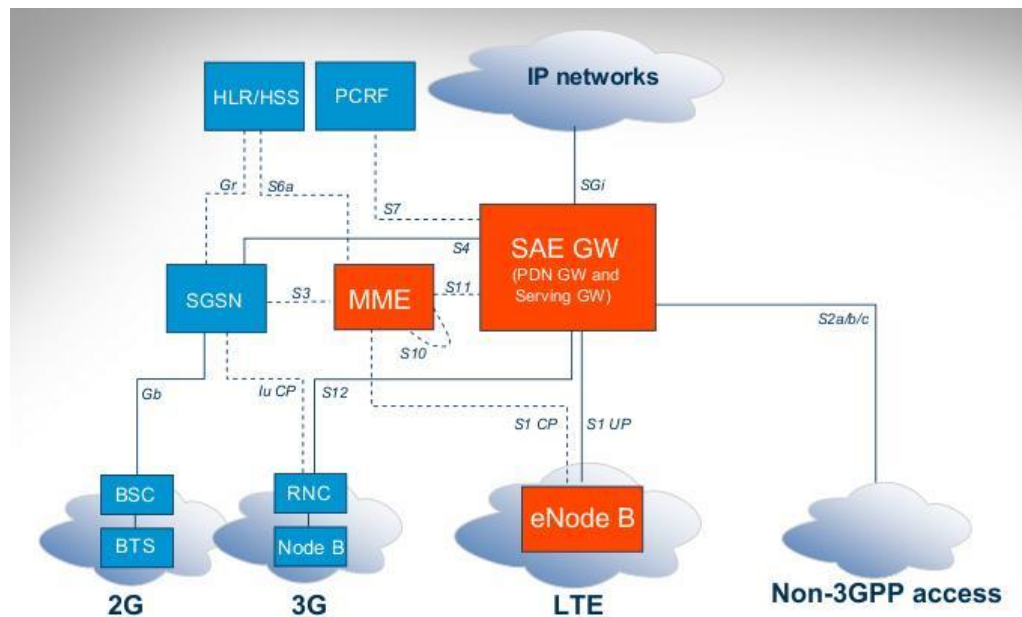


Figura N°4: Arquitectura LTE interconectada con otras redes.¹⁰

El MME obtiene información del abonado a través de la información almacenada en el HSS para autorizar al usuario el uso de los servicios a los que tiene acceso. El MME autentica, autoriza y selecciona el PDN (“Public Data Network”) apropiado para establecer el enlace entre el EUTRAN a las redes o servicios externos, al mismo tiempo gestiona la movilidad y obtiene información de cobro. El MME proporciona conectividad entre el eNodeB y una red GSM o UMTS a través del SGSN (“Serving GPRS Support Node”). En general se puede decir que MME tiene toda la responsabilidad por las operaciones concernientes al plano de control, además de ser el primer contacto de LTE con GSM o UMTS

El SGW es controlado por el MME, es un punto donde se monitorizan las políticas de conexión y servicio establecidas en el PCRF (“Policy and Charging Rules Function”) para poder administrar QoS, además es responsable de la organización del tráfico y los buffers para almacenamiento de paquetes. El PGW gestiona la asignación de direcciones IP a los UE (“User Equipment”), tiene que ver con todo lo

¹⁰ Fuente: <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>

relacionada a la inspección de paquete IP y realiza las funciones que en GSM realizaba el GGSN (“Gateway GPRS Support Node”) pero además tiene la función de control de la movilidad. Por otro lado, el HSS almacena y administra todo lo relacionado a los datos de suscripciones de los usuarios.¹¹

2.2.3.1 Arquitectura de E-UTRAN

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada evolved NodeB (eNodeB) la cual constituye la estación base de E-UTRAN. De esta manera, la estación base E-UTRAN integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso de GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS, NodoB) y equipos controladores (BSC y RNC). La descripción de la arquitectura de E-UTRAN se detalla en las especificaciones del 3GPP TS 36.300 y TS 36.401.

Tal y como se ilustra en la Figura N° 5, una red de acceso E-UTRAN está formada por eNodeBs que proporcionan conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC. Un eNodeB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

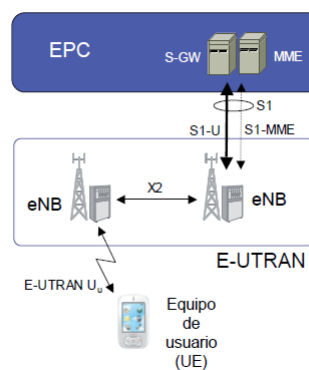


Figura N° 5: Red de acceso E-UTRAN.¹²

¹¹ Tomado del sitio: <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>, visitado el día 28/07/2015

¹² Fuente: Revista Telemática. Vol. 12. No. 2, mayo-agosto, 2013. ISSN 1729-3804

2.2.3.2 Entidades de red e interfaces

La interfaz E-UTRAN Uu, también denominada LTE Uu o simplemente interfaz radio LTE, permite la transferencia de información por el canal radio entre el eNodeB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operativa de la interfaz E-UTRAN Uu se implementan en el eNodeB.

El eNodeB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario. La separación entre plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE.

El plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz (Paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U). El plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente (Configuración de la operativa del eNodeB desde la red EPC a través de S1-MME).

Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNodeB con dos nodos diferentes de la red troncal. De esta manera, mediante la interfaz S1-MME, el eNodeB se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control (Mobility Management Entity o MME). Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNodeB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario (Serving Gateway o S-GW). Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario, es una característica importante de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

Opcionalmente, los eNodeBs pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNodeB intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio (Un ejemplo sería la información para reducir interferencias entre eNodeBs), así como también tráfico de los usuarios del sistema cuando éstos se desplazan de un eNodeB a otro durante un proceso de handover.¹³

2.2.3.3 Protocolos

Las torres de protocolos utilizadas en las tres interfaces de E-UTRAN (radio, S1 y X2), se estructuran en torno a un plano de usuario y un plano de control. El plano de usuario abarca los protocolos utilizados para el envío del tráfico (Paquetes IP) correspondientes a los servicios a los que acceden los terminales a través de la red. El plano de control se refiere a los protocolos necesarios para sustentar las funciones y procedimientos en las diferentes interfaces.

En el apartado siguiente se detallan los protocolos utilizados en las diferentes interfaces

2.2.3.4 Protocolos en la interfaz radio.

El envío de paquetes IP entre el eNB y un equipo de usuario a través de la interfaz radio se sustenta en una torre de protocolos formada por una capa de enlace (O capa de nivel 2) y una capa física. La torre de protocolos utilizada se muestra en la Figura N°6. La capa de enlace se desglosa a su vez en tres subcapas: Packet Data Convergence Protocol (PDCP), Radio Link Control (RLC) y Medium Access Control (MAC). Cada capa/subcapa de la torre de protocolos se ocupa de un conjunto de funciones en concreto y define el formato de los paquetes de datos (Cabeceras y colas) que se intercambian entre entidades remotas.

En el siguiente apartado se describen las principales características de las diferentes capas/subcapas.

¹³ Tomado del sitio: <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>, visitado el día 28/07/2015

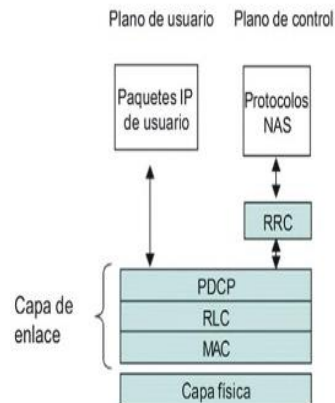


Figura N°6: Protocolos de la interfaz de radio de E-UTRA. ¹⁴

2.2.3.5 Protocolos en las interfaces S1 y X2.

La estructura de protocolos utilizada en E-UTRAN para soportar las interfaces S1 y X2 establece una separación entre la capa de red de radio (Radio Network Layer, RNL) y la capa de red de transporte (Transport Network Layer, TNL), tal como ya introdujo la red UMTS. Esta división tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas de los sistemas de comunicaciones móviles (UMTS o LTE) de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (IP, ATM). De esta forma, los protocolos específicos de la red de acceso de radio constituyen la capa RNL, mientras que la capa TNL alberga los protocolos utilizados para el transporte de la información de la capa RNL entre las entidades de la red. En la Figura N° 7 se observa la arquitectura de protocolos de las interfaces S1 y X2 y la separación entre las capas TNL y RNL en E-UTRAN.

¹⁴ Fuente: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/117/113>

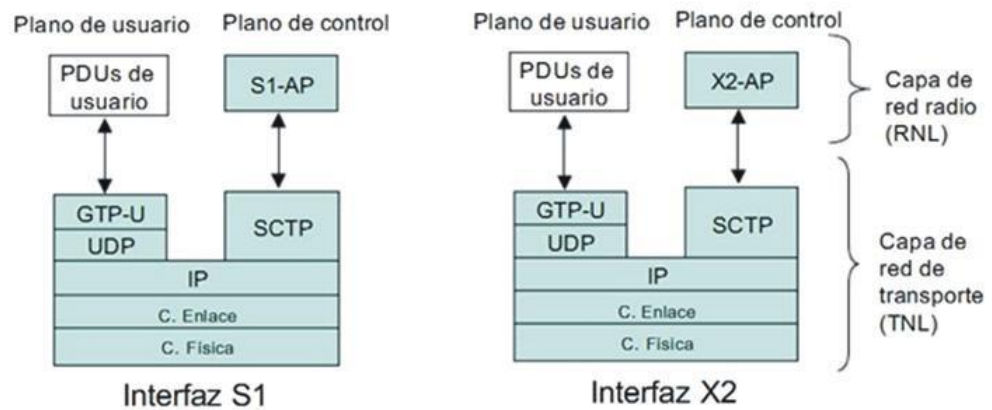


Figura N°7: Protocolos de las interfaces S1 (Izquierda) y X2 (Derecha).¹⁵

Tanto el plano de usuario de la interfaz S1 (S1-U) como el de la interfaz X2 utilizan el protocolo de encapsulado GTP-U (GPRS Tunneling Protocol User Plane) para el envío de paquetes IP de usuario.

El protocolo GTP-U es un protocolo heredado de GPRS que en redes GSM y UMTS se utiliza dentro del dominio de paquetes de la red troncal (Por ejemplo, en la interfaz entre SGSN y GGSN), así como en el plano de usuario de la interfaz Iu-PS de la red de acceso UTRAN. En las interfaces S1-U y X2, el protocolo GTP-U se transporta sobre UDP/IP y fundamentalmente se utiliza para multiplexar los paquetes IP de múltiples usuarios (Los paquetes IP de un determinado servicio portador se encapsulan con una determinada etiqueta identificador de túnel). Finalmente, es importante destacar que los planos de usuario de ambas interfaces no contemplan mecanismos de entrega garantizada para la transferencia de los paquetes de usuario, ni tampoco mecanismos de control de errores o control de flujo.

Respecto al plano de control de la interfaz S1 (S1-MME o S1-C), la capa de red de radio consiste en el protocolo S1-AP (S1 - ApplicationPart). Este protocolo es el encargado de sustentar los procedimientos soportados en la interfaz S1 (Establecimiento de servicios portadores en el eNB, control del handover, paging). La

¹⁵ Fuente: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/117/113>

transferencia de los mensajes de señalización del protocolo S1-AP entre eNBs y MMEs se realiza mediante el servicio de transferencia fiable que ofrece el protocolo de transporte Stream Control Transmission Protocol (SCTP).

SCTP es un protocolo de transporte (Al igual que otros protocolos como TCP y UDP) de propósito general que fue concebido originalmente para el envío de señalización de redes telefónicas sobre redes IP. SCTP hereda muchas de las funciones contempladas en TCP a la vez que introduce importantes mejoras encaminadas a proporcionar mayor robustez y versatilidad en la transferencia de diferentes tipos de información. En particular, al igual que TCP, SCTP dispone de mecanismos de control de flujo y de congestión en la conexión, denominada asociación en SCTP.

Por otro lado, SCTP incorpora soporte para:

Multihoming: Las asociaciones soportan la transferencia a través de múltiples caminos entre los nodos participantes, es decir, los nodos participantes pueden disponer de múltiples direcciones IP.

Multistreaming: Múltiples flujos pueden enviarse en paralelo en el seno de una misma asociación.

El envío de la información se estructura en base a mensajes, a diferencia del protocolo TCP que trata la información como una secuencia de bytes.

Estas nuevas capacidades son las que hicieron que en 3GPP se optara por la utilización de este protocolo, en lugar de TCP, para implementar el plano de control de las interfaces S1 y X2 de E-UTRAN.

2.2.3.6 Plano de usuario entre UE y EPC

Atendiendo a la descripción realizada en los anteriores apartados, en la Figura N° 8 se ilustra el plano de usuario completo de E-UTRAN para el envío de paquetes IP entre el equipo de usuario (UE) y la red troncal (S-GW). Los paquetes IP contienen la información correspondiente al servicio que el usuario está utilizando (Voz, video, datos) así como la señalización a nivel de aplicación (Protocolos SIP, RTCP). El eNB realiza funciones de “relay” entre la torre de protocolos

PDCP/RLC/MAC/PHY de la interfaz radio y la torre de protocolos de la interfaz S1-U. Es importante destacar que el eNB no realiza ninguna decisión de encaminamiento a partir de la información contenida en las cabeceras IP de los paquetes de usuario sino que simplemente se ocupa de su transferencia entre las dos interfaces atendiendo a los servicios portadores establecidos.

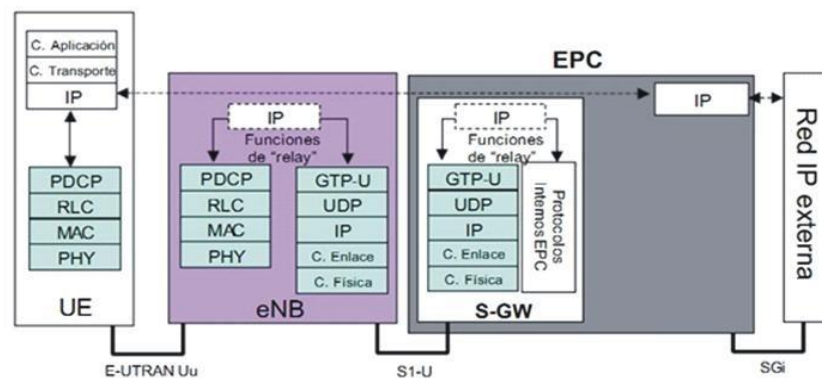


Figura N°8: Protocolos del plano de usuario en E-UTRAN.¹⁶

2.2.3.7 Plano de control entre UE y EPC.

En la Figura N° 9 se ilustra la torre de protocolos del plano de control para el envío de señalización NAS entre el equipo de usuario y la red troncal. Los protocolos NAS se transportan encapsulados (De forma transparente) dentro de mensajes RRC en la interfaz radio y en mensajes S1-AP en la interfaz S1-MME.

El eNB realiza las funciones de “relay” necesarias entre ambas torres de protocolos.

¹⁶ Fuente: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/117/113>

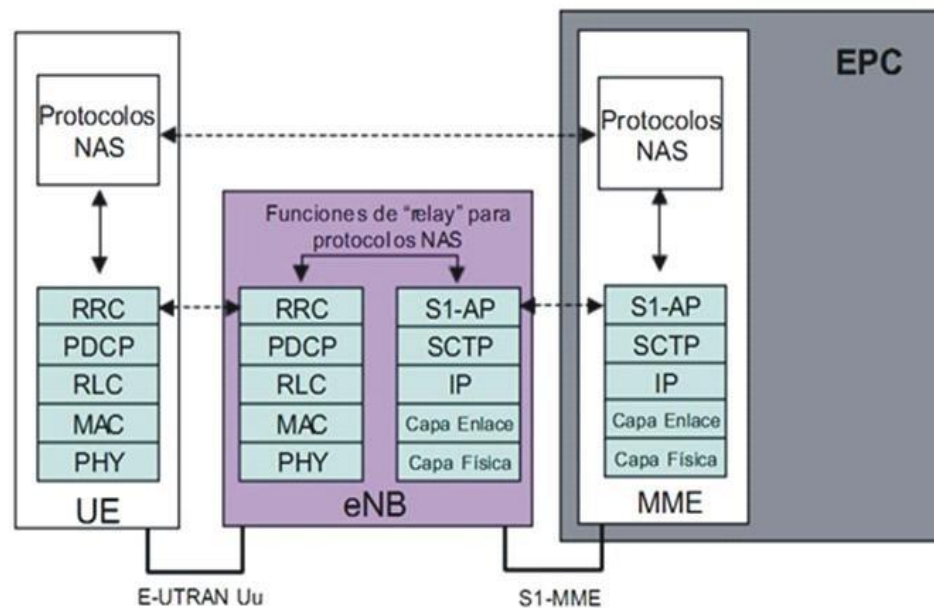


Figura N°9: protocolos del plano de control en U-ETRAN. ¹⁷

2.2.4 Red troncal de paquetes evolucionada: EPC

Esta red ha sido concebida para proporcionar un servicio, como decíamos en la introducción, "all-IP", es decir con conectividad IP.

El núcleo de la red troncal EPC está formado por tres entidades de red, MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y el Packet Data Network Gateway (P-GW). Estos junto a la base de datos principal del sistema denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos principales para la prestación del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

2.2.4.1 Entidades de red de EPC:

- **MME:** Es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea

accesible a través de E-UTRAN tiene una entidad MME asignada. Esta elección de MME se realiza dependiendo de varios aspectos, tales como la ubicación geográfica del terminal en la red, así como a criterios de balanceo de cargas.

Las principales funciones de esta entidad son:

- Autenticación y autorización de acceso de los usuarios, siempre a través de EUTRAN.
- Gestión de los servicios portadores EPS (EPS Bearer Service). Esta entidad es la encargada de gestionar la señalización que se necesita para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores.
- Gestión de movilidad de los usuarios en modo idle (Terminales que no tienen establecida ninguna conexión de control con E-UTRAN pero están registrados en la red LTE).
- Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y otras redes externas.
 - S-GW: Es la pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Igual que en la entidad MME, todo usuario registrado en la red LTE tiene asignado una entidad S-GW en la red EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. Sus características principales son:
 - Proporciona un punto de anclaje en la red EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs. La funcionalidad de anclaje también se aplica a la gestión de la movilidad con las otras redes de acceso del 3GPP (UMTS y GSM).
 - Almacena temporalmente los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo idle.
 - Encaminamiento del tráfico de usuario. Esta entidad albergará la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida hacia la pasarela P-GW que corresponda y el tráfico de bajada hacia el eNB.
 - PDN Gateway (P-GW): Es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas. Por lo tanto, un paquete IP generado en la red LTE resulta “invisible” en la red externa, a través de la entidad P-GW, la cual actúa como una pasarela entre una red y otra. Un usuario tiene asignada como

mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE. Las principales características de esta entidad de red son:

- Aplicación de reglas de uso de la red y control de tarificación a los servicios portadores que tenga establecidos el terminal.
- La asignación de la dirección IP utilizada por un terminal en una determinada red externa se realiza desde la pasarela P-GW que corresponda.
- Actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes externas no 3GPP (WiMAX, WiFi, CDMA2000).
- El tráfico IP que transcurre por la pasarela P-GW es procesado a través de un conjunto de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio portador EPS que corresponda.
 - HSS: Es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. La información almacenada relativa a la suscripción del usuario y necesaria para la operatividad de la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (Desde el MME de red troncal EPC y también desde servidores de control del subsistema IMS, los cuales serán explicados más adelante). Entre la información almacenada en la HSS que podemos encontrar identificadores universales del usuario, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red. HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas en redes GSM y que se denominan HLR y AuC, a las cuales se les han añadido funcionalidades adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE. ¹⁸

2.2.5 IP Multimedia Subsystem (IMS)

Es un subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia a los usuarios de la red LTE, basados en la utilización del protocolo IP.

¹⁸ Tomado del sitio: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%EDtulo+2+--+LTE.pdf>, visitado el día 30/07/2015.

La idea es desplegar una infraestructura constituida por una serie de elementos tales como servidores, base de datos, pasarelas, que se comunicarán entre sí mediante una serie de protocolos, la mayoría estándares del IETF, los cuales permiten ofrecer servicios de voz y video sobre IP, videoconferencia, mensajería instantánea, etcétera. El acceso a estos servicios por parte de los terminales de usuario se realiza a través de los servicios de conectividad que ofrece la red LTE. La prestación de estos servicios por parte del IMS pretende sustituir a medio y/o largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito.

El modelo de prestación de servicio en base al subsistema IMS se estructura en tres capas:

- Capa de transporte: Representa la infraestructura de red IP que depende de la tecnología de acceso, que proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.

- Capa de control: En esta capa se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones, como servidores SIP y otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (Pasarelas VoIP, controladores).

- Capa de aplicación: En esta capa residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En esta capa también se presentan elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes.

El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización SIP complementando con una serie de extensiones adicionales. SIP es un protocolo que se concibió para el establecimiento y liberación de sesiones multimedia (Telefonía y videoconferencia) sobre redes IP entre dos o más participantes. Gracias a la flexibilidad de SIP, se logra abarcar una gama de aplicaciones mucho más extensa, como mensajería instantánea, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, entre otros.

2.2.6 Equipos de usuario

Es el equipo que permite al usuario conectarse a la red LTE y disfrutar de los servicios que proporcionan a través de la interfaz radio.

La arquitectura funcional de un equipo de usuario es la misma que se definió para GSM y UMTS.

El equipo de usuario (User Equipment, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM/USIM) y el terminal móvil propiamente dicho (Mobile Equipment, ME). A su vez, el ME considera dos entidades funcionales: la terminación móvil (MT) y el equipo terminal (TE).

A continuación se definen todos los elementos mencionados.

- Módulo de suscripción de usuario: La SIM/USIM está asociada a un usuario, el cual lo identifica dentro de la red independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre SIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal sin necesidad de cambiar de identidad o SIM.

- El equipo móvil (ME): En él se integran las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios que ofrece la red.

- Terminación móvil (MT): Alberga las funciones propias de la comunicación.

- Equipo terminal (TE): Equipo que se ocupa de la interacción con el usuario.¹⁹

2.2.7 Interfaz radio

A través de la interfaz aérea se realiza la interconexión y el envío de mensajes tanto de tráfico como de señalización entre el equipo del usuario y la red de acceso formada por los eNodoBs. Cada eNodoB se conecta a la red troncal a través de la interfaz S1, la cual a su vez está conformada por dos interfaces más, una dedicada a las funciones de control y otra dedicada a las funciones de transferencia de los paquetes de usuario.

¹⁹ Tomado del sitio: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%EDtulo+2+--+LTE.pdf>, visitado el dia03/08/2015

La torre de protocolos de la interfaz aérea está dividida en dos planos: el plano de usuario, para el envío de paquetes IP cuyo destino o fuente es el terminal móvil y el plano de control o señalización para los mensajes de control.

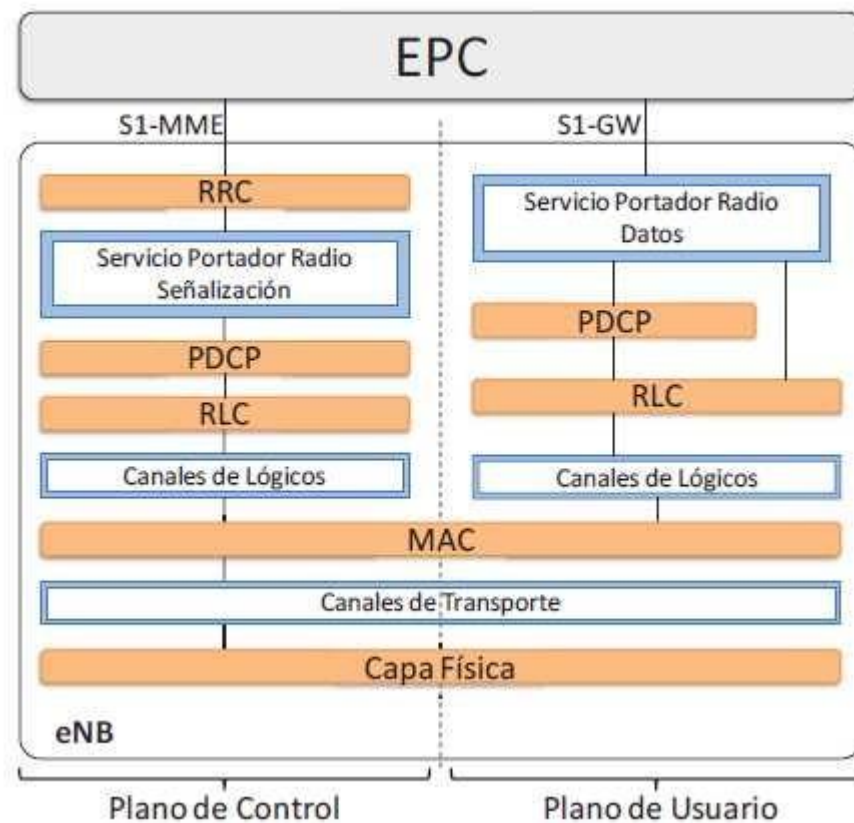


Figura N° 10: Protocolos de la interfaz aire del sistema LTE.²⁰

En el plano de usuario, como se puede observar en la Figura N°10, el envío de los paquetes IP de los usuarios a través de la interfaz aire se gestiona debido al establecimiento de los denominados servicios portadores radio o Radio Bearer (RB). Cada RB tiene asociado un perfil de QoS que ha de ser garantizado por la torre de protocolos.

Los protocolos utilizados por ambos planos en el interfaz aire son los siguientes:

²⁰ Fuente: CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLENT, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona : Fundación Vodafone. España, 2010.

- Packet Data Convergence Protocol (PDCP): Posee funciones de compresión de cabecera de paquetes IP y de entrega/recepción ordenada de paquetes IP desde hacia las capas superiores.
- Radio Link Control (RLC): establece un enlace fiable mediante la interfaz aire.
- Medium Access Control (MAC): permite un acceso ordenado de los diferentes usuarios al medio de transmisión.
- Capa física (PL): proporciona el mecanismo de transmisión/recepción a través del espectro radioeléctrico.

Por su parte en el plano de control se utiliza adicionalmente el protocolo Radio Resource Control (RRC) encargado de funciones como la gestión de la conexión a nivel radio entre el terminal móvil y el eNodoB, configuración de los servicios portadores y el envío de mensajes relacionados con la movilidad por/para el terminal móvil.

2.2.7.1 Capa física

La capa física opera en bandas altas de Ultra High Frequency (UHF), por encima de los 450MHz y hasta los 3,5GHz.

A nivel de capa física se define el concepto de bloque de recursos físicos Physical Resource Block (RB), como el mínimo elemento de información que puede ser asignado a un terminal móvil. Un RB está formado por un bloque de 12 subportadoras contiguas que en conjunto ocupan un ancho de banda de 180kHz y en él se transmiten 6 ó 7 símbolos OFDMA, dependiendo de la duración del prefijo cíclico utilizado. En el dominio temporal un RB dura 0.5ms correspondiente a la duración de un slot dentro de una trama LTE. La Figura N° 11 que se muestra a continuación es la representación gráfica de un RB en una señal OFDMA. Cada color representa a un usuario y la asignación de RBs es variable con el tiempo.

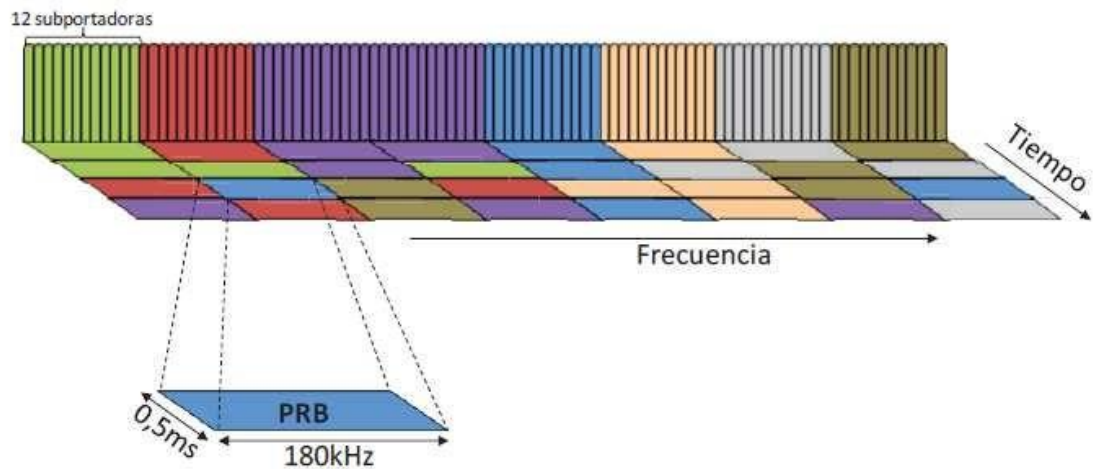


Figura N°11: RB en trama OFDMA.²¹

En el dominio temporal los recursos físicos del sistema LTE se distribuyen a través de estructuras de trama. A pesar de que existan diferentes opciones, a continuación solamente se va a describir la correspondiente con el modo FDD denominada trama tipo 1 y sobre la cual se basa este proyecto.

En esta estructura el eje temporal se divide en tramas de 10ms, compuestas a su vez por 10 subtramas de duración 1ms y cada subtrama está formada por 2 ranuras temporales o slots (TS) de 0.5ms. En cada TS se pueden transmitir 6 o 7 símbolos OFDMA, cada uno con una duración de 66.7µs. El prefijo cíclico (CP) a utilizar depende del número de símbolos por subtrama, en caso de 7 símbolos el CP dura 4.7µs excepto para el primer símbolo que dura 5.2µs y se le define como prefijo cíclico normal. En cambio, para el caso de que se utilicen 6 símbolos, el CP tiene una longitud de 16.67µs y se le denomina prefijo cíclico largo, es normalmente utilizado cuando las celdas son muy grandes.

Los flujos de información de los usuarios del sistema son ubicados por el gestor de recursos radio, ubicado en el eNodoB y denominado scheduler, en una estructura de frecuencia-tiempo definida como Scheduling Resource Block (SRB), formada por dos RB, es decir, que

²¹ Fuente: CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLENT, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona : Fundación Vodafone. España, 2010.

tienen 180KHz de ancho y un intervalo de tiempo de duración igual a una subtrama (1ms) de largo. Dicha duración corresponde con la mínima granularidad temporal en la asignación de recursos que es igual a 1ms. La duración de la trama se puede ver gráficamente en la Figura N°12.

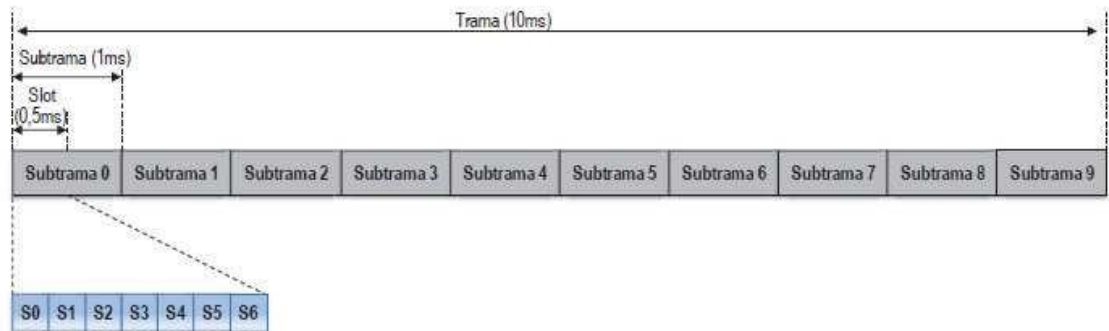


Figura N°12: Duración de la trama.²²

2.2.7.2 Señales y canales físicos en los enlaces ascendentes y descendentes

2.2.7.2.1 Enlace descendente

Las señales físicas en LTE juegan un papel importante para facilitar la demodulación.

A continuación se habla de dos tipos de señales:

Señales de referencia (RS): Como se observa en la Figura N° 13 se utilizan para realizar medidas sobre la calidad del enlace descendente, búsqueda de celdas y sincronización. Hay dos tipos las señales de referencia primarias y las secundarias, RSP y RSS respectivamente.

Señales de Sincronización (SCH): facilitan la sincronización temporal. Están formadas por dos señales, una primaria que sincroniza a nivel de trama y una secundaria que sincroniza a nivel de subtrama.

²² Fuente: CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLENT, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona : Fundación Vodafone. España, 2010.

- **Physical Downlink Shared Channel (PDSCH):** Canal de tráfico que transmite información del usuario. No es un canal dedicado por lo que se asigna a un usuario cuando este tiene algo que recibir en función de la asignación de recursos del scheduling del enlace descendente. Utiliza modulación QPSK, 16QAM, 64QAM y turbo códigos con tas 1/3 para la codificación del canal. Para la retransmisión utiliza mecanismos de retransmisión híbrida (HARQ).
- **Physical Downlink Control Channel (PDCCH):** Canal de control que transmite información sobre los recursos asignados en el enlace descendente al PDSCH.

2.2.7.2.2 Enlace ascendente

En el enlace ascendente existen dos tipos de señales de referencia:

Demodulation Reference Signal (DM-RS): es una señal utilizada para la estimación de la respuesta al impulso del canal. Son necesarias para permitir la demodulación coherente en el enlace ascendente. Si está asociada a la transmisión de datos se ubica en el cuarto símbolo de SC-FDMA, ocupando tantas subportadoras como los datos de usuario. Si está asociada a control, su ubicación no es fija y depende del formato utilizado.

Sounding Reference Signals (SRS): es una señal de referencia destinada al sondeo de la calidad del canal de transmisión. Se utiliza para facilitar la toma de decisión de los algoritmos de scheduling.

Los canales físicos del enlace ascendente son:

Physical Uplink Shared Channel (PUSCH): canal utilizado para transmitir la información del usuario. El número de subtramas y la cantidad de subportadoras disponibles para cada usuario dependerá de la asignación realizada por el scheduler que se encuentra en la eNodeB. Emplea esquemas de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM (Para emplear 64 QAM el terminal del usuario ha de ser de categoría 5), así como turbocódigos de tasa 1/3 para la codificación del canal y mecanismos de retransmisión híbrida (HARQ).

Physical Uplink Control Channel (PUCCH): canal utilizado para realizar peticiones de asignación de recursos, enviar tramas de asentimiento o negación como ACK y NACK para la retransmisión híbrida. Se utiliza para transmitir información acerca de la calidad del canal, Channel Quality Indicator (CQI), para optimizar la asignación de recursos en el enlace descendente.²³

2.3 Tecnologías a nivel físico. OFDMA, SC-FDMA y MIMO

En este apartado se definen los fundamentos más importantes del nivel físico que se implementan en el sistema LTE y que permiten alcanzar mayores niveles de capacidad y eficiencia en el uso de los recursos radio que los sistemas predecesores. En el enlace descendente se usa la técnica de acceso múltiple denominada OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) y para el enlace ascendente, la técnica denominada SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Además puede usar la transmisión y recepción con múltiples antenas (MIMO).

2.3.1 OFDMA

La técnica de acceso múltiple OFDMA utilizada en el enlace descendente del sistema LTE ofrece la posibilidad de que los diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos. Por tanto, permite alojar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en subportadoras diferentes.

El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. El sistema se realimenta con las condiciones del canal, adaptando continuamente el número de subportadoras

23 CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLEN, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona : Fundación Vodafone. España, 2010.

asignadas al usuario en función de la velocidad que éste necesita y de las condiciones del canal. Si la asignación se hace rápidamente, se consigue cancelar de forma eficiente las interferencias co-canal y los desvanecimientos rápidos. En la Figura N°13 se muestra una representación del espectro de la señal OFDMA.

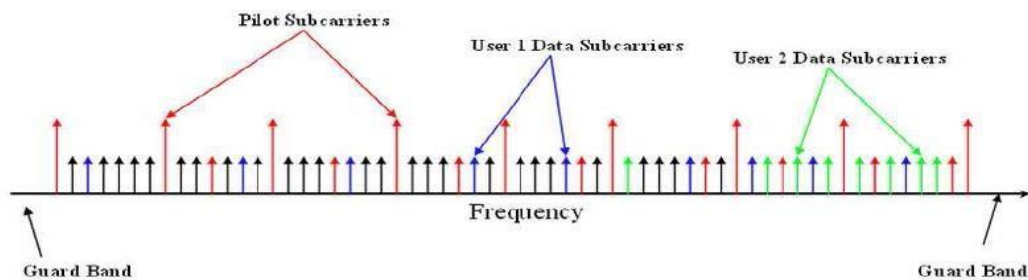


Figura N°13: Espectro señal OFDMA.²⁴

No es necesario que las subportadoras sean contiguas, los símbolos de un usuario pueden estar distribuidos sobre subportadoras no contiguas.

Esta técnica de acceso presenta bastantes ventajas, de las cuales se podrían considerar las siguientes como principales:

- **Diversidad multiusuario:** La asignación de subportadoras se realiza de manera dinámica. Como el canal radio es inestable, presentará desvanecimientos aleatorios en las diferentes subportadoras, se puede seleccionar para cada subportadora el usuario que presente un mejor estado del canal. Así se consigue una mayor velocidad de transmisión y una mayor eficiencia espectral. No obstante, hay diferentes criterios para la asignación de subportadora, esto se denomina scheduling.
- **Diversidad frecuencial:** es posible asignar a un mismo usuario subportadoras no contiguas, separadas suficientemente como para que el estado del canal en las mismas sea independiente, lo que nos

²⁴ Fuente: CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLENT, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona : Fundación Vodafone. España, 2010.

proporciona diversidad frecuencial en la transmisión de dicho usuario ante canales selectivos en frecuencia.

- Robustez frente al multitrayecto: gracias a la utilización de un prefijo cíclico, esta técnica es muy robusta frente a la interferencia intersimbólica (ISI), resultante de la propagación multitrayecto y se puede combatir la distorsión mediante técnicas de ecualización en el dominio de la frecuencia, que resultan menos complejas que las que se realizan en el dominio del tiempo.
- Flexibilidad en la banda asignada: Esta técnica de acceso múltiple proporciona una forma sencilla de acomodar diferentes velocidades de transmisión a los diferentes usuarios en función de las necesidades de servicio requeridas por cada usuario, simplemente asignando más o menos subportadoras a cada usuario.
- Elevada granularidad en los recursos asignables: Como se subdivide la banda total en un conjunto elevado de subportadoras de banda estrecha que se asignan dinámicamente a los usuarios, se dispone de una elevada granularidad a la hora de asignar más o menos recursos a cada uno, lo que facilita acomodar servicios con diferentes requisitos de calidad.

También presenta algunos inconvenientes. Estos son los más destacables:

- Poca eficiencia en el consumo de potencia: la relación entre potencia de pico envolvente de la señal y la potencia media, PAPR (Peak Average Power Ratio), es muy elevada, lo que obliga a utilizar amplificadores de alta linealidad.
- Es muy sensible a los offsets de frecuencia, ruido de fase, etc.
- Aunque presenta robustez frente al multitrayecto gracias al prefijo cíclico, el uso de este genera una reducción en la velocidad de transmisión.

2.3.2 SC-FDMA

Como ya se ha dicho, en LTE se utiliza la técnica OFDMA para el enlace descendente. Esta técnica presenta un mal PAPR, no obstante ese problema se soluciona con amplificadores de alta linealidad aunque esto requiera el consumo de más potencia. Sin embargo, en el terminal del

usuario es crítico reducir el consumo de potencia, por lo que se utiliza una técnica de acceso de portadora única.

SC-FDMA, como se observa en la Figura N°14, es una nueva técnica de modulación híbrida, que combina la robustez frente a la propagación multicamino y flexibilidad de ubicación de las subportadoras propia de los sistemas OFDM con menor PAPR propia de las modulaciones con portadora única.

Esta tecnología reduce el nivel de los picos de potencia en el dominio del tiempo pero aumenta la potencia radiada fuera de banda en el dominio frecuencial. También genera una pérdida de sensibilidad entre 2 y 3 dB en canales con desvanecimientos.

Finalmente mencionar que esta técnica permite dos modos de mapeo de las subportadoras. Uno de ellos es el modo localizado, el cual hace que los usuarios tengan subportadoras contiguas. Este es el modo de operación elegido para LTE.



Figura N°14: SC-FDMA modo localizado. ²⁵

El otro modo es el distribuido, que tiene dos formas de operar. Como se observa en la Figura N°13, una de ellas se denomina interleaved FDMA-IFDMA, el cual se caracteriza en que las subportadoras son equidistantes unas de otras. La otra forma de operar se denomina FDMA distribuido puro, en el cual no hay una distribución uniforme de las subportadoras en la banda disponible.

Interleaved FDMA-IFDMA

FDMA distribuido puro

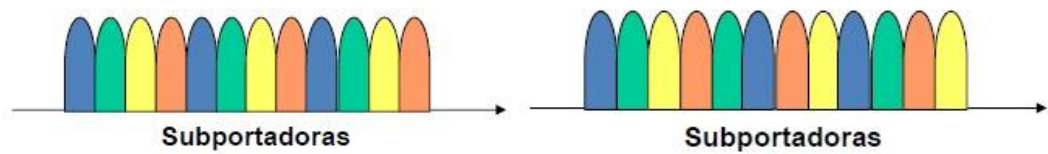


Figura 15: SC-FDMA modo distribuido. ²⁴

2.3.3 MIMO

El sistema MIMO utiliza múltiples antenas tanto para recibir como para transmitir. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas. Cada una de ellas se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas. Debido a reflexiones por multitrayecto, en recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos transmitidas por cada una de las antenas en que se transmitió.

Las tramas de datos se separan en el receptor usando algoritmos que se basan en estimaciones de todos los canales entre el transmisor y el receptor. Además de permitir que se multiplique la tasa de transmisión (al tener más antenas), el rango de alcance se incrementa al aprovechar la ventaja de disponer de antenas con diversidad.

La teoría de la capacidad inalámbrica, extiende el límite del teorema de Shannon, en el caso de la utilización de esta tecnología. Este resultado teórico prueba que la capacidad de transmisión de datos y rango de alcance de los sistemas inalámbricos MIMO se puede incrementar sin usar más espectro de frecuencias. Este aumento es de carácter indefinido, simplemente utilizando más antenas en transmisión y recepción y teniendo una calidad de canal aceptable. MIMO requiere la existencia de un número de antenas idéntico a ambos lados de la transmisión, por lo que en caso de que no sea así, la mejora será proporcional al número de antenas del extremo que menos antenas tenga. La Figura N°16 muestra este efecto:

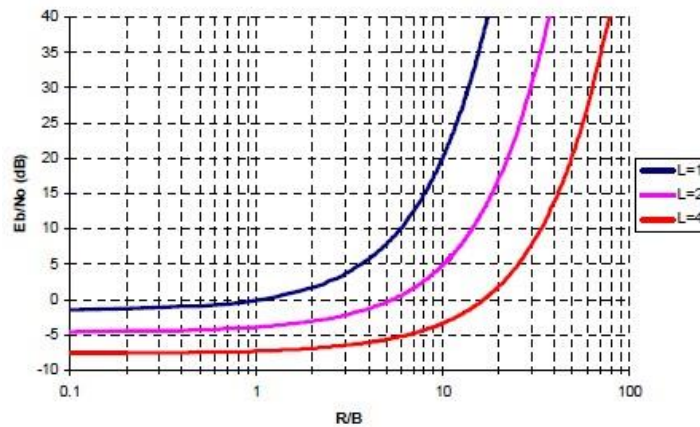


Figura N°16: Efecto del número de antenas en MIMO.²⁶

Donde L es el número de antenas, R la tasa de transmisión, B el ancho de banda y E_b/N_0 la relación señal a ruido del canal. Puede observarse que para una E_b/N_0 fijada, con un número mayor de antenas puede obtenerse mayores tasas de transmisión.

²⁶ Fuente: CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLENT, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona : Fundación Vodafone. España, 2010.

Capítulo III

LTE-A:

3.1 Introducción

La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) estableció en 2008 los requisitos oficiales para el nuevo estándar IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced) que sería conocido como 4G. Entre ellos se incluyen, por ejemplo, el del funcionamiento con canales de radio de más de 40 MHz, así como una eficiencia espectral extremadamente alta (con picos de 15 bits por hercio en enlace descendente y de 6.75 en el ascendente).

Dado que ninguna tecnología cumplía estos requisitos, se desarrolló LTE-Advanced (LTE-A) como una ampliación de LTE y como paradigma de lo que debería ser el 4G. LTE-A, en teoría, debe ser capaz de ofrecer altas capacidades de transmisión con anchos de banda de más de 100 MHz obtenidos mediante agregación de canales de 20 MHz, tecnologías de antenas múltiples basadas en MIMO y transmisiones coordinadas multipunto.

Gracias a estas técnicas deberá ser capaz de alcanzar una tasa teórica máxima de 1 Gbps en movilidad de baja velocidad (usuario quieto o a pie) y de 100 Mbps en movilidad de alta velocidad (usuario en vehículo). Más allá de las nuevas capacidades de transmisión, LTE-Advanced permitirá alcanzar nuevas cotas de eficiencia espectral, llegando a picos de 30 bits por hercio en canales de 40 MHz.²⁷

3.1.2 Requerimientos LTE Advanced según IMT

LTE-Advanced es el candidato 3GPP de radio-acceso a la tecnología para el acceso de radio de las IMT-Advanced, un requisito obvio para LTE-Advanced es la realización plena de todos los requisitos

²⁷ Tomado del sitio: <http://www.xatakamovil.com/conectividad/lte-advanced-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-autentica-cuarta-generacion-de-la-internet-movil>, visitado el día 10/08/2015

para las IMT-Avanzadas se define por la UIT. Otro requisito básico para el trabajo en LTE-Advanced, es que LTE-Advanced es una evolución de LTE. La implicación de esto es que LTE-Advanced tiene que cumplir una serie de requisitos básicos de compatibilidad con versiones anteriores.

LTE-Advanced debe proporcionar compatibilidad con versiones anteriores en términos de espectro y convivencia, lo que implica que debe ser posible desplegar LTE-Advanced en el espectro ya ocupado por LTE, sin impacto sobre las actuales terminales LTE. Una consecuencia directa de este requisito es que, para la liberación de un terminal de LTE, un celular LTE-Advanced debe aparecer como un lanzamiento de versión 8 LTE. Esto es similar a HSPA, donde uno de los primeros terminales WCDMA puede acceder a una celda de apoyo HSPA, aunque desde el punto de vista de este terminal, la celda aparecerá como una versión 9 WCDMA. La compatibilidad de dicho espectro es de importancia crítica para un bajo costo sin problemas, transición a LTE-Advanced capacidades dentro de la red.

LTE-Advanced también debe ser "retrocompatible" en términos de infraestructura, en la práctica lo que implica que debe ser posible para actualizar la infraestructura de equipos ya instalado LTE para soportar los requerimientos de capacidad para LTE-Advanced con un costo razonable. También este es un requisito previo fundamental para una transición suave y de bajo costo para una red LTE-Advanced. LTE-Advanced debe ser "compatible" en términos de la implementación del terminal, lo que implica que debe ser posible introducir LTE-Advanced funcionalidad en los terminales móviles con una complejidad razonable incremental con su costo asociado en comparación con la capacidad de LTE actual. Esto es claramente vital para garantizar una adopción de la tecnología LTE-Advanced para la existencia de una rápida capacidad en la compatibilidad de los terminales.

Los objetivos de LTE-Advanced incluyen:

- Apoyo a los picos de datos de hasta 1 Gbps en el down link y 500 Mbps en el up Link.
- Las mejoras sustanciales en el rendimiento del sistema, tales como células y el usuario, el rendimiento de los valores objetivo

significativamente superiores a los de las IMT-Avanzadas.

- Posibilidad de despliegue de infraestructura de bajo costo y terminales.
- La eficiencia de alta potencia, es decir, bajo consumo de energía de ambas terminales e infraestructura.
- Utilización eficiente del espectro, incluida la utilización eficiente de la fragmentación espectro.

3.2 Bandas de frecuencias

Para mejorar el rendimiento de LTE existen dos formas de hacerlo, la primera es usando más espectro radioeléctrico y la segunda es usando el espectro disponible más eficientemente. La ITU tomó esto en consideración y por lo tanto en la WRC 2007 (World Radio Communication Conference) se establecieron nuevas bandas de frecuencia destinadas para servicios móviles.

Las nuevas bandas de frecuencia que se añaden a la versión 8 de LTE son:

- . La banda de 450 – 470 MHz
- . La banda de 790 – 806 MHz
- . La banda de 2300 – 2400 MHz
- . La banda de 790MHz – 862 MHz para ITU región 1 (Europa, Medio Oriente y África) e ITU región 3 (todos los otros países de Asia y el Pacífico).
- . La banda de 698 – 806 MHz para ITU región 2 (Norte y Sur de América) e ITU región 3 (9 países incluyendo Japón, China e India).
- . La banda de 3400 – 3600 MHz para ITU región 1 (en 82 países), ITU región 2 (América en 14 países excepto US/Canadá) e ITU región 3.

Todas las bandas nuevas identificadas por la WRC 2007 son bandas para cualquier tipo de tecnología IMT, es decir no son específicas del IMT-2000 o IMTAdvanced. En la Figura N°17 se puede apreciar las nuevas bandas establecidas por la WRC-2007.

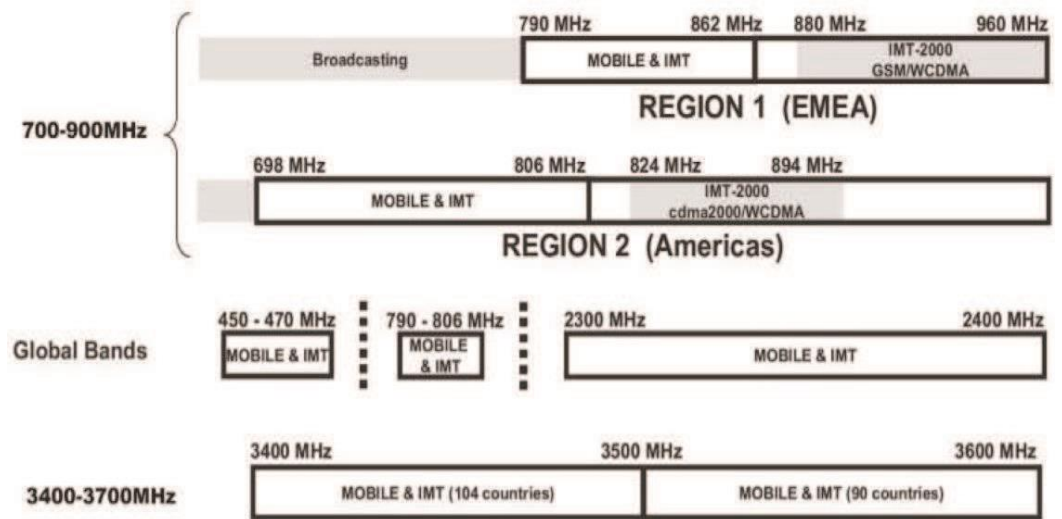


Figura N° 17. Asignación de nuevo espectro de acuerdo a la WRC-2007.²⁸

En cuanto al rendimiento de los valores recordar que en LTE versión 8 el ancho de banda de 20 MHz era el tope. A pesar de ello es deseable disponer de anchos de banda superiores a los 20 MHz pero en espectro adyacente, la limitada disponibilidad de espectro implica la Agregación de Portadoras de IMT-Advanced para conseguir el ancho de banda requerido. Esta última opción es la permitida de acuerdo a las especificaciones del IMT-Advanced.

²⁸ Fuente: COX, Christopher: An introduction to LTE, LTE-ADVANCED, SAE and 4G Mobile Communications. Editorial WILEY. 2012.

3.3 Arquitectura

A nivel de arquitectura, LTE Advanced utiliza la misma estructura de la red LTE, es decir comparten los componentes que se encuentran presentes en una red LTE versión 8. Los cambios son a nivel de técnicas de modulación y transmisión.

3.4 Características LTE-A

Las principales características de LTE-A que fueron añadidas a LTE en la versión 10 son:

- Agregación de portadora
- Transmisión de múltiples antenas para el downlink mejorado.
- Transmisión de múltiples antenas para el uplink.
- CoMP (Coordinated multipoint transmission and reception)
- Relaying

3.4.1 Agregación de portadoras

La Agregación de Portadoras (CA, según su sigla en inglés) es una funcionalidad clave de LTE-Advanced que les permite a los operadores crear mayores anchos de banda “virtuales” de portadora para los

servicios LTE al combinar distintas asignaciones de espectro. La CA aporta eficiencias de espectro y tasas máximas casi a la par de las asignaciones de banda amplia individuales. Así, el mayor ancho de banda provisto por CA llevó a mejores tasas de datos al usuario al tiempo que habilita mayor flexibilidad y utilización óptima de los activos de frecuencias. La CA ofrece nuevas oportunidades para utilizar bandas no contiguas para más recursos de frecuencias. Además, la CA es totalmente compatible en sentido reverso, lo que significa esencialmente que los terminales 3GPP (Proyecto de Asociación para la Tercera Generación) Release 8 y los LTE-Advanced pueden convivir.

La CA también se diseñó como tecnología a prueba de futuro con gran potencial en el 3GPP Release 12 y más allá. La CA se hará extensiva a múltiples portadoras, agregación de diversos espectros bajo licencia (posiblemente espectro sin licencia) y será la tecnología que habilite velocidades de IMT-Advanced de 1 Gbps. Hacia el futuro, habrá despliegues múltiples y variados de CA adaptados a los requisitos específicos de los operadores.²⁹

Usando agregación de banda o portadora. LTE-Advanced permite la agregación de hasta cinco portadoras de hasta 20 MHz cada una para obtener un ancho de banda de transmisión de hasta 100 MHz. Para permitir compatibilidad hacia atrás cada una de estas portadoras se puede configurar como 3GPP Release 8. Pero no todas las portadoras tienen que ser necesariamente Rel-8 compatibles. Hoy en día ningún operador posee 100 MHz de espectro continuo. Casi todos los proveedores de servicio tienen bloques de frecuencia en bandas diferentes. Para poder soportar la máxima flexibilidad en el uso del espectro disponible, la agregación de portadores en LTE-Advanced está disponible tanto en espectro contiguo como no contiguo.

3.4.2 Mimo en LTE Advanced

Mimo supone el uso de un conjunto de técnicas relacionadas con la utilización de múltiples antenas en comunicaciones inalámbricas, es decir que añade una dimensión espacial adicional que puede aprovechar

²⁹ Tomado del sitio:<http://www.4gamericas.org/es/newsroom/press-releases/agregacion-de-portadoras-una-tecnologia-prueba-de-futuro/>, visitado el día

la formación de canales estadísticamente independientes originados por el multitrayecto y mitigar el efecto del mismo, consiguiendo un incremento sustancial de la eficiencia espectral. Esta mejora lleva a las modernas tecnologías inalámbricas a contemplar su uso para aumentar la tasa de transmisión.

Las tecnologías candidatas a ofrecer servicios 4G deberán cumplir ciertos requisitos indicados por la recomendación IMT-Advanced. Entre ellos está una determinada eficiencia espectral, para lo que se prevé que las técnicas MIMO sean una herramienta fundamental.³⁰

Para soportar una eficiencia espectral pico en el DL de 30 bps/Hz y de 15 bps/Hz en el UL, LTE-Advanced plantea la introducción de esquemas de múltiples antenas basadas en MIMO 8x8 y MIMO 4x4, DL y UL respectivamente, para lo cual en LTE-A se distinguen principalmente dos opciones: la primera se denomina single-site MIMO en donde solamente una estación base es utilizada para la transmisión y la segunda se denomina multi-site MIMO donde varias estaciones base pueden colaborar en la transmisión de un único flujo de información.

a) Single-Site MIMO: Esta opción se basa en la conformación de haces de radiación para un usuario en específico. Los patrones de radiación que se forman van a depender de las antenas que se usan, de la movilidad del UE y del tamaño de la celda. En definitiva Single-Site MIMO es una combinación entre multiplexación espacial y conformación de haces tanto para SU-MIMO y MU-MIMO en el DL. En la Figura N°18 se puede apreciar cómo una sola estación base puede establecer comunicación con 2 UEs en base a haces de radiación distintos.

³⁰ Tomado del sitio: <http://www.gradiant.org/es/actualidad/noticias/289-mimo-en-wimax-y-lte.html>, visitado el día 10/08/2015

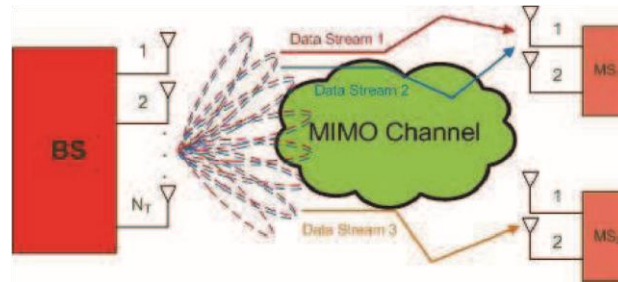


Figura N°18: Escenario de Single-Site MIMO.³¹

b) Multi-Site MIMO: Esta opción busca mejorar el rendimiento en el borde de una celda por medio de la multiplexación espacial de diferentes estaciones base que comparten los mismos recursos espectrales para lo cual se introduce la técnica Co-operative MIMO, también conocida como Network MIMO y como Coordinated multipoint (CoMP). En este caso las distancias entre los elementos de transmisión pueden ser de varios kilómetros por lo que es necesario disponer del suficiente ancho de banda de transmisión en el backhaul y hacer que las latencias sean cercanas a 1ms.

La latencia tanto en el plano de usuario como en el plano de control representa la suma de los retardos producidos por la demora en la propagación, transmisión de los paquetes y el procesamiento en cada entidad de red. El plano de usuario refleja esta latencia en una conexión de extremo a extremo a través de los servicios portadores EPS y servicios portadores externos. En cuanto al plano de control, esta latencia se refleja en el control del establecimiento de los servicios portadores.

En la Figura N°19 se puede observar el modo de operación de Multi-Site MIMO, en este caso los RBs asignados a los UEs en los bordes de las celdas son coordinados por dos eNBs.

³¹ Fuente: SESIA, Stefania. TOUFIK, ISSAM. BAKER, MATTHEW: LTE – The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice. Segunda Edición. Editorial WILEY. 2011.

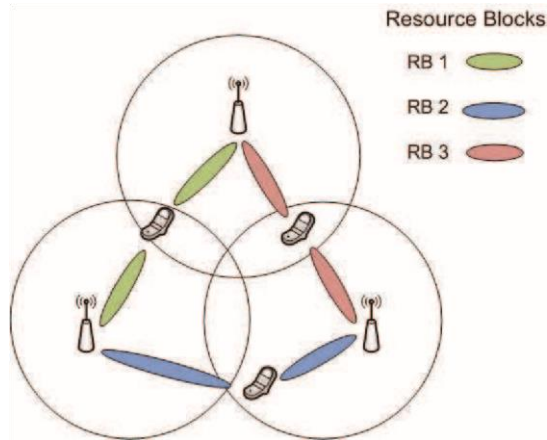


Figura N°19: Escenario de Multi-Site MIMO.³⁰

3.4.2.1 Mimo en Downlink

En LTE-Advanced la transmisión de la información se puede realizar mediante dos técnicas: SU-MIMO y MU-MIMO. En SU-MIMO versión 10 la tendencia es usar 8 capas espaciales y un máximo de 2 codewords con 8 puertos de antena porque ello permite mejorar la velocidad de transmisión. A continuación se muestra en la Figura N°20 cómo se dividen las codewords en sus respectivas layers en LTE-Advanced. Se puede apreciar que se pueden utilizar 5, 6, 7 y hasta 8 layers con el uso de máximo dos codewords CWs y 8 puertos de antena.

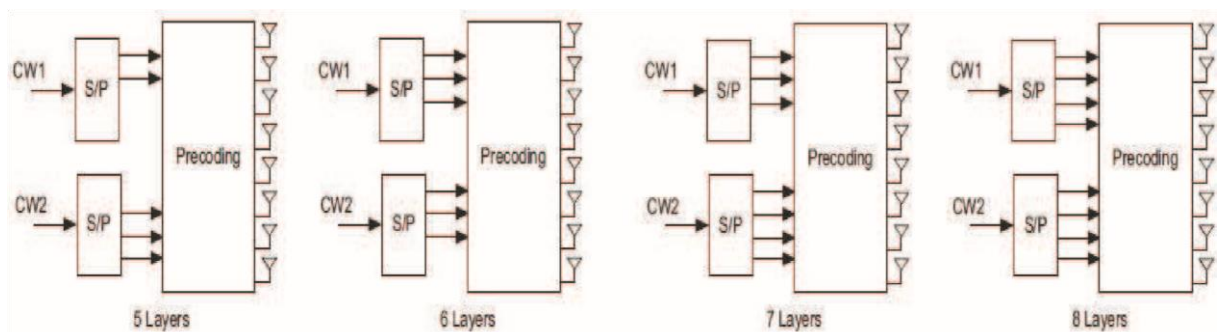


Figura N°20: Codewords y layers para 8 puertos de antena.²⁷

Con respecto a MU-MIMO para el DL, LTE-Advanced, versión 10, presenta una nueva propuesta basada en el intercambio dinámico entre

SU-MIMO Y MU-MIMO y mejoras en la transmisión del canal PDSCH. La provisión de nuevos modelos de señales de referencia (DM-RS y CSI-RS) permiten la programación de más de una secuencia espacial en los UEs que participan en MU-MIMO. La multiplexación ortogonal de las señales de referencia asignadas a los UEs posibilita tener una estimación más precisa del canal y mejorar los procedimientos de cancelación de interferencia en el UE. A pesar de que el Release 10 soporta multiplexación ortogonal de 8 layers, el máximo destinado para multiplexación multi-usuario es 4.

3.4.2.2 Mimo en Uplink

En la versión 10 de LTE se introduce por primera vez la transmisión SU-MIMO. Ésta se realiza en 4 capas espaciales para incrementar la velocidad de transmisión del canal PUSCH. Entonces se introducen dos modos de transmisión como se observa en la Figura N°21:

- . Modo de transmisión 1 PUSCH: Transmisión de una única antena.
- . Modo de transmisión 2 PUSCH: Transmisión de múltiples antenas, dentro de este modo, el UE puede ser configurado para transmitir usando 2 o cuatro antenas.

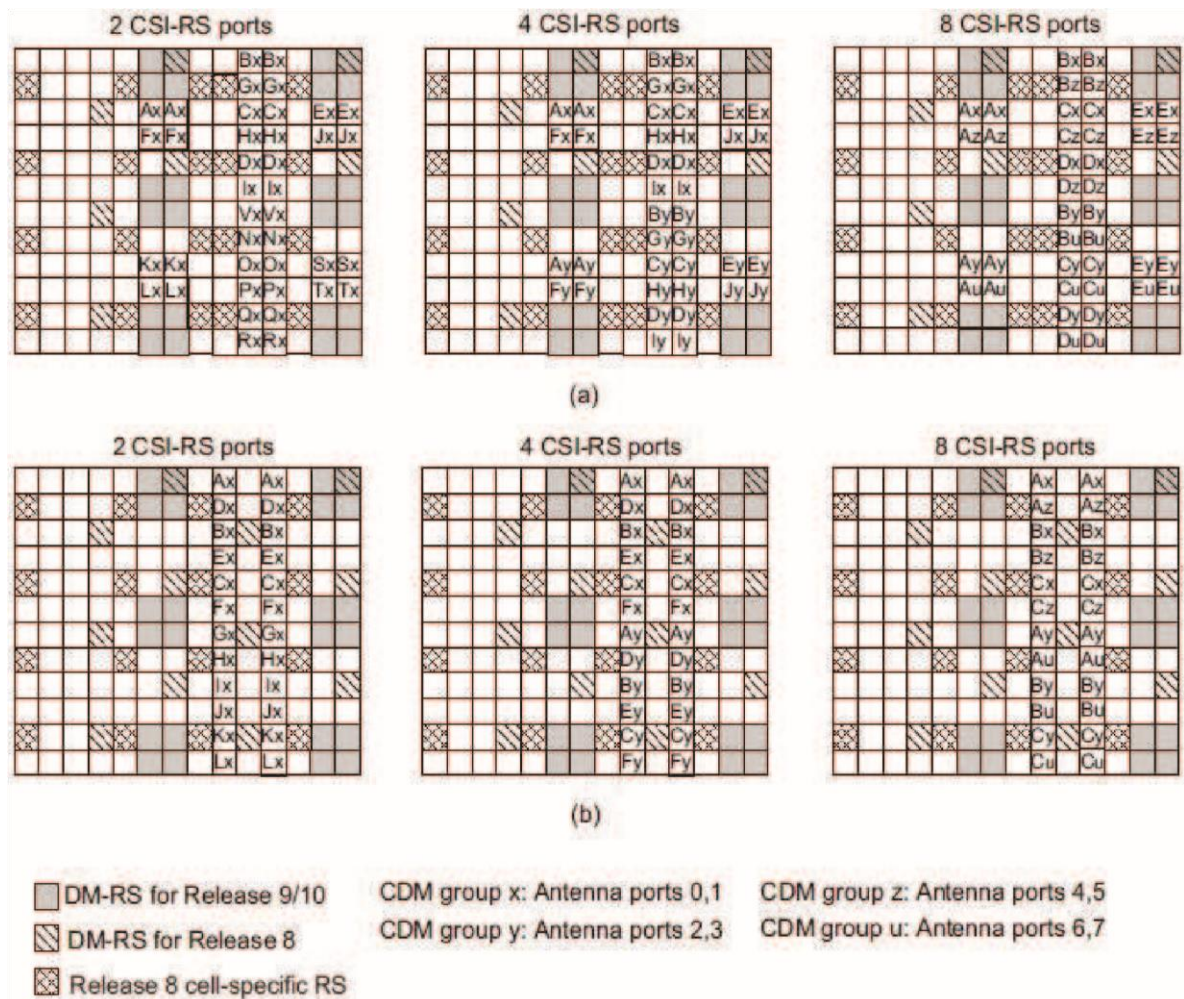


Figura N°21: Modelos CSI-RS para LTE-Advanced. (a) Modelo para estructura de trama tipo 1 y tipo 2. (b) Modelo para estructura de trama tipo 2. ²⁷

En cuanto al canal PUCCH la confiabilidad de la señalización de control se mejora usando diversidad de transmisión, lo que también permite mantener compatibilidad con el canal PUCCH de la versión 8, esto es algo nuevo que se implementa en LTE-A.

Las señales de referencia usadas en el UL de la versión 8 se mejoran para soportar transmisión SU-MIMO con cuatro antenas.

3.5 Red de Nodos “Relay”

El Relaying es una nueva característica en LTE-Advanced que se basa en el uso de una red de Relay Nodes (RNs) que permitirán complementar las macro-celdas incrementando así la cobertura y la capacidad de la red.

Los RNs pueden ser considerados desde cierto punto de vista como repetidores. Pero la verdad es que se diferencian el uno del otro.

Los repetidores son considerados nodos encargados de amplificar la señal de radiofrecuencia recibida de una estación base, tienen un costo muy bajo y eso se debe a que no realizan tareas de procesamiento de señal en banda base. Son típicamente usados en lugares donde el tráfico es bastante ligero o cuando el acceso a la red se dificulta como en las áreas rurales, son también usados para proveer cobertura en ambientes indoor, en un shopping mall por ejemplo. A pesar de lo útiles que son tienen dos inconvenientes: el primero es que solo amplifican la señal recibida y por lo tanto cualquier interferencia también es amplificada, debido a ello la señal se degrada y por ende no es la misma en comparación con una señal transmitida desde la estación base. El segundo inconveniente tiene que ver con operación y mantenimiento (O&M) ya que los repetidores son operados independientemente de la red de acceso, lo que involucra un costo adicional para los operadores de red.

Los RNs pueden ser vistos como una evolución de los repetidores para resolver los inconvenientes presentados por éstos. Un RN es un nodo de red que está conectado inalámbricamente a un eNB fuente, llamado donador eNB. Una característica importante de los RNs es que

comparten funcionalidades propias de un eNB tales como el monitoreo y control remoto.

En contraste con un repetidor, un RN procesa la señal recibida antes de reenviarla. Este procedimiento involucra operaciones de Capa 1, 2 o 3. Hay que tomar en cuenta también que el retardo mínimo producido por un repetidor es bajo comparado con un RN. Un RN tiene dos fases de transmisión para poder entregar la señal recibida del donor eNB al UE. En la Figura N°22, se muestran las fases de transmisión y recepción que se producen en un repetidor y en un RN.

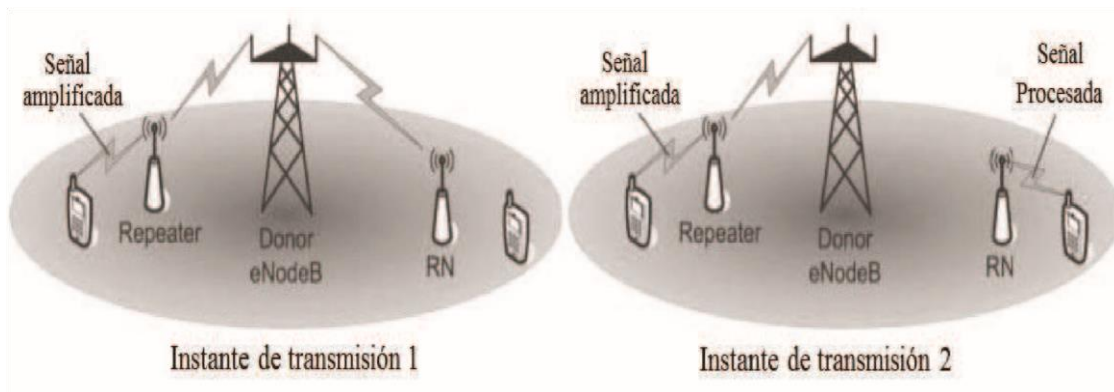


Figura N°22: Fases de transmisión y recepción de un repetidor y un relay node. ²⁷

En la Figura N°23 se pueden apreciar los nombres de los enlaces y elementos que integran una arquitectura de relaying, a continuación se explican de izquierda a derecha cada uno de ellos.

- Direct link (Uplink/Downlink). Se conoce como Direct downlink, al enlace entre el donor eNB y el UE, y, direct uplink, al enlace entre el UE y el Donor eNB.
- Donor eNB. Es un eNB fuente el cual se comunica con los RNs a través del backhaul link, y, con los UEs a través del direct link.
- Donor cell. Es el área de cobertura que proporciona un Donor eNB.

- Backhaul link (Uplink/Downlink). Se denomina backhaul downlink, al enlace entre el donor eNB y el RN, y backhaul uplink, al enlace entre el RN y el Donor eNB.
- Relay Node (RN). Es el elemento de red que permite interconectar los elementos de la Donor cell con los elementos de la Relay Cell.
- Relay cell. Área de cobertura brindada por un RN.
- Access link (Uplink/Downlink). Se conoce como Access downlink al enlace entre el RN y el UE, y, Access uplink, al enlace entre el UE y el RN.

Una vez que se han explicado los elementos y enlaces que intervienen en la Figura N°23, a continuación se presentan dos términos que se utilizan cuando se habla de relay nodes (RNs).

- RN Inband/outband. Un RN inband usa la misma frecuencia de portadora en el backhaul link y en el access link. Si se utilizan diferentes frecuencias de portadora entonces el RN se conoce como RN outband.
- RN Half/full duplex. Se conoce como RN half dúplex al RN que no puede estar recibiendo información en el backhaul link y al mismo tiempo estar transmitiendo en el access link, y, viceversa. Un RN full dúplex puede operar sin esta restricción. Finalmente, un RN que sea considerado como half dúplex también se lo considera como inband y si es full dúplex entonces también es outband.

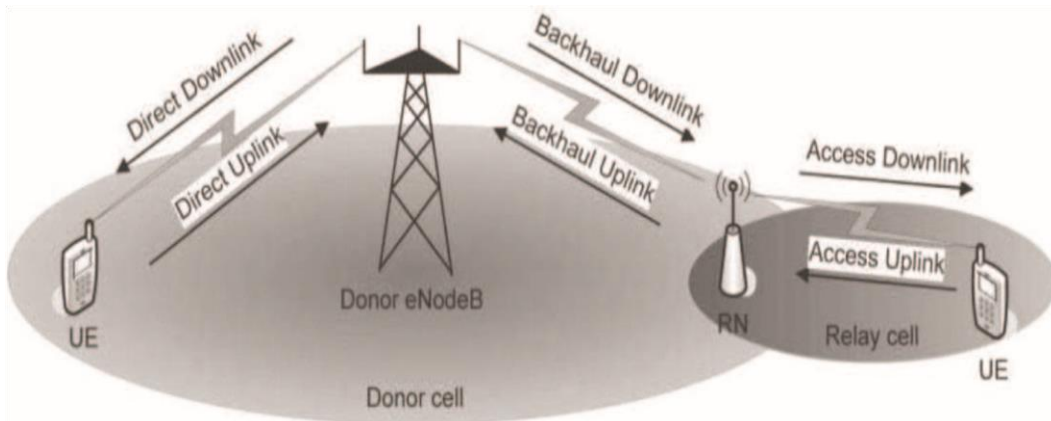


Figura N°23: Terminología para relaying. ²⁷

3.5.1 Tipos de nodos Relay

El 3GPP identificó dos tipos de RNs, Type1, 1a y 1b; y Type2 en el estudio de LTE-Advanced. Dentro de las especificaciones de la versión 10, LTE-A soporta los RNs Type 1 y Type 1a. Los demás casos aún continúan en estudio y aún no han sido adoptados. Como se observa en la Figura N°24, los casos típicos de relays

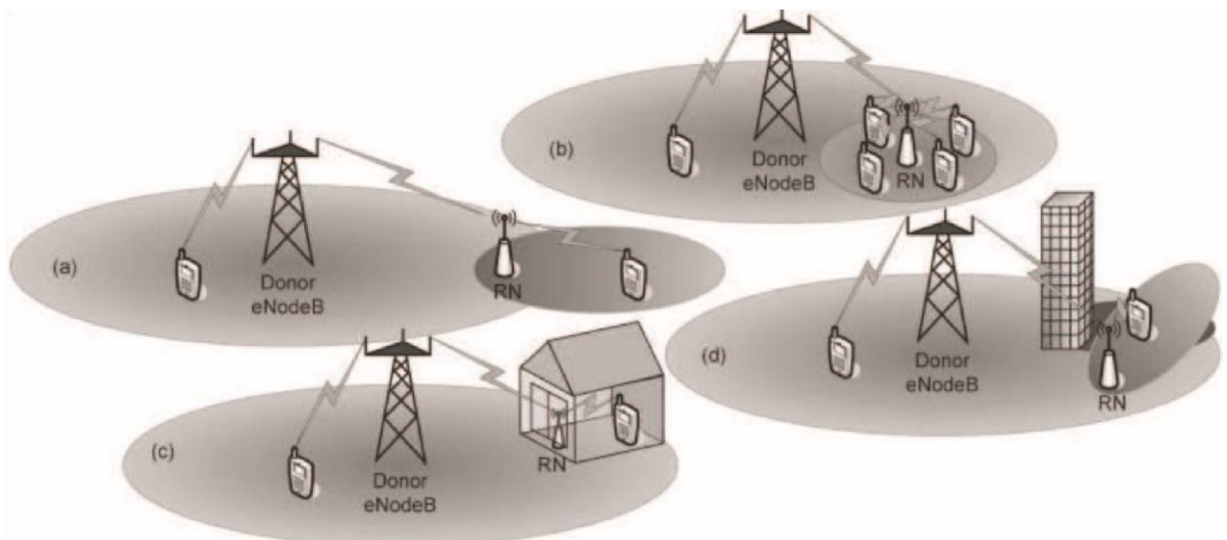


Figura N°24: Casos típicos de relays. ²⁷

- a- RNs Type 1, 1a y 1b: De forma general los RNs del Type 1 transmiten todos los canales de datos y control incluyendo las señales de sincronización PSS / SSS. Los UEs reciben información de programación y planificación a través del canal PDCCH desde el RN y envían información de regreso informando acerca de la información del estado del canal. Haciendo una analogía los RNs Type 1 son eNBs versión 8, así es la forma en que los UEs los ven. Es por ello que se garantiza compatibilidad con versiones previas a la versión 10. Los RNs Type 1 son nodos que se usan para transmisiones half duplex inband en tanto que los RNs Type 1a son nodos outband full duplex que presentan las mismas propiedades de los RNs Type 1. Por su parte los RNs Type 1b son nodos inband full duplex en el que los enlaces de backhaul y de acceso pueden estar activos simultáneamente. A manera de ejemplo, en un RN Type 1b la antena de backhaul puede estar localizada fuera de un edificio mientras que la antena de cobertura puede estar localizada en el interior del mismo.

- b- RNs Type 2: Este tipo de nodos no pueden ser identificados por los UEs ya que no transmiten canales de control ni tampoco tienen su propio identificativo de celda. Estos RNs solo transmiten el canal PDSCH y el elemento que toma cartas en el asunto con respecto a la planificación es el eNB. Los RNs Type 2 pueden operar de una manera cooperativa o no cooperativa con el donador eNB.

Cuando operan cooperativamente, el eNB y el RN se juntan para la transmisión y recepción de la señal para el UE y del UE respectivamente, tal como se ilustra en la Figura N°25, en donde la transmisión inicial la realiza el eNB para el RN y el UE al mismo tiempo. En caso de retransmisiones, ambos, el eNB y el RN transmiten al UE y éste combina las dos señales.

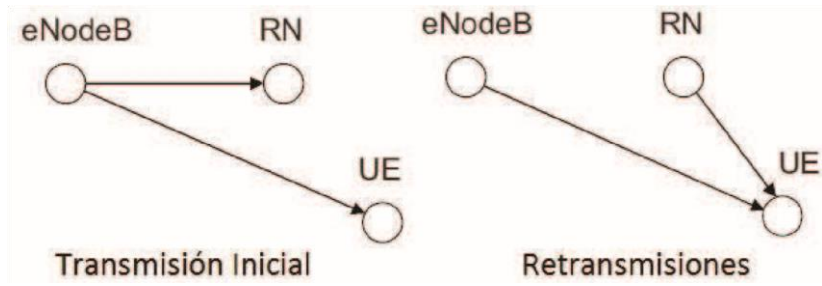


Figura N°25: Operación cooperativa de los RNs Type 2. ²⁷

Capítulo IV

Desarrollo

4.1 Evolución a nuevas tecnologías de comunicaciones

Al analizar la tendencia evolutiva de las conexiones móviles encontramos un patrón de correspondencia con el uso o limitación de los anchos de banda existentes; y a la vez, la masificación de nuevos servicios y aplicaciones que requieren de una mayor cantidad de datos para su funcionamiento y un acceso de la misma en tiempos más acotados. Si se observa este comportamiento a través de nuestra historia reciente, esto nos lleva a encontrar un camino por el cual se tuvo que transitar para llegar a las actuales prestaciones de las redes móviles.

La tendencia histórica nos lleva a pensar que la tecnología LTE encontrará su punto de inflexión en el cual la limitación de su ancho de banda o cantidad de abonados, termine en la búsqueda de un sucesor en cuanto a prestaciones. Si se analiza el caso específico de Argentina, respecto al uso de su espectro radioeléctrico, las tecnologías 2G y 3G se encontraron colapsadas debido a una gran demanda en la cantidad de

usuarios activos en la red frente a los servicios que ofrecían las operadoras. Se necesitó el ingreso de un nuevo estándar de comunicaciones conocido como LTE o Long Term Evolution, comercialmente denominado 4G, para liberar parte del espectro utilizado por 3G.

Entre los factores que se pueden identificar como influyentes de la evolución de las redes encontramos los siguientes:

- Un gran crecimiento poblacional en las últimas décadas.
- Exponencial crecimiento de las conexiones activas (Dispositivos utilizados) por individuo.
- La necesidad de transmisión de nuevos servicios sobre la red (Un ejemplo es la Televisión IP).

Para graficar la población se toma el período de tiempo comprendido entre 1968 al 2015. Como se muestra en la tabla N°1, la población mundial se duplicó en cuanto a la cantidad de habitantes.

Año	Población	Tasa de crecimiento	Año	Población	Tasa de crecimiento
1960	3 019 469 360	N/A %	1988	5 074 079	1.77 %
1961	3 060 104 083	1.35 %	1989	5 161 390	1.72 %
1962	3 112 586 011	1.72 %	1990	5 255 718	1.83 %
1963	3 177 002 539	2.07 %	1991	5 342 203	1.65 %
1964	3 241 977 686	2.05 %	1992	5 426 746	1.58 %
1965	3 308 308 594	2.05 %	1993	5 510 114	1.54 %
1966	3 377 812 517	2.10 %	1994	5 592 558	1.50 %
1967	3 447 000 172	2.05 %	1995	5 674 463	1.46 %
1968	3 516 965 302	2.03 %	1996	5 756 038	1.44 %
1969	3 591 041 230	2.11 %	1997	5 837 670	1.42 %
1970	3 665 679 295	2.08 %	1998	5 918 370	1.38 %
1971	3 742 344 862	2.09 %	1999	5 998 393	1.35 %
1972	3 818 310 524	2.03 %	2000	6 077 350	1.32 %
1973	3 893 319 855	1.96 %	2001	6 155 012	1.28 %
1974	3 969 055 703	1.95 %	2002	6 232 666	1.26 %
1975	4 043 372 695	1.87 %	2003	6 309 979	1.24 %
1976	4 115 904 893	1.79 %	2004	6 387 631	1.23 %
1977	4 188 424 076	1.76 %	2005	6 465 450	1.22 %
1978	4 262 330 790	1.76 %	2006	6 543 264	1.20 %
1979	4 337 797 687	1.77 %	2007	6 620 996	1.19 %
1980	4 413 651 904	1.75 %	2008	6 699 876	1.19 %
1981	4 490 920 185	1.75 %	2009	6 778 968	1.18 %
1982	4 570 935 485	1.78 %	2010	6 858 401	1.17 %
1983	4 651 387 286	1.76 %	2011	6 946 106	1.28 %
1984	4 731 562 027	1.72 %	2012	7 023 092	1.11 %
1985	4 813 660 909	1.74 %	2013	7 102 814	1.14 %
1986	4 898 643 090	1.77 %	2014	7 183 848	1.14 %
1987	4 985 911 142	1.78 %	2015	7 266 171	1.15 %

Tabla N°1: Crecimiento poblacional. Período 1960 a 2015.³²

32 Fuente: <http://countrymeters.info/es/World>

Para el caso específico de Argentina en el mismo período de tiempo el crecimiento fue como se muestra en la Figura N°26 y en la Tabla N°2.



Figura N°26: Crecimiento poblacional en Argentina.³¹

Historia de la población de Argentina					
Año	Población	Tasa de crecimiento	Año	Población	Tasa de crecimiento
1960	20 623	N/A %	1988	31 713	1.47 %
1961	20 959	1.63 %	1989	32 170	1.44 %
1962	21 295	1.60 %	1990	32 624	1.41 %
1963	21 630	1.58 %	1991	33 075	1.38 %
1964	21 963	1.54 %	1992	33 520	1.35 %
1965	22 293	1.50 %	1993	33 961	1.32 %
1966	22 618	1.46 %	1994	34 399	1.29 %
1967	22 941	1.43 %	1995	34 833	1.26 %
1968	23 269	1.43 %	1996	35 264	1.24 %
1969	23 612	1.48 %	1997	35 690	1.21 %
1970	23 978	1.55 %	1998	36 109	1.17 %
1971	24 370	1.64 %	1999	36 514	1.12 %
1972	24 785	1.70 %	2000	36 903	1.06 %
1973	25 215	1.73 %	2001	37 273	1.00 %
1974	25 646	1.71 %	2002	37 627	0.95 %
1975	26 070	1.65 %	2003	37 970	0.91 %
1976	26 483	1.59 %	2004	38 308	0.89 %
1977	26 889	1.53 %	2005	38 647	0.89 %
1978	27 293	1.50 %	2006	38 988	0.88 %
1979	27 701	1.50 %	2007	39 331	0.88 %
1980	28 120	1.51 %	2008	39 676	0.88 %
1981	28 550	1.53 %	2009	40 023	0.88 %
1982	28 989	1.54 %	2010	40 374	0.88 %
1983	29 435	1.54 %	2011	40 728	0.88 %
1984	29 886	1.53 %	2012	41 086	0.88 %
1985	30 340	1.52 %	2013	41 504	1.02 %
1986	30 796	1.50 %	2014	41 926	1.02 %
1987	31 254	1.49 %	2015	42 352	1.02 %

Tabla N°2: Crecimiento poblacional en Argentina.³¹

Como se puede apreciar la población crece a niveles exponenciales en sólo una década. Esto, sumado a un crecimiento en la cantidad de dispositivos móviles con conexiones a internet indicado en la Figura N°27, nos lleva a pensar en la necesidad de una evolución dentro de las conexiones para poder abastecer las necesidades del mercado.

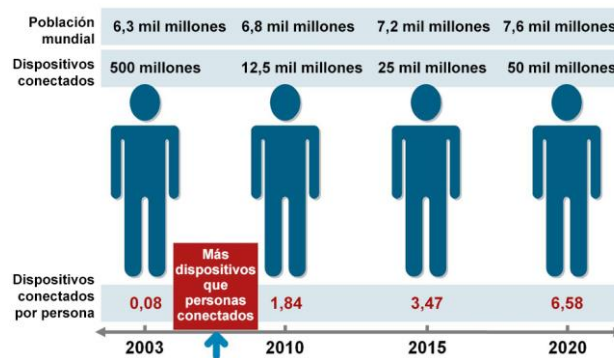


Figura N°27: Estadística de dispositivos activos por individuos.³³

La intromisión de las redes móviles en el escenario de los medios de comunicación, ha tenido una gran aceptación. Con respecto a las redes LTE, el Cuadro N°1 muestra un crecimiento anual en la cantidad de abonados de líneas activas. Asia lleva la delantera con un 47% de todas las conexiones globales, seguida por Norte América con un 32%, Europa con un 14%, y un poco más lejos se encuentra América de Sur representando un 2%, (Esto debido a su implementación reciente en 2012).

	# 4G Operators (Jan 2015)	# 4G Connections (millions)	% Total connections	% Global 4G Connections
Asia Pacific	62	232	6%	47%
North America	47	157	44%	32%
Europe	108	69	10%	14%
Latin America	55	12	2%	2%
CIS	22	11	3%	2%
Middle East /North Africa	26	6	1%	1%
Sub-Saharan Africa	32	3	0.4%	1%
TOTAL	352	490	7%	100%

All data Q4 2014, except where stated. Source: GSMA Intelligence

Cuadro N°1: Conexiones LTE por continente.³⁴

³³ Fuente: Seminario "El futuro de las Redes", dictado por la UTN Mendoza en octubre 2015

³⁴ Fuente: <http://www.gsma.com/newsroom/press-release/4g-networks-to-cover-more-third-of-global-pop-this-year/>

Se espera que para el año 2017 el total de las comunicaciones móviles se segmente como se muestra en la Figura N°28.

Tecnologías a 2017

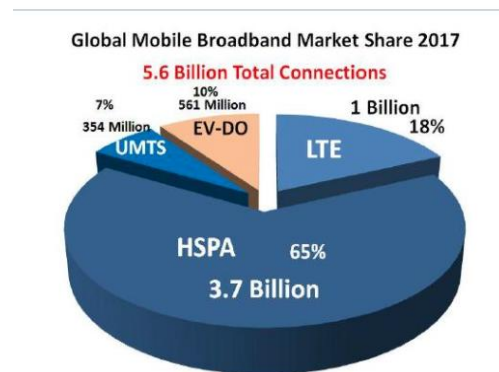


Figura N°28: Proyección del mercado de comunicaciones celulares.³⁵

En la actualidad los países que están desplegando la tecnología LTE Advanced (LTE versión 10) son Australia, Austria, Estonia, Finlandia, Alemania, China (en Hong Kong puntualmente), Portugal, Rumania, Rusia, Singapur, Eslovenia, Corea del Sur, España, Suiza y el Reino Unido.³⁶

³⁵ Fuente: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/LTE/Capitulo%201%20x6.pdf>

³⁶ Tomado del sitio: <https://www.wayerless.com/2015/01/lte-advanced-ha-sido-adoptada-por-20-operadoras-telefonicas-en-el-mundo/>, visitado el

4.2 Comparativa de tecnología Long Term Evolution y LTE Advanced

En esta sección en base al análisis de las distintas tecnologías LTE y la evolución del estándar LTE-A, se realizará una comparación entre LTE en su versión 8 y LTE en su versión 10, para definir las diferencias en cuanto a las mejoras propuestas por este último en diferentes técnicas de trabajo.

LTE Advanced (Versión 10) es la evolución al estándar de LTE propuesto, el cual cumple con los requerimientos del IMT-Advanced para considerarla la evolución a la 4^o generación de comunicaciones móviles.

Entre las mejoras presentadas se encuentran:

- Agregación de portadora.
- Sistemas de transmisión de múltiples antenas mejorado.
- Transmisión coordinada multipunto y recepción (CoMP).
- Retransmisión (Relaying).

Aunque en la versión 10 no se detallan a profundidad CoMP y Relaying, se nombran estas tecnologías para futuras versiones.³⁷

En el Cuadro N°2 encontramos una comparación resaltando las principales diferencias de LTE Advanced con la actual red LTE (Versión 8), tomando en cuenta parámetros como velocidad de transmisión, ancho de banda, eficiencia espectral, movilidad, latencia, capacidad de usuarios.

³⁷ Tomado del sitio: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>, visitado el 15/10/2015

Parámetro		LTE		LTE-Advanced	
Velocidad de transmisión pico	DL	300 Mbps (MU-MIMO 4x4, 64QAM, 20 MHz)	1.2 Gbps (SU-MIMO 8X8, 64 QAM, 2 CCs 40 MHz)	Asignación de portadora, MIMO	
	UL	75 Mbps (MU-MIMO 4x4, 64 QAM, 20 MHz)	600 Mbps (SU-MIMO 4X4, 64 QAM, 2 CCs 40 MHz)		
Ancho de banda soportado		Hasta 20 MHz	Hasta 100 MHz	Asignación de portadora	
Eficiencia espectral	Pico [bps/Hz]	DL	15	30	8x8 SU-MIMO
		UL	3.75	15	4x4 SU-MIMO
	Promedio [bps/Hz]	DL	1.87	3.7	CoMP, MIMO
		UL	1	2	CoMP, MIMO,

Borde de la celda [bps/Hz]	DL	0.06 (MIMO 4x2)	0.12 (MIMO 4x4)	CoMP, MIMO
	UL	0.03 (MIMO 2x4)	0.07 (MIMO 2x4)	CoMP MIMO,
Latencia en el plano de usuario		< 30 ms	< 10 ms	
Parámetro		LTE	LTE-Advanced	
Latencia en el plano de control		< 100 ms	< 50 ms	
Movilidad		Optimizado para bajas velocidades (< 15 km/hr) hasta los 120 km/hr. Los enlaces se mantienen hasta velocidades de 350 km/hr.	Optimizado para bajas velocidades (< 15 km/hr) hasta los 120 km/hr. Los enlaces se mantienen hasta velocidades de 350 km/hr.	
Radio de cobertura de una celda		5 km	5 km	
Número de usuarios en una celda		200 usuarios activos por celda en 5 MHz	600 usuarios activos por celda en 5 MHz	

Cuadro N°2: Principales diferencias entre LTE y LTE-A.

Después del análisis presentado en el cuadro anterior, se pueden detallar las siguientes diferencias:

Con respecto a las velocidades de transmisión, tomando el parámetro de pico del downlink, LTE alcanza una velocidad máxima de 300 Mbps aproximadamente, utilizando una configuración MU-MIMO 4x4, con un ancho de banda de 20 MHz. En el caso de LTE Advanced, alcanza una velocidad de 1.2 Gbps con una configuración SU-MIMO 8x8 y agregación de portadora de dos componentes de 20 MHz cada una, obteniendo un ancho de banda total de 40 MHz. En el parámetro pico del uplink en LTE encontramos 75 Mbps con una configuración similar al downlink. Para el caso de LTE Advanced, encontramos velocidades pico

de uplink de 600 Mbps utilizando una configuración SU-MIMO 4x4. En ambas tecnologías se utiliza una modulación 64QAM.

Con respecto a la eficiencia espectral, en LTE Advanced para soportar una eficiencia pico en el DL de 30 bps/Hz y de 15 bps/Hz en el UL, introduce esquemas de múltiples antenas basadas en MIMO 8x8 y MIMO 4x4, DL y UL respectivamente. En LTE-A se distinguen principalmente dos opciones: la primera se denomina single-site MIMO donde solamente una estación base es utilizada para la transmisión y la segunda se denomina multi-site MIMO donde varias estaciones base pueden colaborar en la transmisión de un único flujo de información

En el caso de la latencia y movilidad, la demora en LTE en el plano usuario es de 30 ms en comparación a LTE Advanced que se encuentra en 10 ms. En el plano de control esto es mayor, siendo para LTE de 100 ms y para LTE Advanced 50 ms. En cuanto a movilidad, en ambas tecnologías está optimizado para trabajar en rangos de 15 km/hr hasta los 120 km/hr, la velocidad de transmisión será menor a medida que se alcance un mayor movimiento. En condiciones de 120 km/hr hasta 350 km/hr, el usuario tendrá conexión pero en malas condiciones.

Respecto al número de usuarios conectados en una celda, identificamos en LTE un soporte para 200 usuarios y el LTE Advanced el triple, con 600 usuarios por celda.

En el caso de “Asignación de portadoras” (Desarrollado en el capítulo 3.4.1), para LTE Advanced se pueden usar hasta 5 asignaciones de diferente ancho de banda, de distinta banda de frecuencia, para así lograr sumar un ancho de banda de 100 MHz. Las asignaciones pueden tener un ancho de banda de hasta 20 MHz.

En el plano de usuario, en específico con el UE (Equipo del usuario) que se utiliza para conectarse a estas tecnologías, será necesario actualizar el dispositivo dependiendo el caso. Los celulares que funcionan con LTE-A deben ser categoría 6 o superior. Las categorías de conectividad de equipos definen los parámetros de capacidad de acceso de radio del UE y las capacidades mínimas para el uso de esta

tecnología. Se enumeran en esta especificación un campo definido en TS 36.331. En la tabla N°3 se especifican algunos de estos parámetros.³⁸

(E-UTRA) LTE Categories – Ref. 3GPP TS 36.306(2015-03)		
Category	Max Download (Mbps)	Max Upload (Mbps)
Category 0	1	1
Category 1	10	5
Category 2	50	25
Category 3	100	50
Category 4	150	50
Category 5	300	75
Category 6	300	50
Category 7	300	100
Category 8	3000	1500
Category 9	450	50
Category 10	450	100
Category 11	600	50
Category 12	600	100
Category 13	390	150
Category 14	3900	1500

Via: The 3G4G Blog - blog.3g4g.co.uk

Tabla N°3: Categoría de equipos de usuario (UE).³⁹

Esto implica una inversión por parte del usuario en nuevo equipamiento, para poder utilizar LTE-A.

Algunos UE presentes en el mercado con este tipo de categoría están especificados en la Tabla N°4:

UE	Tipo	Velocidad MAX de conectividad	Categoría
iPhone 6S	Smartphone	300 Mbit/s	6
iPhone 6S Plus	Smartphone	300 Mbit/s	6
iPad Pro	Tablet	300 Mbit/s	6
One (M9)	Smartphone	300 Mbit/s	6
One (A9)	Smartphone	300 Mbit/s	6
HTC 10	Smartphone	450 Mbit/s	9
Galaxy S5 LTE+	Smartphone	300 Mbit/s	6
Galaxy S6	Smartphone	300 Mbit/s	6
Galaxy S6 Edge+	Smartphone	450 Mbit/s	9

Tabla N°4 Equipos con soporte a categoría 6.^{40 41}

³⁸ Tomado del sitio: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136306/10.00.00_60/ts_136306v100000p.pdf, visitado el día 01/02/2015

³⁹ Fuente: <http://blog.3g4g.co.uk>

Para poder ofrecer esta nueva tecnología, las compañías de comunicaciones deben hacer una inversión en nuevos equipamientos e instalación de micro, pico y femto celdas (Según la necesidad del sitio a ofrecer cobertura) para “rellenar” los espacios con bajo Bit rate.⁴²

La mezcla de diferentes tipos de equipamiento trabajando en conjunto y sin problemas, se conoce como redes heterogéneas o HetNet. En la Figura N°29 se aprecia el uso de esta tecnología.⁴³

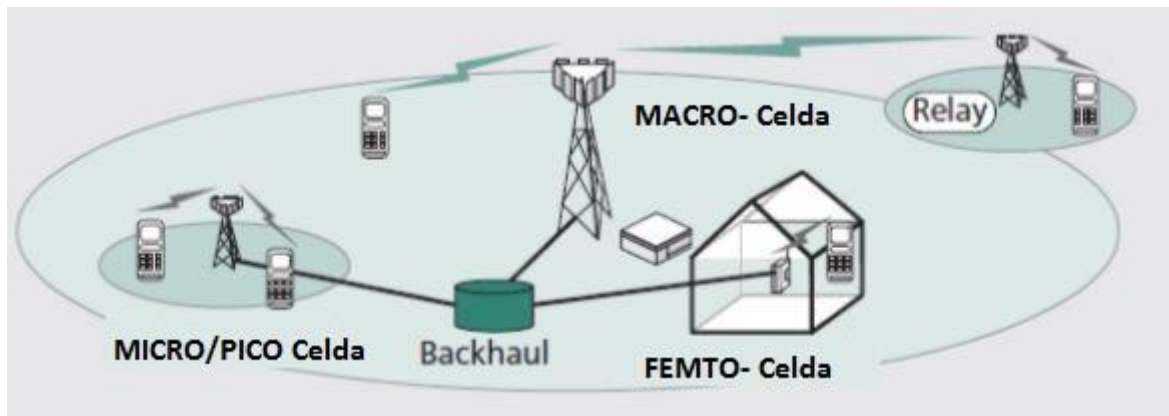


Figura N°29: Redes HetNet. ⁴¹

40 Fuente: <http://www.apple.com/iphone-6s/technology/>

41 Fuente: http://www.chip.de/news/Samsung-Galaxy-S5-LTE-Schnelles-Topmodell-im-September_70459525.html

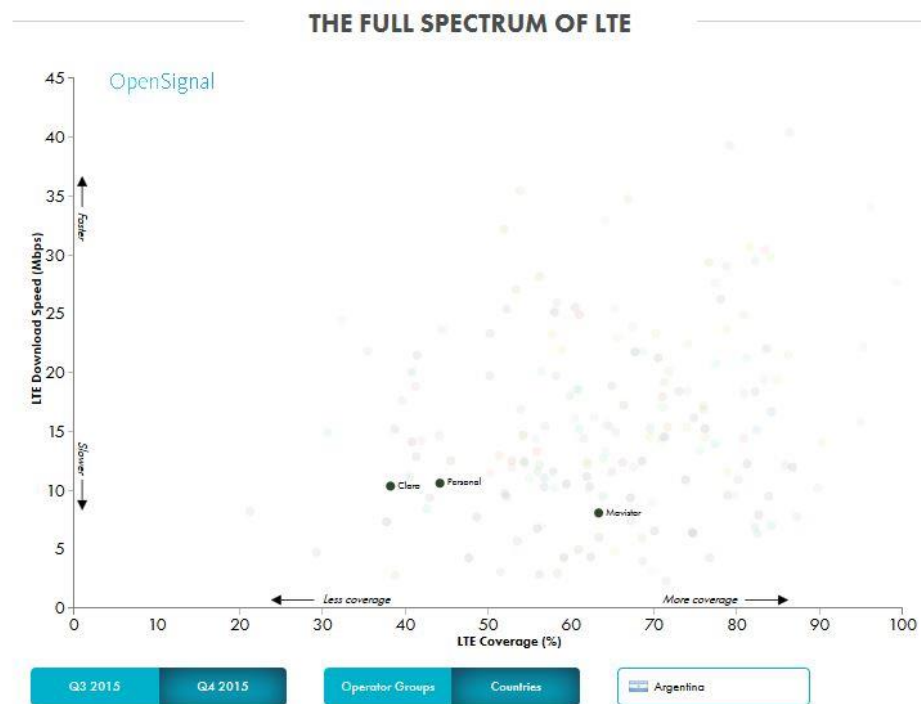
42 Seminario: “El futuro de las Redes”, dictado por la UTN Mendoza en octubre 2015

43 Publicación: Correia, L.M. et al., “Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks,” IEEE Communications Magazine, vol.48, Noviembre 2010.

4.3 Despliegue actual de una red de referencia LTE en un área específica (Ciudad de Mendoza).⁴⁴

Como se desprende del informe detallado realizado por OpenSignal (Página web que compara el estado actual de la red en varios países del mundo, analizando sus diferencias), la red Long Term Evolution o conocido comercialmente en Argentina como 4G, realiza una contraposición entre las compañías que prestan dicho servicio en el país, analizando varios aspectos como la penetración de su uso, cobertura de la red, velocidades alcanzadas entre otros.

Como se observa en la Figura N°30, la empresa Movistar, a nivel país, tiene una cobertura del 63%, seguido por Personal con 44% y por último Claro con el 38%.



44 Tomado del sitio: <http://opensignal.com/reports/2016/02/state-of-lte-q4-2015/>, visitado el día 01/02/2015

Figura N°30 Comparativa sobre cobertura LTE brindada por las empresas.⁴³

Con respecto a las velocidades Download máximas que ofrecen, como se observa en la Figura N°31 a nivel país se encuentra en primer lugar a Personal con 11 Mbps, seguido por Claro con 10 Mbps y por ultimo a Movistar con 8 Mbps.

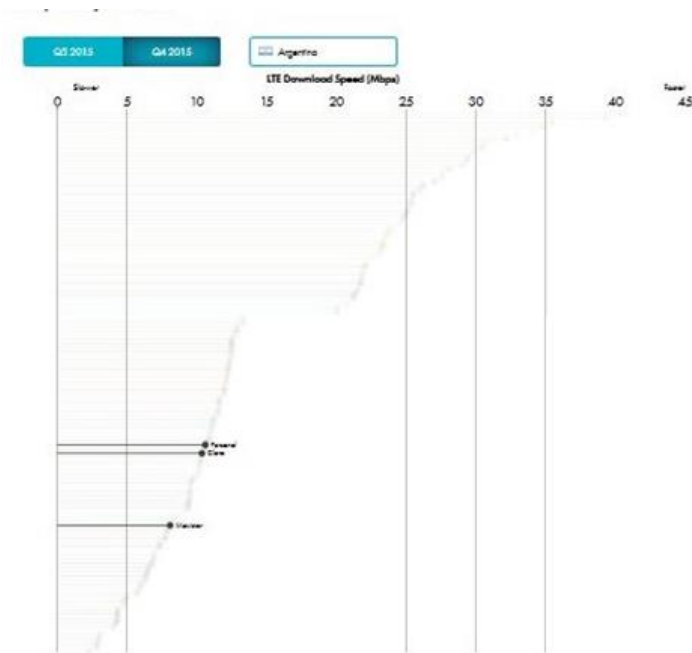


Figura N°31 Velocidades máximas ofrecidas por empresas de comunicaciones.⁴³

Actualmente el despliegue de la red LTE versión 8 y su inserción en la provincia de Mendoza, específicamente en la Ciudad de Mendoza y después de su primera implementación en diciembre de 2014, presenta la siguiente cobertura y características, apreciable en la Figura N° 32. Se encuentran tres compañías que comercializan dicha tecnología, las cuales son Movistar, Claro y Personal.

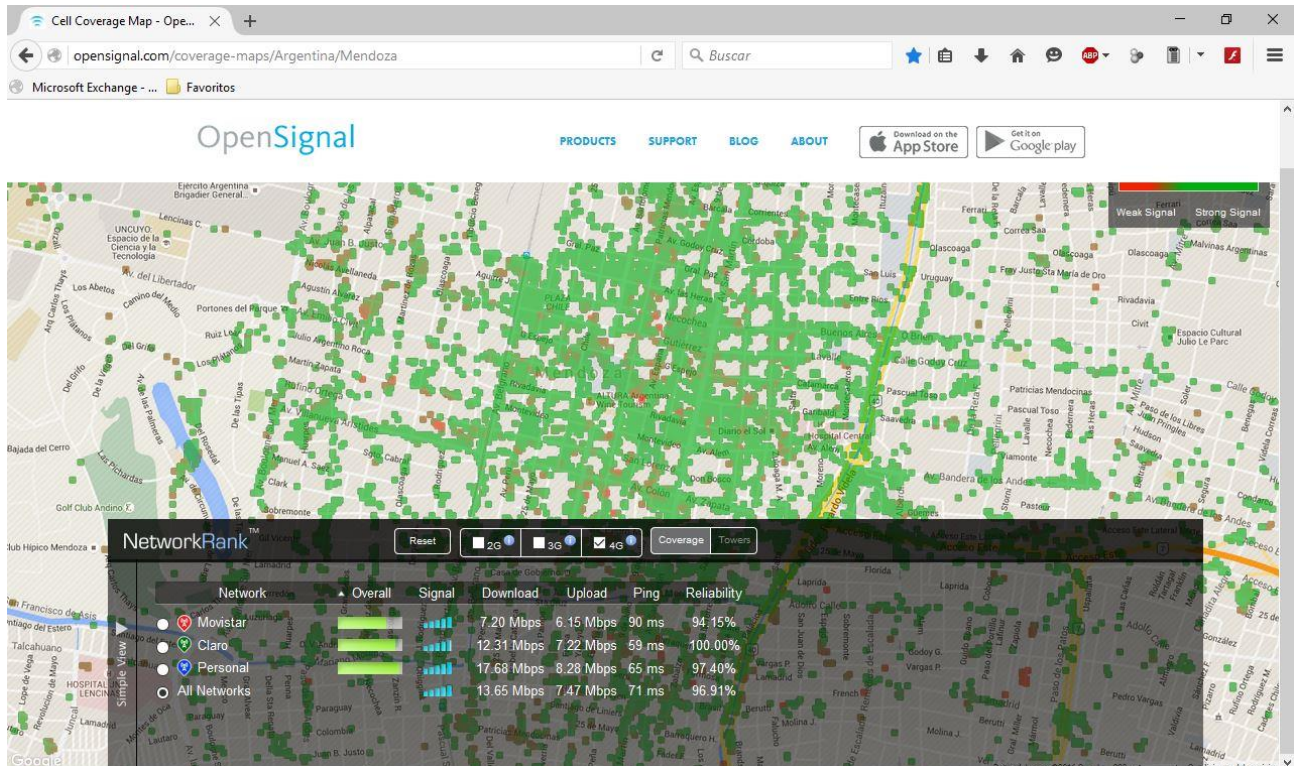


Figura N° 32: Mapa de cobertura de red LTE versión 8, en la Ciudad de Mendoza Argentina.⁴⁵

En el caso de las compañías Movistar y Personal, que comenzaron a prestar el servicio en diciembre de 2014, se aprecia una velocidad de Download promedio de 7.2 Mbps y 17.68 Mbps respectivamente. La compañía Claro, que puso su servicio en funcionamiento en junio de 2015, tiene una velocidad de Download promedio de 12.31 Mbps.

Resaltado en puntos verdes se encuentra la cobertura de LTE de la empresa Claro, los puntos rojos de Movistar y Azul de Personal.⁴⁶

Respecto a las antenas distribuidas por la Ciudad de Mendoza, como se observa en la Figura N°33, Movistar tiene 40 estaciones eNodeB, Claro tiene 58 y la empresa Personal 2, todas éstas situadas en los puntos marcados en el mapa.

⁴⁵ Fuente: <http://opensignal.com/>

⁴⁶ Tomado del sitio: http://www.4gamericas.org/files/7114/5703/8731/02_LTE_Latin_America_3.1.16x.pdf, visitado el día 01/02/2016

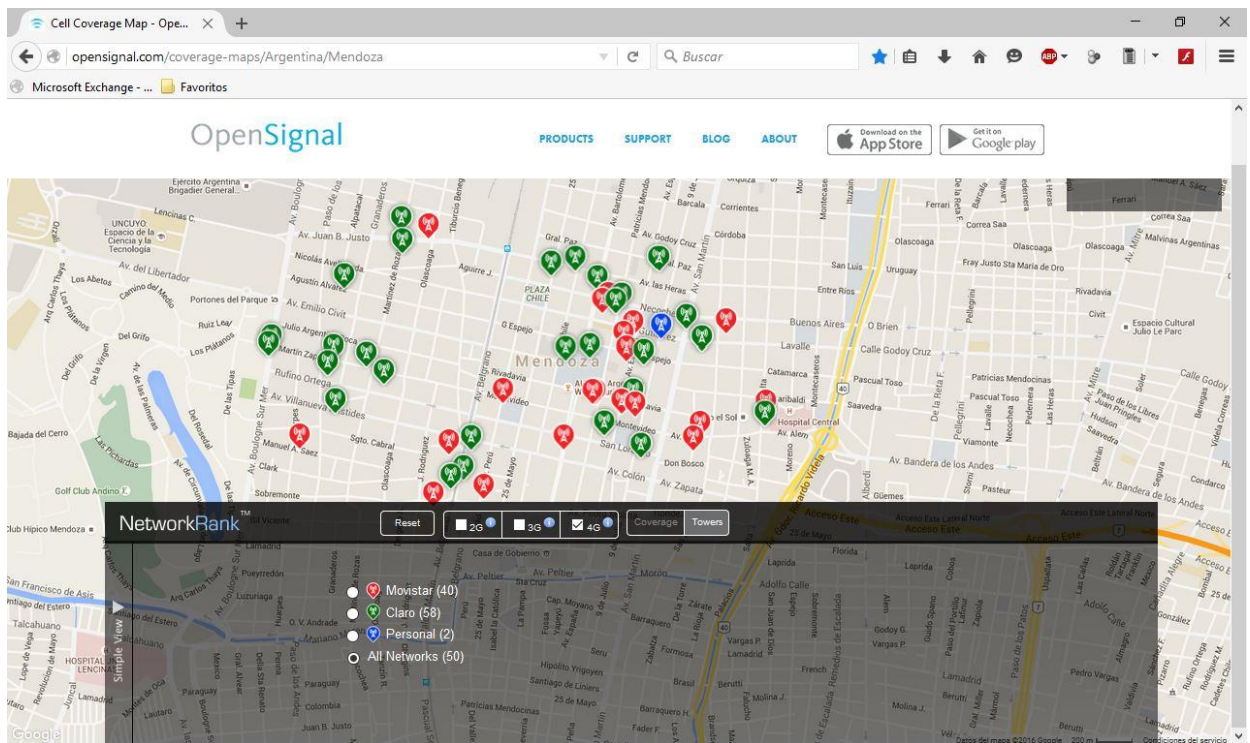


Figura N°33: Mapa de torres de red con LTE versión 8, en la Ciudad de Mendoza Argentina.⁴⁷

En el caso de la compañía Claro según se desprende del Grafico N°1 entre las redes que dispone, LTE representa un 9% de su red.

Network types used by Claro

Claro uses the following networks types on its network.

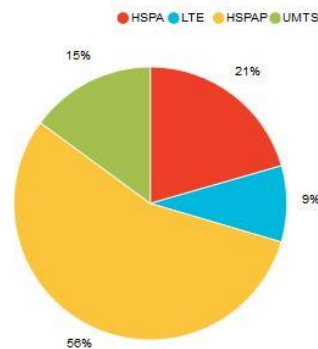


Gráfico N°1: Redes utilizadas por Claro, en la Ciudad de Mendoza Argentina.⁴⁸

⁴⁷ Fuente: <http://opensignal.com/>

⁴⁸ Fuente: <http://opensignal.com/>

En la Tabla N°5 se encuentran los datos estadísticos de las redes soportadas por Claro, utilizando LTE en velocidad de Download y Upload presenta 10 Mbps y 6.8 Mbps respectivamente. La latencia de esta tecnología es de 156 ms.

Statistics table for Claro

Mobile Country Code	722
Mobile Network Code	310
3G Download Speed	1.2 Mb/s
4G Download Speed	10.5 Mb/s
3G Upload Speed	0.5 Mb/s
4G Upload Speed	6.8 Mb/s
2G Latency	817 ms
3G Latency	473 ms
4G Latency	156 ms
2G Data Reliability	74 %
3G Data Reliability	92 %
4G Data Reliability	99 %

Tabla N°5: Estadísticas de redes de la Empresa Claro, en la Ciudad de Mendoza Argentina.⁴⁹

Para el caso de la empresa Movistar, como se muestra en la Grafica N°2, de las redes soportadas por este prestador, Long Term Evolution representa un 42%

⁴⁹ Fuente: <http://opensignal.com/>

Network types used by Movistar

Movistar uses the following networks types on its network.

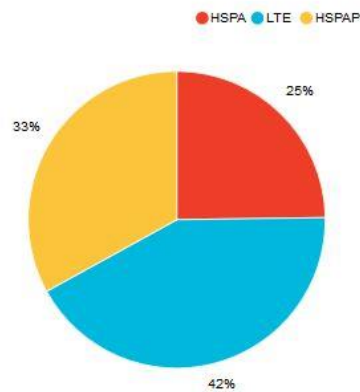


Gráfico N°2: Redes utilizadas por Movistar, en la Ciudad de Mendoza Argentina.⁵⁰

En la Tabla N° 6 se encuentra las estadísticas de uso de las tecnologías de Movistar, para LTE en velocidad promedio de Download y Upload de 10.8 Mbps y 6 Mbps respectivamente, con una latencia de red de 122 ms.

Statistics table for Movistar

Mobile Country Code	722
Mobile Network Code	1
3G Download Speed	1.4 Mb/s
4G Download Speed	10.8 Mb/s
3G Upload Speed	0.6 Mb/s
4G Upload Speed	6 Mb/s
2G Latency	619 ms
3G Latency	513 ms
4G Latency	122 ms
2G Data Reliability	61 %
3G Data Reliability	91 %
4G Data Reliability	98 %

Tabla N° 6: Estadísticas de redes de la empresa Movistar en la Ciudad de Mendoza - Argentina.⁵¹

⁵⁰ Fuente: <http://opensignal.com/>

En el caso de Personal, como muestra el Grafico N°3, LTE representa un 21% de las tecnologías usadas por esta empresa.

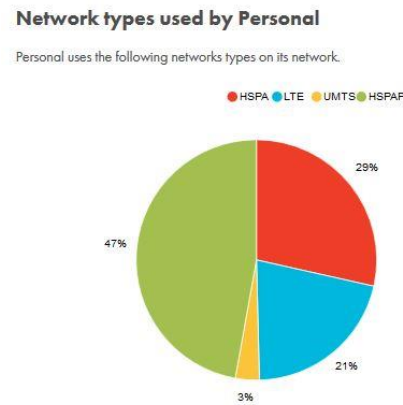


Gráfico N°3: Red utilizada por Personal en la Ciudad de Mendoza - Argentina.⁵²

En la Tabla N° 7 podemos encontrar que, para el caso de LTE, la velocidad máxima utilizada por Personal tanto para Download como Upload es de 9.8 Mbps y 8.5 Mbps respectivamente. La latencia presente en su red es de 114 ms.

51 Tomado del sitio: <http://opensignal.com/>, visitado el día 01/02/2016.

52 Fuente: <http://opensignal.com/>

Statistics table for Personal

Mobile Country Code	722
Mobile Network Code	341
3G Download Speed	1.1 Mb/s
4G Download Speed	9.8 Mb/s
3G Upload Speed	0.5 Mb/s
4G Upload Speed	8.5 Mb/s
2G Latency	567 ms
3G Latency	502 ms
4G Latency	114 ms
2G Data Reliability	52 %
3G Data Reliability	88 %
4G Data Reliability	97 %

Tabla N° 7: Estadísticas de redes de la empresa Personal en la Ciudad de Mendoza - Argentina.⁵³

Para la red de referencia en la Ciudad de Mendoza, se toma la información brindada por la empresa Claro, la cual puso en funcionamiento la tecnología LTE en julio de 2015. El esquema general de la red se observa en la Figura N°34 en la cual también se aprecia la distribución básica de los componentes de red.

⁵³ Fuente: <http://opensignal.com/>

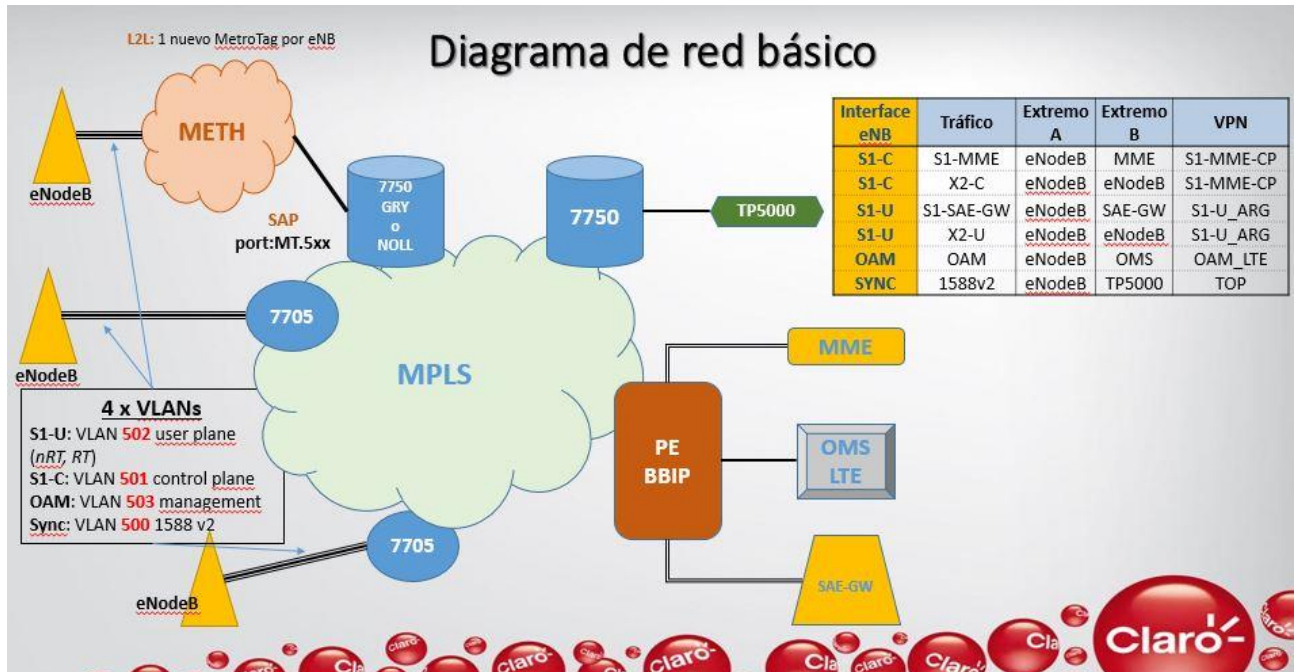


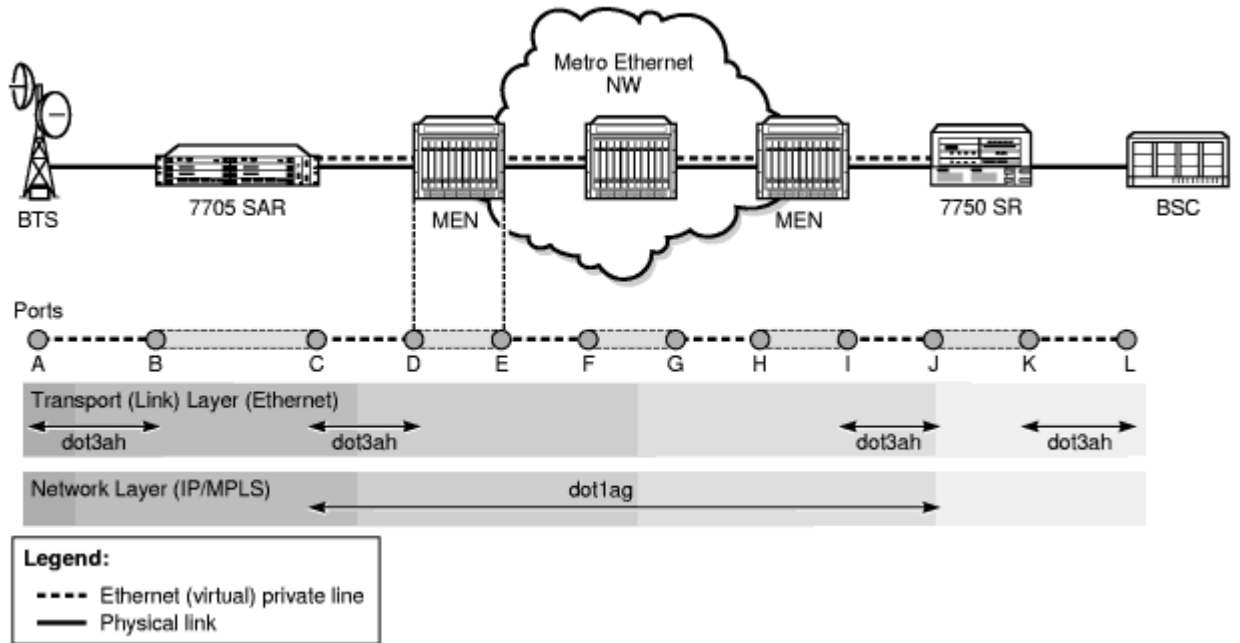
Figura N°34: Esquema de red general de la empresa Claro Argentina para tecnología LTE.⁵⁴

En la figura N° 34 se aprecian las diferentes interconexiones de los nodos eNodeB, los cuales proporcionan el enlace de radio de la tecnología LTE. Las interfaces utilizadas para comunicarse entre ellas son las llamadas X2 (Visto en el capítulo N° 2.2.3.5). La interfaz S1 sirve para conectar los nodos con el MME (Entidad de Gestión de Movilidad) encargado de proporcionar el control de las conexiones y desconexiones de los usuarios o UE. Para el transporte se utiliza MPLS o mecanismo de transporte de datos, el cual opera en capa 3 del modelo OSI. Este mecanismo fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos en forma de paquetes, incluyendo voz y datos. En el caso específico de la empresa Claro, se utiliza por el momento para el transporte de datos, para los paquetes de voz se utiliza la antigua red 3G. Es decir, que al momento de realizar una llamada, el UE cambia de red por 3G o 2G.

Para la conexión de los nodos con el MPLS se utilizan routers de la empresa Alcatel (Alcatel-Lucent 7705 SAR).

Se puede observar en la Figura N°35 un esquema básico de este tipo de conexión:

⁵⁴ Fuente: Tomado de la presentación "Despliegue LTE Argentina, Esquema de Conectividad IP", provisto por la empresa Claro Argentina. (Anexo 1)



20477

Figura N° 35: Utilización de Alcatel Lucent 7705 para conexión IP/MPLS.⁵⁵

La empresa Claro trabaja en la frecuencia de 2100 MHz para LTE, con un esquema de modulación de 256QAM adaptativo. Asegura que su red tiene un ancho de banda máximo de 20 MHz y una velocidad máxima de 100 Mbps. Como se observa en la Tabla N° 8, la red está distribuida en Mendoza con un total de 76 nodos eNodeB conectados hacia una central en Córdoba, la cual realiza el control de la tecnología LTE.

Etapa	FASE	Sub-Etapa	Tiempo de la Etapa/Subetapa [meses]	Tiempo Acumulado [meses]	AMBA	AMBA (SUBTE)	Cordoba	Mar del Plata	Mendoza	Rosario	Resto	Rutas	TOTAL
1	Fase 1 (600 + 178)	1	2	2	191		35	12	20	11			269
1	Fase 1 (600 + 178)	2	2	4	211		49						260
1	Fase 1 (600 + 178)	3	2	6	251								251
1	Fase 2	4	2	8	136		32	26	17	15	91		317
1	Fase 2	5	2	10	154		22	8	14	31	83		312
1	Fase 3	6	2	12	125	78	48	33	25	12	52		373
1	Fase 3	7	2	14							225	88	313
1	Fase 3	8	2	16								207	207
TOTAL			16		1068	78	186	79	76	69	451	295	2302

TOTAL eNB	Fase 1 (600 + 178)	780
TOTAL eNB	Fase 2	1002
TOTAL eNB	Fase 3	520

Tabla N°8: Distribución de nodos eNB de la empresa Claro Argentina.⁵⁶

⁵⁵ Fuente: <https://infocenter.alcatel-lucent.com/public/770562R1A/topic/com.sar.oam/html/graphics/ti019485.gif>

Para esta conexión entre eNB y red EPC se utilizan redes VPN que interconectan los nodos hacia Córdoba, como se observa en la Figura N° 36 con un caso que sirve como ejemplo.

S1 Interface

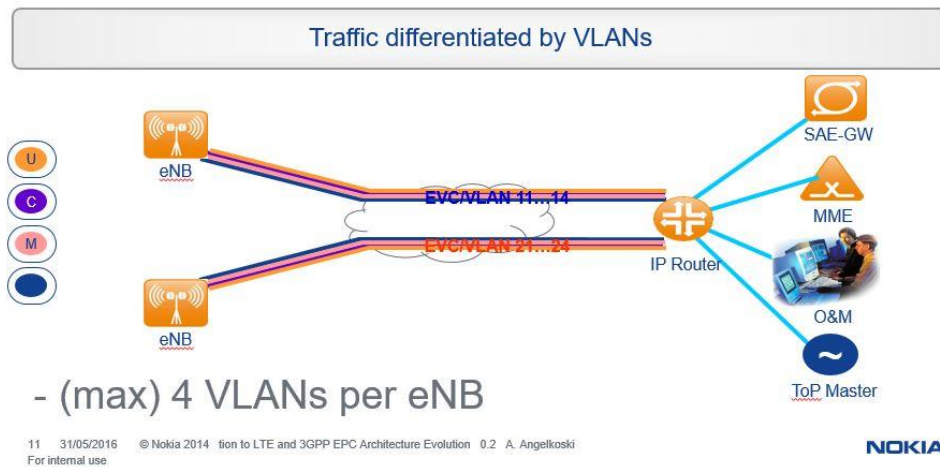


Figura N° 36: Tipos de VLAN en nodos eNB de la empresa Claro Argentina.⁵⁷

4.4 Técnicas de migración desde una red LTE V.8 a LTE-A V.10

⁵⁶ Fuente: Tomado de la presentación "LTE Argentina Kickoff (Nokia)", provisto por la empresa Claro Argentina.(Anexo 2)

⁵⁷ Fuente: Tomado de la presentación "LTE Argentina Kickoff (Nokia)", provisto por la empresa Claro Argentina.(Anexo 2)

Para conocer el nivel de actualización necesario tanto en equipamiento como en arquitectura para desplegar el nuevo servicio de Long Term Evolution Advanced, se desarrolla la actual configuración de una red LTE y así poder comprender los pasos necesarios para actualizar la red de comunicaciones actuales.

Las redes LTE, como se desarrolló en el capítulo 2.2, cuentan con una red E-UTRAN la cual se compone de los usuarios UE, una red EPC y nodos (Antenas) eNodeB las cuales sirven como conexión para esta tecnología,.

En la figura N° 37 se puede observar la distribución de esta red:

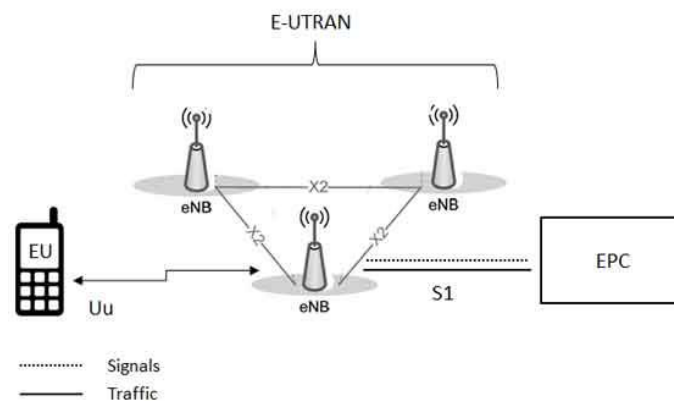


Figura N°37: Arquitectura básica de una red LTE. ⁵⁸

Una distribución típica de una estación eNB se puede observar en la Figura N°38, en ella se encuentran los componentes básicos presentes en estos.

⁵⁸ Fuente: CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLEN, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona: Fundación Vodafone. España, 2010.

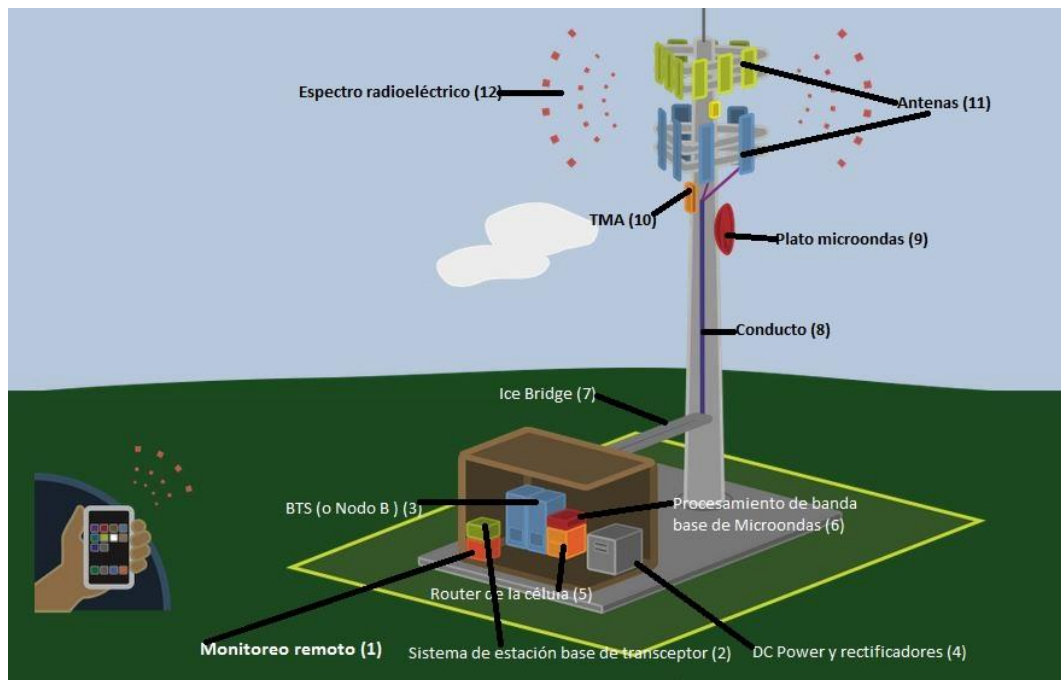


Figura N°38: Arquitectura de un nodo eNodeB LTE.⁵⁹

1-Monitoreo remoto: Debido a que el sitio de la celda normalmente se encuentra en un lugar remoto, tiene la capacidad para reportar alarmas a un centro de operaciones de red central.

2-Sistema de estación base de transceptor: Equipo LTE, es el más reciente que los equipos de generación anterior. Son más pequeños y combina la tecnología en un solo armario. La unidad contiene unidades de procesamiento de banda base para cada sector y por lo general tiene un cabezal de radio remoto en la parte superior de la torre. Lo comercializan compañías como: Alcatel - Lucent, Ericsson, Huawei, Motorola, NSN y Samsung.

3-BTS: Sistema de estación base de transceptor (o Nodo B). Proporciona las comunicaciones primarias al teléfono del abonado. Sirve para los estándares 2G o 3G, por ejemplo GSM, EDGE, UMTS, HSPA). Contiene unidades de procesamiento de banda base para cada sector y amplificadores de potencia. Comercializado por: Alcatel - Lucent, Ericsson, Huawei, Motorola, NSN y Samsung.

4- DC Power y rectificadores: Equipo que se ubica en el sitio de la celda. Se ejecuta generalmente en -48 V CC, por lo que el sitio debe tener rectificadores de potencia para proporcionar la alimentación de CC. También por lo general tiene baterías o pilas de combustible de respaldo para proporcionar energía de reserva si la alimentación principal es interrumpida. Por lo general, las baterías de emergencia pueden alimentar el sitio de entre una hora y ocho horas.

⁵⁹ Fuente: <http://www.withoutthecat.com/>

5-Router de la célula: Gestiona la conexión entre el enlace de red de retorno (Al conmutador móvil central, que a su vez conecta con el mundo exterior) y los dispositivos en el sitio de la célula, tales como las diversas BTS. Es comercializado por compañías como Alcatel- Lucent, Cisco, Juniper y Tellabs.

6-Procesamiento de banda base microondas: Son unidades que procesan las señales de radio recibidas y transmitidas por el plato de microondas. Son comercializados por compañías como Alcatel -Lucent y Ericsson.

7-Puente de hielo: Es la estructura que protege los cables, ya que atraviesan el refugio a la torre. Esto se utiliza para proteger los cables y evitar una acumulación de hielo en los meses fríos.

8-Conducto: Es la estructura que conecta el medio que transmite la señal entre los elementos en la parte superior de la torre y los elementos en la parte inferior de la torre. Éste puede alojar cables de radiofrecuencia, la guía de ondas (La cual es más grueso que el cable de RF y se utiliza para estructuras más altas) o fibra óptica o cables de alimentación.

9-Plato microondas: Proporciona una conexión backhaul a la oficina central, la cual se conecta a la red de Internet o telefonía pública. En general, estos funcionan a frecuencias mucho más altas que el espectro de acceso regular, tal como 6 GHz.

10-Torre amplificador montado (TMA): Es un amplificador de bajo ruido que ayuda a mejorar la capacidad de la estación base a " escuchar " las señales recibidas.

11-Antena: Es el dispositivo que transmite y recibe ondas de radio desde el sitio. Cuanto mayor sea la frecuencia de espectro con el apoyo de la antena, más corto es el de la antena. Así las antenas azules pueden representar antenas 850 MHz, mientras que las antenas verdes más cortas pueden representar 1,9 GHz (también conocido como 1900 MHz).

12-Espectro radioeléctrico: Describe las ondas de radio que se envían y reciben entre la torre y el terminal del usuario. Por lo general, se describe en términos de frecuencia.

En la Figura N° 39 se observa una torre eNodeB, en este caso con una configuración Multiradio Concentrada la cual es típica para tres sectores, con módulos de radio concentrados, en escenarios con antenas ubicadas en monopostes y torres.

- Alimentación DC desde SM a través de OVP (Over Voltage Protection)
- Fibra de 50m o 100m
- Debido al MIMO 2x2, 2 fibras por RF Module
- 3 antenas Kathrein modelo 80010620 2600MHz
- Power Backup: FPRA + Battery Box

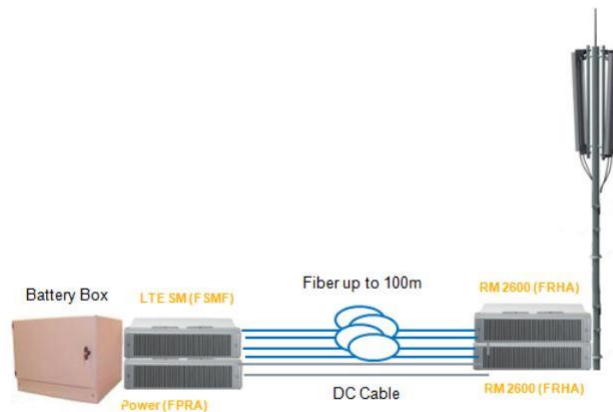


Figura 6: Solución eNodeB Flexi Multiradio concentrada [6]

Figura N° 39: eNB Flexi Multiradio Concentrada. ⁶⁰

Otro tipo de arquitectura se observa en la Figura N° 40, para el caso de una configuración multiradio distribuida se utiliza para uno o más sectores, con antenas y RF distribuidos, sirven en escenarios de terrazas y azoteas, donde se requiere separar las antenas para ubicar las mismas en diversas caras del edificio.

⁶⁰ Fuente: <http://networks.nokia.com/portfolio/products/mobile-broadband/single-ran-advanced/flexi-multiradio-10-base-station>

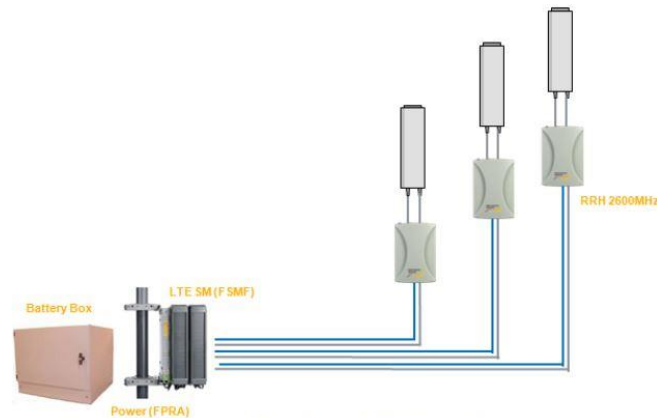


Figura 7: Solución eNodeB Flexi Multiradio distribuida [6]

Figura N° 40: eNB Flexi Multiradio distribuida. ⁶¹

Uno de las grandes diferencias que se presentan en LTE-A respecto a LTE, es el ancho de banda soportado. En LTE-A la limitación de su antecesora (Un ancho de banda de 20 MHz) se ve superada con el uso de la agregación de portadoras, lo cual aumenta éste a 100 MHz utilizando una combinación de hasta cinco portadoras de 20 MHz cada una como muestra la Figura N° 41.

La agregación de múltiples portadoras LTE (Inter-band, Intra-band continua y no continua visto en el capítulo 3.4) permite aumentar la velocidad de datos de 300 Mbps a 3 Gbps. LTE-A es compatible con versiones anteriores de red como LTE y 3G, gracias al uso de portadoras de 20 MHz.

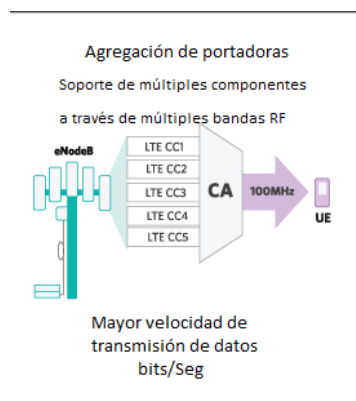


Figura N°41: Agregación de portadoras. ⁶²

⁶¹ Fuente: Nokia Academy, "LTE End to End System Part 1", Nokia Academy, 2014.

⁶² Fuente: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/6062>

Para el caso específico de Argentina, en diciembre de 2014 la Secretaría de Comunicaciones anunció la adjudicación del bloque denominado AWS (Una combinación de frecuencias en 1700 y 2100 MHz), para las compañías Claro, Personal y Movistar. En ese momento no fue licitada la banda de 700 MHz, la cual se puede utilizar para ofrecer la técnica de Agregación de Portadoras.

En junio de 2015 el Gobierno de Argentina terminó adjudicando ese espectro de frecuencias (700 MHz) a las compañías nombradas, con lo cual se puede desarrollar el uso de las frecuencias nuevas para ofrecer el CA.

En la Tabla N° 9 se encuentran las asignaciones de frecuencias actuales en Argentina, para el uso de las comunicaciones móviles.

Compañías	Bandas 700 MHz	Bandas 1700 / 2100 MHz
Claro	723-738 y 778-793	1720-1730 y 2120-2130
Movistar	703-713 MHz y 758-768	1710-1720 y 2110-2120
Personal	713-723 MHz y 768-778	1730-1745 y 2130-2145

Tabla N°9: Frecuencias adjudicadas comunicaciones móviles en Argentina (Elaboración propia).⁶³⁶⁴

Con la liberación del uso del espectro de 700 MHz, las operadoras están en condiciones de ofrecer nuevas técnicas de transmisión, haciendo uso de asignación de portadoras de modo Inter Band no contigua.

Para trabajar en estas frecuencias y en estas velocidades, es necesario un cambio en la arquitectura de la existente red LTE. En un área densamente poblada como una ciudad, la distancia de los Nodos eNB con respecto a los UE juega un papel importante. Como se observa en la Figura N° 42 dependiendo de la distancia que se encuentre éste de la antena próxima, se determina la velocidad de modulación que permite (Se utilizan esquemas de modulación adaptativa), lo cual influye en la velocidad de datos.

63 Tomado del sitio: <http://www.lanacion.com.ar/1801170-adjudican-las-frecuencias-de-700-mhz-para-ampliar-el-4g-en-la-argentina>, visitado el día 01/02/2016.

64 Tomado del sitio: <http://www.enacom.gob.ar/>, visitado el día 01/02/2016.

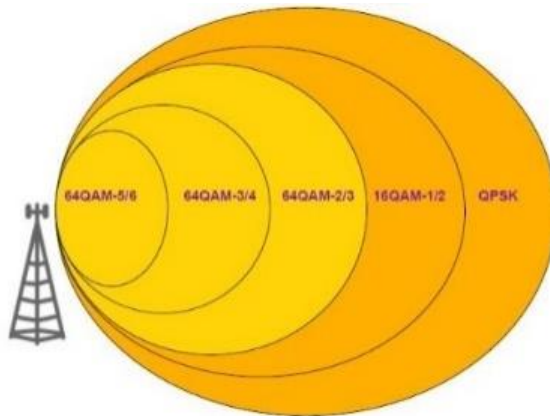


Figura N° 42: Esquemas de modulación con respecto a la distancia del usuario.⁶⁵

Un requisito necesario en la implementación de LTE-A es el uso de redes heterogéneas o HetNet (Figura N° 43), la cual dispone de diferentes tipos de estaciones (como se observan en la Tabla N° 10), en una misma área geográfica. Para poder ofrecer este servicio, las compañías de comunicaciones deben desplegar, o agregar según sea el caso, nuevos equipamientos, integrándolos a la existente red LTE. Un ejemplo de esto son las nuevas “Pico-celdas” o “Small cells”, los cuales son dispositivos de menor tamaño y potencia que las microceldas. Éstos pueden ser colocados en negocios, edificios y postes de luz, permitiendo a los operadores de servicio extender la cobertura en interiores, además de liberar canales de comunicación en las estaciones base cercanas.

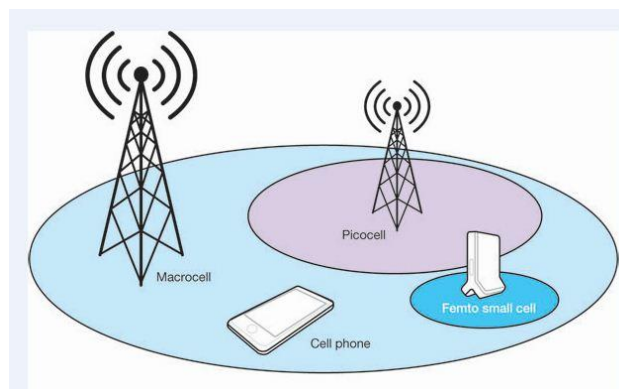


Figura N° 43: Redes HetNet.⁶⁶

⁶⁵ Fuente: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/LTE/Capitulo%201%20x6.pdf>

⁶⁶ Fuente: <http://mwr.com/mixed-signal-semiconductors/hetnet-solutions-advance-while-femtocell-transceivers-cut-design-costs>

Tipos de Celdas	Características
Macroceldas	Amplia cobertura de área. LTE apoya las células hasta un rango de 100 km, pero las distancias típicas son de 5 km de radio. Siempre instalado en el exterior.
Microceldas	Cubre un área más pequeña, como un hotel o centro comercial. Rango de 2 km, 5 - 10W, y 256 - 512 usuarios. Por lo general, instalado al aire libre.
Picoceldas	En Interior o al aire libre. Células al aire libre también llamados "metrocells" El rango típico de 15 a 200 metros en el exterior y del 10 al 25 metros en interiores, 1 -2W, 64 - 128 usuarios. Desplegada por los operadores principalmente para ampliar la capacidad.
Femtoceldas	Para interiores. Rango de 10 metros, menos de 50 Mw, 4 a 6 usuarios. Por lo general es desplegada por usuarios finales que utilizan su propia red de retorno.

Tabla N°10: Tipos de celdas en redes HetNet.⁶⁷

Como se observa en la Figura N° 44, las redes HetNet permiten una mayor cobertura y velocidad a los UE. También se observa el uso de diferentes estaciones coordinadas para mejorar el throughput en el borde de la celda (Cell-edge).

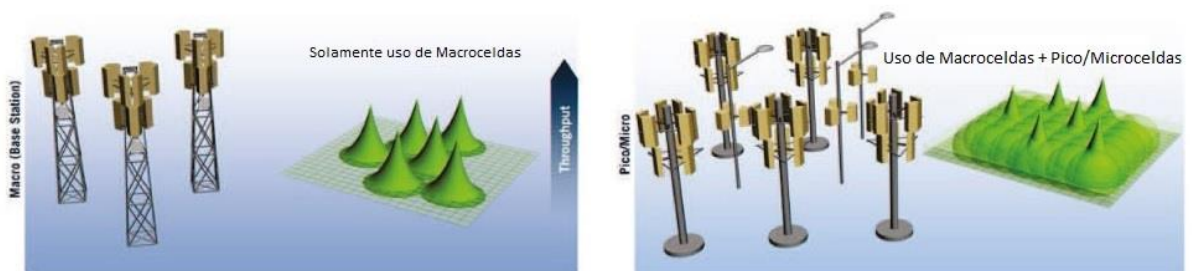


Figura N°44: Comparación macroceldas con uso de redes HetNet.⁶⁸

Otra nueva modificación respecto a LTE, es el uso de “MIMO Mejorado” (Desarrollado en el capítulo 3.4.2), con el cual se incrementa el número de antenas (dVirtual o físicamente) de transmisión y recepción, implicadas en el intercambio de señales. Se

67 Fuente: http://www.4gamericas.org/files/9214/3991/2167/4G_Americas_Rysavy_Research_LTE_and_5G_Innovation_white_paper.pdf

68 Fuente: <http://electronicdesign.com/4g/understanding-small-cell-unification-s-vital-role-lte-and-4g>

implementan hasta 8 para el downlink y 4 para el uplink, como se observa En la Figura N° 45.



Figura N° 45: MIMO LTE-A.⁶⁹

Esta implementación se percibe como una adaptación multimodo, respecto de la transmisión y la recepción. En este punto se pueden encontrar diferentes tipos de técnicas para ofrecer MIMO. En la Figura N° 46 se observan las más sobresaliente, tales como:

- Mimo cooperativo
- SU-MIMO o MIMO mono usuario
- MU-MIMO o MIMO multiusuario

⁶⁹ Fuente: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/6062>

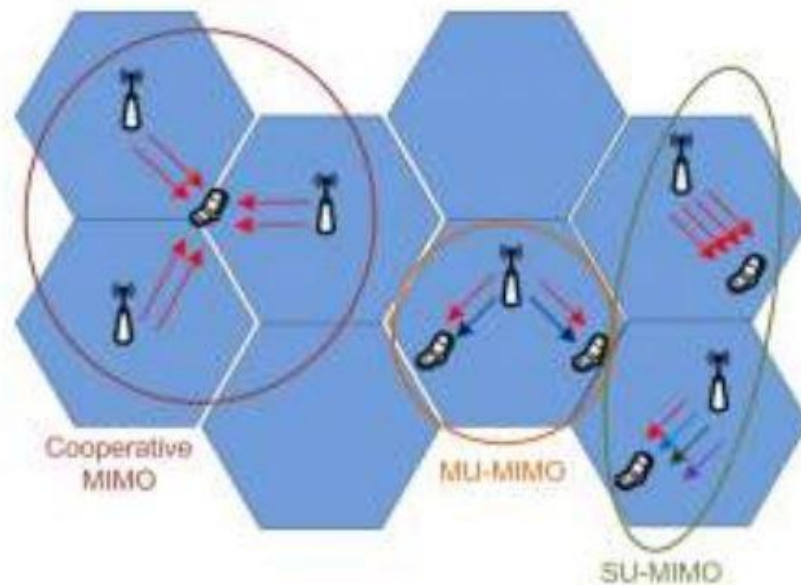


Figura N° 46: Principales métodos de MIMO. ⁷⁰

-Cooperative MIMO o MIMO cooperativo: En el borde de la celda, el rendimiento o throughput, es logrado por técnicas que utilizan la coordinación tanto en transmisión como en recepción de señales entre diferentes eNB. Esta técnica es conocida como CoMP. ⁷¹

-MU MIMO: Esta técnica ofrece el mejor rendimiento, complejidad y equilibrio. La flexibilidad de “División Espacio Múltiple Acceso” (SDMA) aumenta al permitir que un número diferente de enlaces para llegar a casa usuario con el fin de aumentar la tasa de datos promedio de célula. SU-MIMO y MU-MIMO constituyen lo que se llama MIMO de sitio único.

Una de las grandes inversiones que las operadoras deben afrontar, para poder evolucionar a LTA-A o para prepararse para los siguientes estándares como LTE-A Pro o 5G, es mejorar sus redes de transportes “backhaul”. Éstos son los medios de transporte de la red con la cual las compañías se intercomunican con sus diferentes eNodeB, microceldas y picoceldas. La conexión que utilizan entre estos es por medios microondas. Una modernización de la interconexión por métodos con fibra óptica entre las diferentes

⁷⁰ Fuente: Tomado de publicación: “The evolution to 4g celular systems: LTE –Advanced” de Ian F. Akylidiz, David M. Gutierrez, Elias Chavarria. 2010.

⁷¹ Tomado de publicación: “The evolution to 4g celular systems: LTE –Advanced” de Ian F. Akylidiz, David M. Gutierrez, Elias Chavarria. 2010.

estaciones se podría implementar para descongestionar el incremento de tráfico de la Red de Acceso Radio RAN.

En la Figura N° 47 se muestran estimaciones de capacidad analizando un modelo sencillo. La red se estructura en diferentes capas: celdas de dimensión reducida, celdas macro, agregación de segundo nivel y agregación de tercer nivel. La capacidad que se muestra en las celdas macro es la propuesta por la “Alianza de Redes Móviles de Nueva Generación “ o NGMN en sus directrices para la estimación de tráfico de la red de agregación y transporte (“Backhaul”) de LTE ⁷². Las capacidades para la segunda y tercera etapa de agregación se basan en las hipótesis de ingeniería de tráfico establecidas. ⁷³

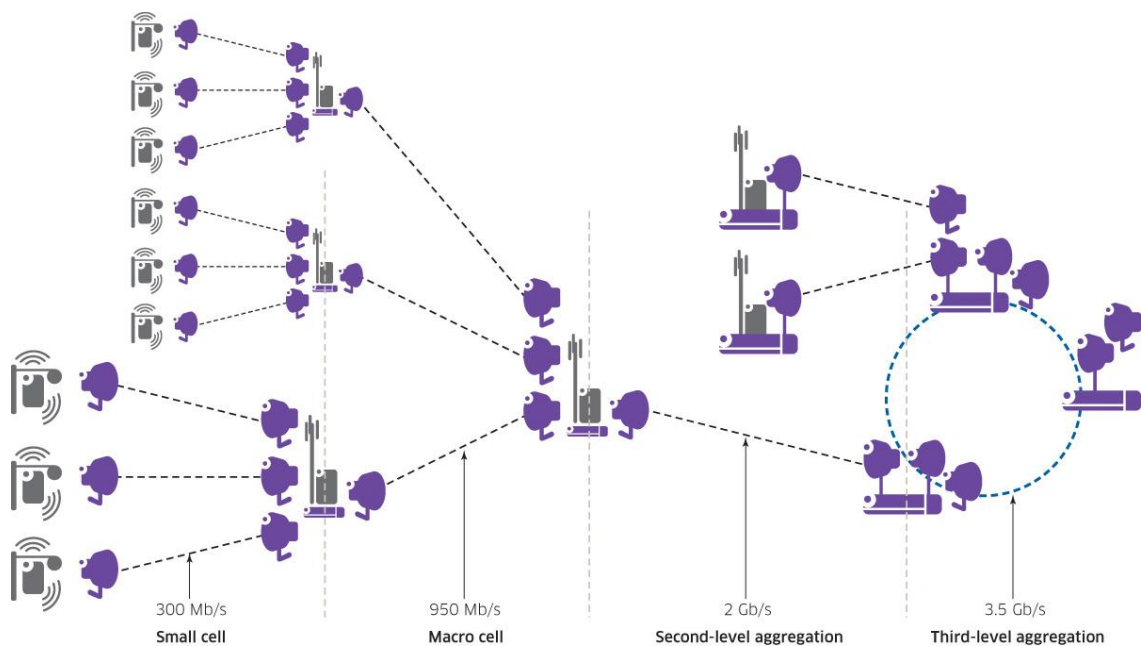


Figura N° 47: Ejemplo de la necesidad de capacidad potencial de la red de “backhaul” de emplazamientos celulares de LTE-Avanzado en 2017.⁷⁴

Otro método, no tan costoso como la implementación de redes ópticas para las redes backhaul, es incrementar la capacidad de los enlaces existentes. Éstos se ven limitados

⁷² Tomado del sitio: http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_Whitepaper_Guideline_for_LTE_Backhaul_Traffic_Estimation.pdf, visitado el día 01/02/2016.

⁷³ Tomado del sitio: <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/ampliar-la-capacidad-de-los-sistemas-microondas-para-lte-avanzado>, visitado el día 01/02/2016.

⁷⁴ Fuente: <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/ampliar-la-capacidad-de-los-sistemas-microondas-para-lte-avanzado>

generalmente en la forma en que pueden utilizar el espectro de microondas asignado. Una estrategia para ampliar la capacidad puede incluir las siguientes técnicas:

1. Habilitar la compresión de paquetes, lo cual no afecta a la configuración del sistema radio ni el diseño del enlace.
2. Habilitar un esquema de Modulación Adaptativa (AM) junto con esquemas de modulación de orden superior.
3. Desplegar una opción de XPIC (O mecanismo cancelador de interferencias en polarización cruzada) que utilice la polarización de frecuencias horizontal y vertical para duplicar la capacidad de las frecuencias; y utilizar una configuración de radio 2+0 multicanal para repartir la carga de un modo óptimo en los dos canales XPIC.⁷⁵

La mejora en la capacidad disponible al utilizar las técnicas anteriormente descritas depende de la configuración específica. En el Gráfico N°4 se muestran los resultados de un escenario planteado básico:

- Microonda utilizando un canal de 28 MHz, operando con una modulación fija 128 QAM.
- El 50% del tráfico IP transportado consiste en paquetes de pequeño tamaño.
- Una capacidad de red aproximadamente entre 150 Mb/s y 170 Mb/s.

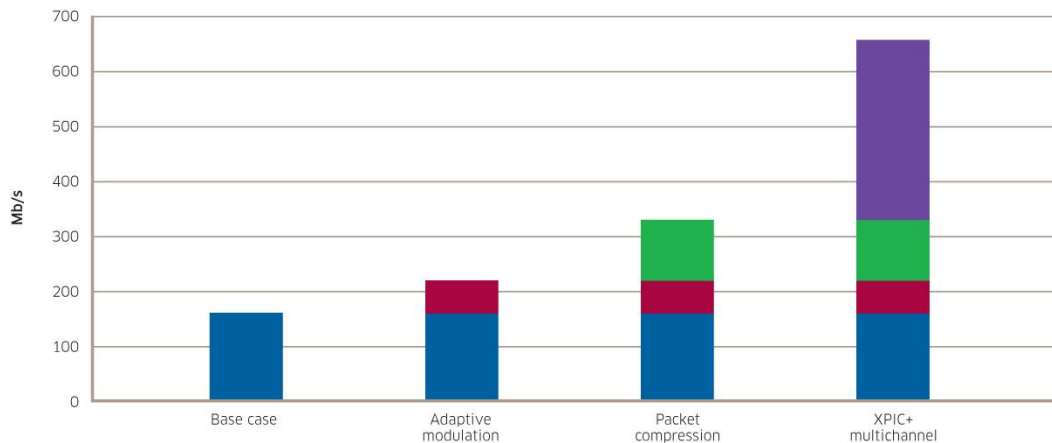


Gráfico N°4: Escenario básico utilizando diferentes técnicas para ampliar la capacidad de la red de “backhaul” en los enlaces existentes.⁷⁶

⁷⁵ Tomado del sitio: <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/ampliar-la-capacidad-de-los-sistemas-microondas-para-lte-avanzado>, visitado el día 01/02/2016.

⁷⁶ Fuente: <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/ampliar-la-capacidad-de-los-sistemas-microondas-para-lte-avanzado>

Estas técnicas amplían la capacidad del enlace de 150 Mb/s hasta 650 Mb/s, de la siguiente forma:

- La compresión de paquetes proporciona un incremento cercano al 40% (Siendo esto un cálculo conservador)
- La Modulación Adaptativa con capacidad de 1024 QAM supone un incremento adicional del 20% al 25%
- La funcionalidad de XPIC junto con la configuración de 2+0 duplica la capacidad de transmisión.

Los proveedores de servicios pueden alcanzar niveles de 950 Mb/s utilizando las siguientes mejoras de capacidad:

- Una compresión de paquetes más eficiente, la cual se obtiene de forma natural cuando se cambia de IPv4 a IPv6.
- Cambiar a configuraciones 4+0 multicanal para obtener capacidades de ancho de banda superiores a 1 Gb/s.
- Reorganizar el espectro y adoptar canales de mayor amplitud. Utilizando dos canales de 56 MHz la capacidad se amplía a aproximadamente 1,3 Gb/s, lo que logrará un incremento de capacidad de la Red de Acceso Radio RAN hasta más allá de 2017.⁷⁷

Con la utilización de las técnicas anteriormente descritas, las redes backhaul de microondas pueden responder a las necesidades de la red de agregación y transporte, tal como se describen en las redes móviles de LTE-Advanced.

Entre las técnicas para poder evolucionar hacia las redes LTE Advanced o hacia el futuro como LTE-A Pro o 5g, podemos encontrar lo que se conoce como redes C-RAN (Centralized Radio Access Network) o Cloud-Ran.

Este tipo de tecnología presenta un cambio en la arquitectura específicamente en las estaciones eNB. Ésta fue introducida por primera vez por “China Mobile Research Institute” en abril de 2010 en Beijing, China. C -RAN es una arquitectura centralizada basada en cloud computing para las redes de acceso de radio que soporta 2G, 3G, 4G y futuros estándares de comunicación móviles. Su nombre proviene de las cuatro 'C' de las principales características

⁷⁷ Tomado del sitio: <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/ampliar-la-capacidad-de-los-sistemas-microondas-para-lte-avanzado>, visitado el día 01/02/2016.

del sistema: "procesamiento centralizado, radio colaborativa, y una nube (O cloud) de red de acceso de radio en tiempo real".⁷⁸

Las estaciones típicas eNB se componen de dos equipos básicos: los RRH o Remote Radio Heads, los cuales son los RF que se colocan encima de los tejados o torres, y son las partes principales de transmisión de las células: y los BBU o Baseband Unit, que representan una unidad que procesa la banda de base en los sistemas de móviles. Es decir, una estación eNB típica consiste en la unidad de procesamiento de banda base o BBU y la unidad de procesamiento de RF o RRH.

La unidad de banda base se coloca en la sala de equipos y se conectado con el RRU a través de fibra óptica. El BBU es responsable de la comunicación a través de la interfaz física.

Esta configuración de equipos se puede observar en la Figura N° 48.

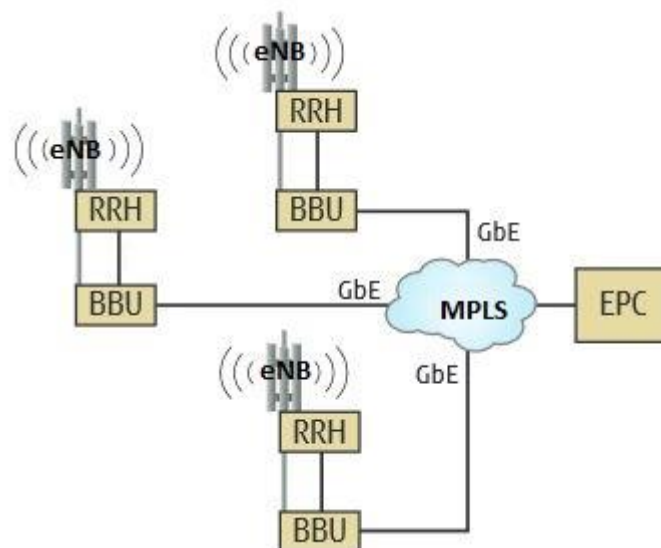


Figura N° 48: Arquitectura típica de nodos eNB.⁷⁹

El cambio de arquitectura propuesto es el que se muestra en la Figura N° 49, en la cual se observa la eliminación de los BBU en cada nodo, centralizando esta función en una central o pool de BBU.

⁷⁸ Tomado del sitio: http://labs.chinamobile.com/cran/wp-content/uploads/CRAN_white_paper_v2_5_EN.pdf, visitado el día 01/05/2016.

⁷⁹ Fuente: <http://www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/whitepapers/CloudRANwp.pdf>

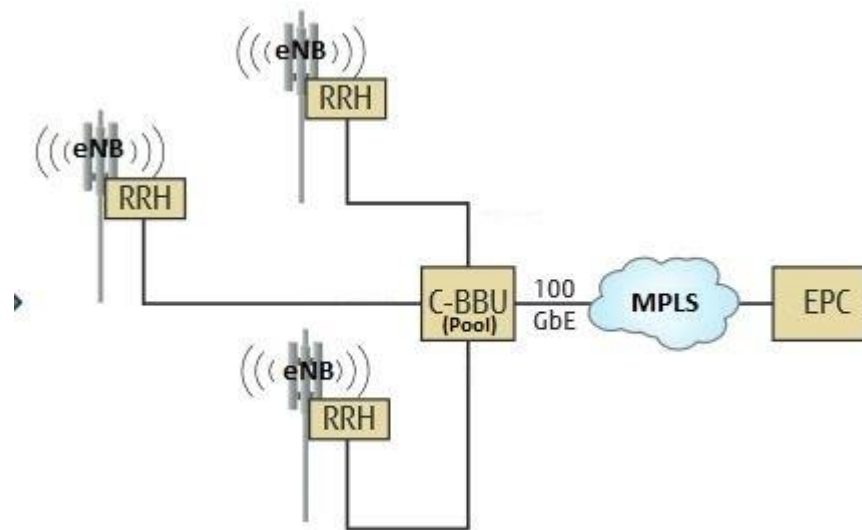


Figura N° 49: Arquitectura C-RAN de nodos eNB.⁸⁰

Entre las características que propone esta arquitectura, se encuentran las siguientes:

- Implementación centralizada a gran escala: Permite que cientos de miles de “Remote Radio Heads o RRH” se conecten a un pool de BBU centralizada. La distancia máxima puede ser de 20 km en enlace de fibra óptica para sistemas 4G (LTE / LTE-A) y una mayor distancia, entre 40 km ~ 80 km para los sistemas 3G (WCDMA / TD-SCDMA) y 2G (GSM / CDMA).
- Soporte nativo para la Colaboración de tecnologías de radio: Cualquier BBU puede hablar con otros BBU dentro del pool de BBU con un gran ancho de banda (10 Gbit / s y superior) y baja latencia (Nivel 10us). Esto es posible por la interconexión de éstos en dicha Central. Esta es una gran diferencia con respecto a los BBUs dispuestos en cada estación base. En este caso, las Baseband Unit de diferentes estaciones base son simplemente apilados juntos y tienen un enlace directo entre ellos para permitir una mejor coordinación y comunicación.
- Una gran reducción en los costos operativos o OPEX y COPEX o gastos de capital: Al implementar esta distribución de equipos, los nodos pueden simplificarse en su instalación, haciendo que sea posible implementar fácilmente nuevos eNB, tanto en su forma de picoceldas o femtoceldas, pudiendo de esta manera ganar una mayor densidad de cobertura y velocidad para LTE-A. Esto es posible gracias a que no es necesario colocar equipos BBU en cada estación.

80 Fuente: <http://www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/whitepapers/CloudRANwp.pdf>

4.5 Rediseño de la RED LTE/LTE-A.

Entre las tecnologías anteriormente descritas en el capítulo 4.4, para poder realizar el despliegue de una red LTE Advanced, se vio la necesidad de realizar un cambio en la arquitectura de la actual red de referencia LTE. Esto resulta al tratar de obtener un mejor escenario en cuanto a velocidades de transmisión, cobertura de la red y facilidad para obtener una mayor escalabilidad para futuros estándares de comunicaciones.

El rediseño de la actual red de referencia en la Ciudad de Mendoza, se plantea con la posible migración de la actual arquitectura hacia la ofrecida por una red C-RAN o Centralized Radio Access Network. Esta tecnología está pensada para zonas densamente pobladas, en las cuales se necesita una mayor cobertura y mayores velocidades de transferencia por parte de los nodos eNB. Los cambios que propone son particularmente en el Backhaul ya que los eNodeB actuales cuentan con dos componentes principales, el RRU o transmisor de radio remoto que se conecta a un panel de control del operador de radio a través de la interfaz eléctrica o inalámbrica y el BBU o unidad de banda base, encargado de procesar la banda de base en los sistemas de telecomunicaciones. Estas unidades se conectan entre ellas mediante fibra óptica, y están situadas en cada estación eNB.

La tecnología C-RAN realiza un cambio en la disposición de las unidades BBU de los nodos eNB, centralizando éstos en una oficina dispuesta en un punto estratégico para la empresa de comunicaciones móviles. Estos cambios se observan en la Figura N° 50 y la Figura N° 51. Al realizar esta migración se logra una mejor comunicación entre los BBU de cada nodo, mejorando entre otros aspectos la latencia en la comunicación de cada estación, se obtiene un mayor throughput y capacidad de la red. Se utilizan nuevas celdas denominadas FemtoCeldas o PicoCeldas, descritas en el capítulo 4.4, desplegadas en las zonas de mayor densidad poblacional o de mayor consumo de red, para así lograr descongestionar las MacroCeldas.

Las FemtoCeldas o PicoCeldas tienen una distancia de cobertura de aproximadamente 100 metros. Éstas pueden ser colocadas en semáforos, edificios o árboles. Sirven para obtener una mayor cobertura de la red para los UE y pueden trabajar a un mayor

esquema de modulación que el obtenido de las MacroCeldas eNB, además de proveer una descongestión del tráfico de datos para estos últimos.

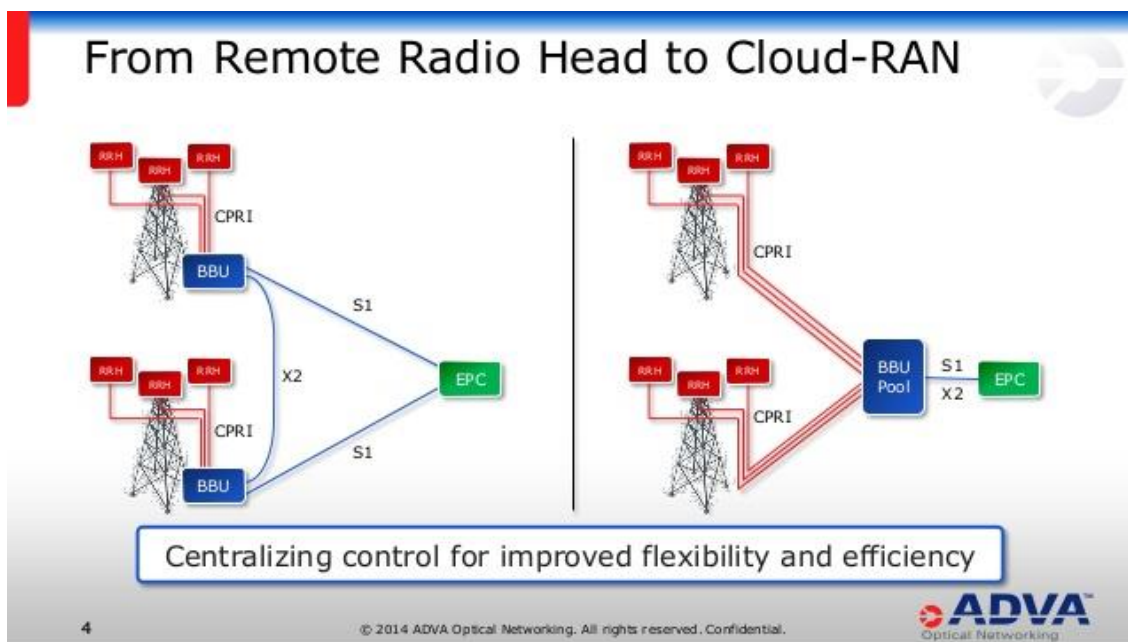


Figura N° 50: Cambios en la arquitectura de los nodos eNB.⁸¹

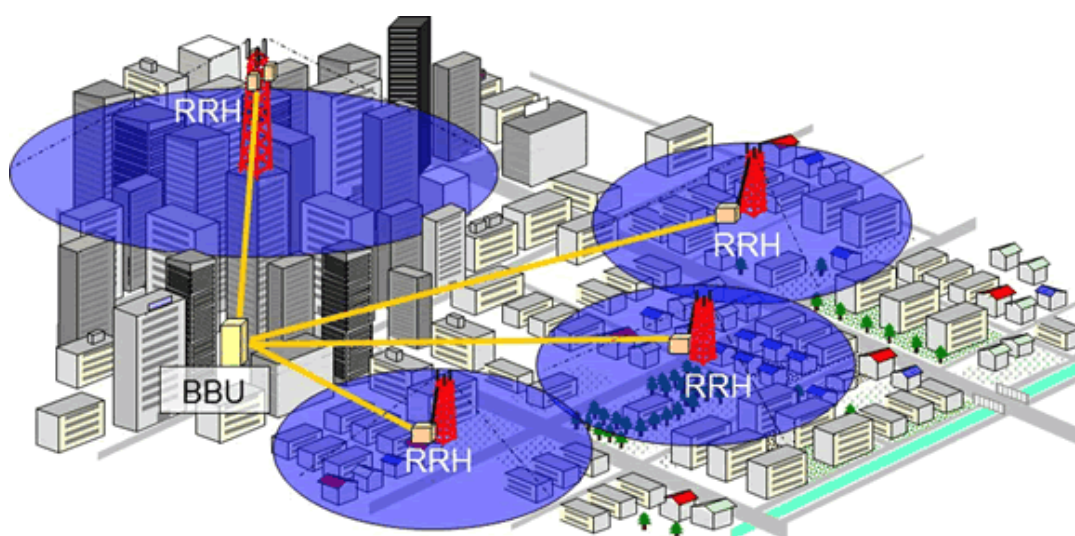


Figura N° 51: Red C-RAN.⁸²

⁸¹ Fuente: <http://es.slideshare.net/ADVAOpticalNetworking/anycell-connectivity-supporting-any-mobile-radio-technology>

Para lograr esta transición los operadores de comunicaciones deberán mejorar sus enlaces con los nodos eNB, actualizando la red backhaul por una red óptica, según el caso de cada empresa, y disponer de una oficina que centralizará la función de BBU de cada estación eNB. Este tipo de arquitectura solamente es recomendable en las áreas densamente pobladas.

En China esta tecnología fue probada con éxito en febrero de 2016 por las empresas Unicom y Huawei⁸³. En el caso de Latinoamérica, Brasil está comenzando a desplegar esta tecnología para poder tenerla lista en los próximos juegos olímpicos.⁸⁴

Esta migración permite crear una nueva red Heterogénea o HetNet, con la disposición de nuevas PicoCeldas o FemtoCeldas, junto a los actuales Micro y MacroCeldas. Al simplificar la función de cada nodo, se puede escalar de una manera más rápida y a menor costo, ya que solo se necesita que cada nuevo dispositivo tenga una conexión hacia la central BBU.

Para el caso de la empresa Claro Argentina, visto en el capítulo 4.3, el cual informó que cuenta con los enlaces de sus nodos eNB conectados con fibra óptica y estos a su vez conectados hacia una central en Córdoba (Lugar donde se encuentra el MME), se puede implementar esta tecnología.

Para el caso de Mendoza, se dispone de un punto estratégico para colocar la central BBU, la cual estará conectada a cada nodo eNB, a través de fibra óptica. Para el escenario planteado en el capítulo 4.3, obtenido de la empresa OpenSignal, el cual muestra la disposición de las actuales estaciones eNodeB de la empresa Claro como se observa en la Figura N° 52; dichas nodos necesitarían ser migrados a la tecnología C-RAN para poder dar soporte a las nuevas PicoCeldas que deben ser instaladas.

82 Fuente: <https://www.fujitsu.com/global/products/network/products/rrh/>

83 Tomado del sitio: <http://www.telesemana.com/blog/2016/02/23/china-unicom-y-huawei-despliegan-c-ran-con-fronthaul-wdm-para-evitar-congestion-en-la-fibra/> , visitado el 01/06/2016.

84 Tomado del sitio: <http://www.telesemana.com/blog/2016/04/12/estamos-implementando-c-ran-en-las-futuras-areas-olimpicas/> , visitado el 01/06/2016.

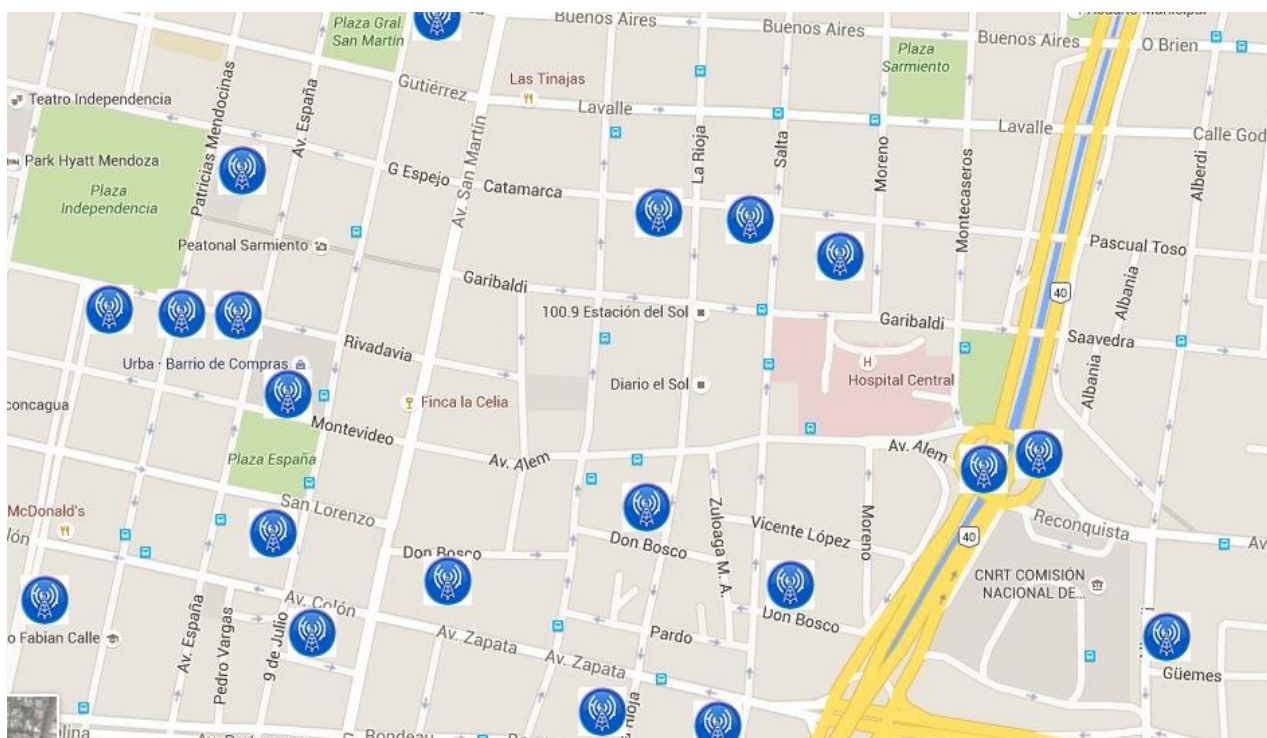


Figura N° 52: Disposición de antenas LTE de la empresa Claro en la Ciudad de Mendoza - Argentina.,⁸⁵

Para la implementación de los nuevos puntos de acceso eNB (PicoCeldas), se seleccionaron las zonas con mayor densidad de personas circulando por la Ciudad de Mendoza. Los equipos deben ser instalados en los semáforos, tal como se señalan en la Figura N°53, y los mismos deben ser conectados por fibra óptica hasta la central seleccionada. De esta manera se puede obtener una mayor descongestión por parte de las MacroCeldas y a la vez proveer mayores puntos de acceso a la red LTE-A. Un ejemplo de este tipo de instalación se puede observar en la Figura N° 54, la cual fue presentada por la compañía Verizon de Estados Unidos, en enero de 2016.

⁸⁵ Fuente: <http://opensignal.com/?lat=-32.8941&lng=-68.8363&initZoom=16&isHeatMap=0>

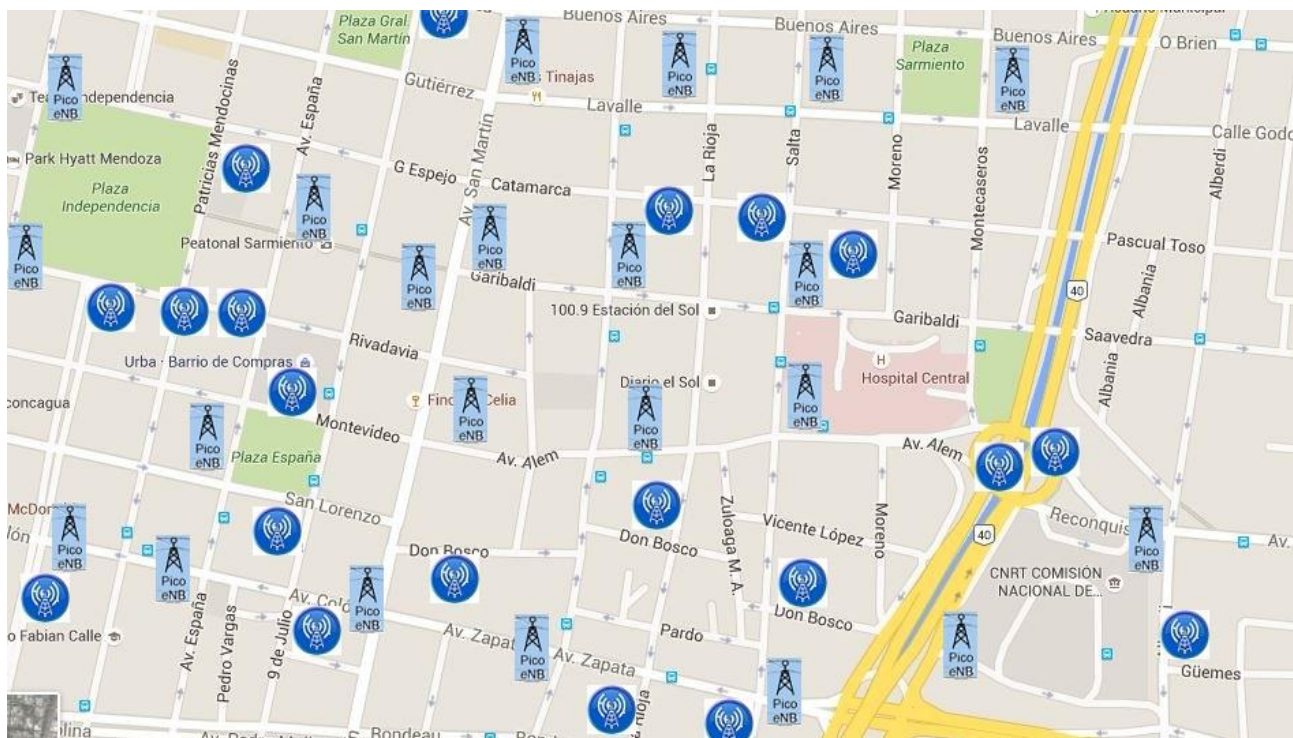


Figura N° 53: Disposición de antenas LTE-A y PicoCeldas, en la Ciudad de Mendoza - Argentina.
(Fuente: Elaboración Propia).



Figura N° 54: PicoCelda en San Francisco de la compañía Verizon, instalada en enero de 2016, usando tecnología C-RAN.⁸⁶

La central seleccionada para la empresa Claro, para instalar el pool de BBU's se ubica en una oficina técnica dispuesta en la Calle Moreno, entre calle Lavalle y calle Buenos Aires, tal como se observa en la Figura N° 55.

⁸⁶ Fuente: <http://www.pcworld.com/article/3027002/mobile/verizon-is-building-for-the-super-bowl-and-staying-for-the-boom.html>

En el pool BBU se pueden implementar las técnicas de CoMP que ofrece el Release 11 de LTE-Advanced, con la cual se pueden coordinar las antenas de manera tal que el UE sea detectado con la antena de mayor intensidad de señal y trabaje con ese nodo, eliminando las interferencias que se producen entre celdas.

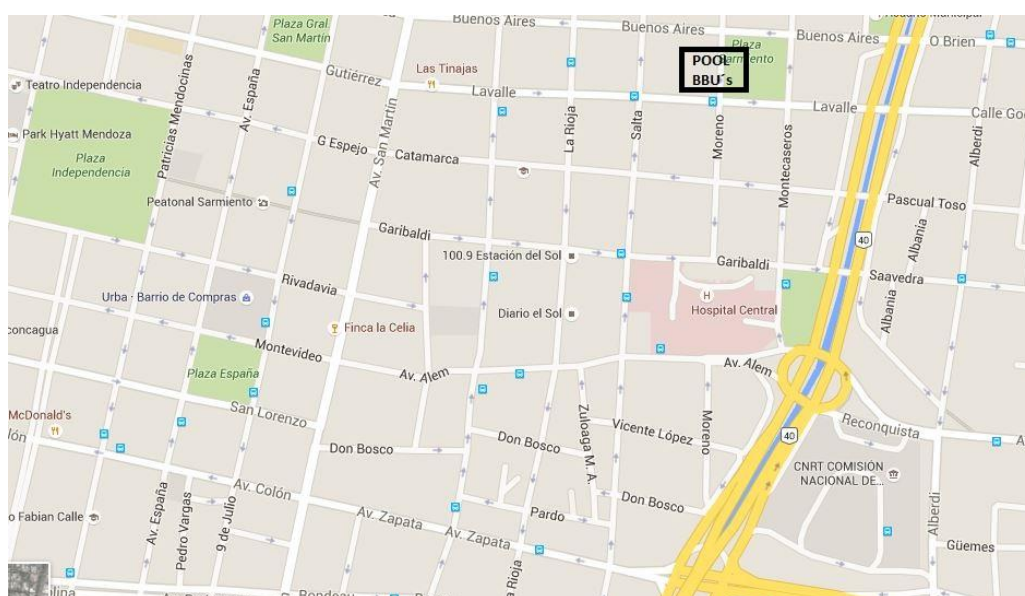


Figura N° 55: Oficina con pool BBU. (Fuente: Elaboración Propia)

En julio de 2015 se habilitó el uso del rango de frecuencias de 700MHz para LTE. De esta manera, la empresa puede habilitar el uso de Agregación de Portadoras.

Estas implementaciones de arquitectura C-RAN son ofrecidas por varias empresas del mercado de redes de comunicaciones móviles, tales como [Nokia](#)⁸⁷, [Fujitsu](#)⁸⁸, [NEC](#)⁸⁹, [Alcatel-Lucent](#)⁹⁰, entre otras.

87 Tomado del sitio: <http://networks.nokia.com/portfolio/products/radio-access/centralized-ran>, visitado el día 01/06/2016.

88 Tomado del sitio: <http://www.fujitsu.com/us/Images/SenzaCRANFujitsu.pdf>, visitado el día 01/06/2016.

89 Tomado del Sitio: http://www.nec.com/en/global/solutions/nsp/sc2/doc/wp_c-ran.pdf, visitado el día 01/06/2016.

90 Tomado del sitio: <https://www.alcatel-lucent.com/solutions/small-cells>, visitado el día 01/06/2016.

5 Conclusión:

Desde su creación las tecnologías de comunicaciones han tenido un crecimiento exponencial tanto en infraestructura como en técnicas de modulación con nuevos estándares, los cuales han permitido la aparición y el crecimiento de nuevos servicios, alejándose de la llamada de voz como función primaria. Esto hace que continuamente se encuentren utilidades nuevas, como es la reciente entrada de la tecnología de “Internet de todo” o IoE (Por su sigla en inglés). Ésta promete para el año 2020, entre otras cosas, conectar a Internet 50.000 millones de nuevos objetos, personas y servicios, convergiendo en una nueva faceta de las comunicaciones. También está la televisión digital en calidad 4k, la cual se ofrecerá a través de medios móviles, los cuales requieren anchos de banda que todavía no han sido alcanzados por las prestadoras de servicios de comunicaciones.⁹¹

Teniendo en cuenta todas estas nuevas prestaciones y analizando la infraestructura de las redes móviles, se demuestra la necesidad de plantear la migración a un nuevo estándar, el cual permita mayores anchos de banda, entre otras cosas. Esto impulsa a las compañías a realizar inversiones para poder ofrecer servicios que se adapten a las nuevas tendencias y necesidades de los usuarios.

Con la implementación de una arquitectura C-RAN, las empresas de comunicaciones podrán desplegar el estándar LTE Advanced de una manera mucho más eficiente, y así dejar la red preparada para los nuevos estándares de comunicaciones como son LTE-Advanced Pro⁹² o 5G⁹³ (versión 13 y 14 de la implementación Long Term Evolution).

Como se observó en el caso de referencia, en la Ciudad de Mendoza para poder migrar hacia nuevos estándares de comunicaciones fue necesario aplicar este tipo de

91 Seminario: “El futuro de las Redes”, dictado por la UTN Mendoza en octubre 2015.

92 Tomado del sitio: <http://www.3gpp.org/release-13>, visitado el día 01/06/2016.

93 Tomado del sitio: <http://www.silicon.es/la-tecnologia-5g-requiere-de-una-convergencia-de-redes-2311750>, visitado el día 15/06/2016.

arquitectura de red para lograr obtener un servicio que pueda soportar la aparición de nuevos estándares.

Analizando las mejoras propuestas por LTE Advanced sobre LTE, con LTE-A se podrá hacer frente a las nuevas implementaciones de servicios como IoE y TV Digital y además, sumado a la migración hacia una nueva topología de red como C-RAN, se podrá ofrecer un mejor servicio que el actual en la Ciudad de Mendoza.

6 Glosario

1G: Primera Generación

2G: Segunda Generación

2.5G: Generación 2.5

3G: Tercera Generación

3GPP: Third Generation Partnership Project o Proyecto Asociación de Tercera Generación

4G: Cuarta Generación

AMPS: Advanced Mobile Phone Service o Sistema Telefónico Móvil Avanzado

AMS: Adaptive MIMO Switch o MIMO Adaptativo

BACKHAUL: Red de Retorno

BER: Bit Error Rate o Tasa de Error de Bit

BTS: Base Transceiver Station o Estación Base de Transmisión/Recepción

BBU: Baseband Unit o Unidad de Banda Base

C-RAN: Centralized Radio Access Network o Red de acceso al radio centralizado

CAPEX: Capital Expenses o Gastos de Capital

CDMA: Code Division Multiple Access o Acceso Múltiple con División de Código

CoMP: Coordinated Multipoint Transmission and Reception o Multi-punto Coordinado.

DL: Downlink o conexión de bajada

E-UTRAN: Evolved- UMTS Terrestrial Radio Access Network o Red de Acceso Terrestre Universal Evolucionado

EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution o tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM

eNB o eNodeB: Evolved Node B o Nodo B Evolucionado

EPC: Evolved Packet Core o Núcleo de Paquetes Evolucionado

EPS: Evolved Packet System o Sistema de Paquetes Evolucionado

FDD: Frequency Division Duplex o Duplexación por División de Tiempo

FDMA: Frequency Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Frecuencia

GPRS: General Packet Radio Services o Servicio General de Paquetes Vía Radio

GSM: Global System for Mobile Communications o Sistema Global para las Comunicaciones Móviles

HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request o Pedido de repetición Automático Híbrido

HSCSD: High-Speed Circuit-Switched Data o Sistema de transmisión de datos a alta velocidad mediante circuitos conmutados

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access o Acceso descendente de paquetes a alta velocidad

HSPA: High Speed Packet Access o Acceso a Paquetes a Alta Velocidad

HSS: Home Subscriber Server o Servidor de Abonado

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers o Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

IMS: IP Multimedia Subsystem o Subsistema Multimedia IP

IMT: International Mobile Telecommunications o Telecomunicaciones Móviles Internacionales

IP: Internet Protocol o Protocolo de Internet

ITU: International Telecommunication Union o Unión Internacional de Telecomunicaciones

LAN: Local Area Network o Red Local de Datos

LTE: Long Term Evolution o Evolución a largo plazo

MAC: Media Access Control o Control de Acceso al Medio

MIMO: Multiple Input Multiple Output o Múltiple Entrada Múltiple Salida

MME: Mobility Management Entity o Entidad de Gestión de Movilidad

MU-MIMO: Multiple-User MIMO o Multi-Usuario MIMO

NAS: Non Access Stratum o Estrato sin acceso

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing o Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales

OPEX: Operative Expenses o Gastos Operativos

P-GW: Packet Data Network Gateway o Puerta de enlace de red de datos de paquete

PAPR: Peak-to-Average Power Ratio o Relación potencia pico-a-medio

PDC: Personal Digital Cellular o Celular Personal Digital (en comunicaciones móviles de 2^o generación)

PDCCH: Physical Downlink Control Channel o Canal de Control Descendente de alta velocidad-físico

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel o Canal Compartido Descendente Físico de Alta Velocidad

PUCCH: Physical Uplink Control Channel o Canal de Control Ascendente de alta velocidad-físico

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel o Canal Compartido Ascendente Físico de Alta Velocidad

QoS: Quality of Service o Calidad de Servicio

QAM: Quadrature Amplitude Modulation o Modulación de Amplitud en Cuadratura

QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying o Modulación por Corrimiento de Fase en Cuadratura

RRH: Remote Radio Head o Cabezal de Radio Remoto

S-GW: Serving Gateway o Sirviendo de Puerta de Enlace (responsable del enrutado del tráfico entre estaciones base ENB y PGW)

SC-FDMA: Single Carrier- Frequency Division Multiple Access o Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única

SRS: Sounding Reference Signals o Sonar las señales de referencia (sirven para permitir al eNB determinar la calidad del canal en función de la frecuencia)

SU-MIMO: Single-User MIMO o Simple-Usuario MIMO

THROUGHPUT: Volumen de trabajo o de información neto que fluye a través de un sistema

TIA: Telecommunication Industry Association o Asociación de la Industria de Telecomunicaciones

UE: User Equipment o Equipo del Usuario

UL: Uplink o Conexión de Subida

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System o Sistema universal de telecomunicaciones móviles

UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network o Red de Acceso Radio Terrestre UMTS

VoIP: Voice over Internet Protocol o Voz sobre protocolo de internet

7 Bibliografía:

- CORREIA, L.M. et al., “Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks,” IEEE Communications Magazine, vol.48, Noviembre 2010.
- CASADEVALL, F., FERÚS, R., PÉREZ, J., SALLEN, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona: Fundación Vodafone. España, 2010.
- COX, Christopher: An introduction to LTE, LTE-ADVANCED, SAE and 4G Mobile Communications. Editorial WILEY. 2012.
- SESIA, Stefania. TOUFIK, ISSAM. BAKER, MATTHEW: LTE – The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice. Segunda Edición. Editorial WILEY. 2011.
- Nokia Academy, “LTE End to End System Part 1”, Nokia Academy, 2014.
- AKYLDIZ, GUTIERREZ, David M. CHAVARRIA, Elias: “The evolution to 4g celular systems: LTE –Advanced” de. 2010.
- Seminario: “El futuro de las Redes”, dictado por la UTN Mendoza en octubre 2015.
- Presentación “Despliegue LTE Argentina, Esquema de Conectividad IP”, provisto por la empresa Claro Argentina. (Anexo1)
- Presentación “LTE Argentina Kickoff (Nokia)”, provisto por la empresa Claro Argentina. (Anexo 2)
- Curso: “Internet de las Cosas” IoT, dictado por la Academia Cisco de la UTN Mendoza en febrero 2016.
- <http://cursos.aiu.edu/Tecnologias%20Moviles/PDF/Tema%201.pdf>
- http://www.academia.edu/6042142/LECTURAS_La_evoluci%C3%B3n_de_la_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_La_guerra_de_los_celulares
- <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/106/105>
- <http://www.areatecnologia.com/tecnologia/lte.html>
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%EDtulo+2+-+LTE.pdf>
- <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>
- <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>
- <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/117/113>

- http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21660/Proyecto_Final_Carrera_Ignacio_Fernandez.pdf;jsessionid=DC56A1B2670F93AEF05F1953F720200F?sequence=4
- http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21660/Proyecto_Final_Carrera_Ignacio_Fernandez.pdf;jsessionid=DC56A1B2670F93AEF05F1953F720200F?sequence=4
- <http://www.xatakamovil.com/conectividad/lte-advanced-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-autentica-cuarta-generacion-de-la-internet-movil>
- <http://www.4gamericas.org/es/newsroom/press-releases/agregacion-de-portadoras-una-tecnologia-prueba-de-futuro/>
- <http://www.gradiant.org/es/actualidad/noticias/289-mimo-en-wimax-y-lte.html>
- <http://countrymeters.info/es/World>
- <https://www.wayerless.com/2015/01/lte-advanced-ha-sido-adoptada-por-20-operadoras-telefonicas-en-el-mundo/>
- <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
- http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136306/10.00.00_60/ts_136306v100000p.pdf
- <http://www.apple.com/iphone-6s/technology/>
- http://www.chip.de/news/Samsung-Galaxy-S5-LTE-Schnelles-Topmodell-im-September_70459525.html
- <http://opensignal.com/reports/2016/02/state-of-lte-q4-2015/>
- <http://opensignal.com/>
- http://www.4gamericas.org/files/7114/5703/8731/02_LTE_Latin_America_3.1.16x.pdf
- <https://infocenter.alcatel-lucent.com/public/770562R1A/topic/com.sar.oam/html/graphics/ti019485.gif>
- <http://www.withoutthecat.com/>
- <http://networks.nokia.com/portfolio/products/mobile-broadband/single-ran-advanced/flexi-multiradio-10-base-station>
- <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/6062>
- <http://www.lanacion.com.ar/1801170-adjudican-las-frecuencias-de-700-mhz-para-ampliar-el-4g-en-la-argentina>
- <http://www.enacom.gob.ar>
- <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/LTE/Capitulo%201%20x6.pdf>
- <http://mwrf.com/mixed-signal-semiconductors/hetnet-solutions-advance-while-femtocell-transceivers-cut-design-costs>
- http://www.4gamericas.org/files/9214/3991/2167/4G_Americas_Rysavy_Research_LTE_and_5G_Innovation_white_paper.pdf

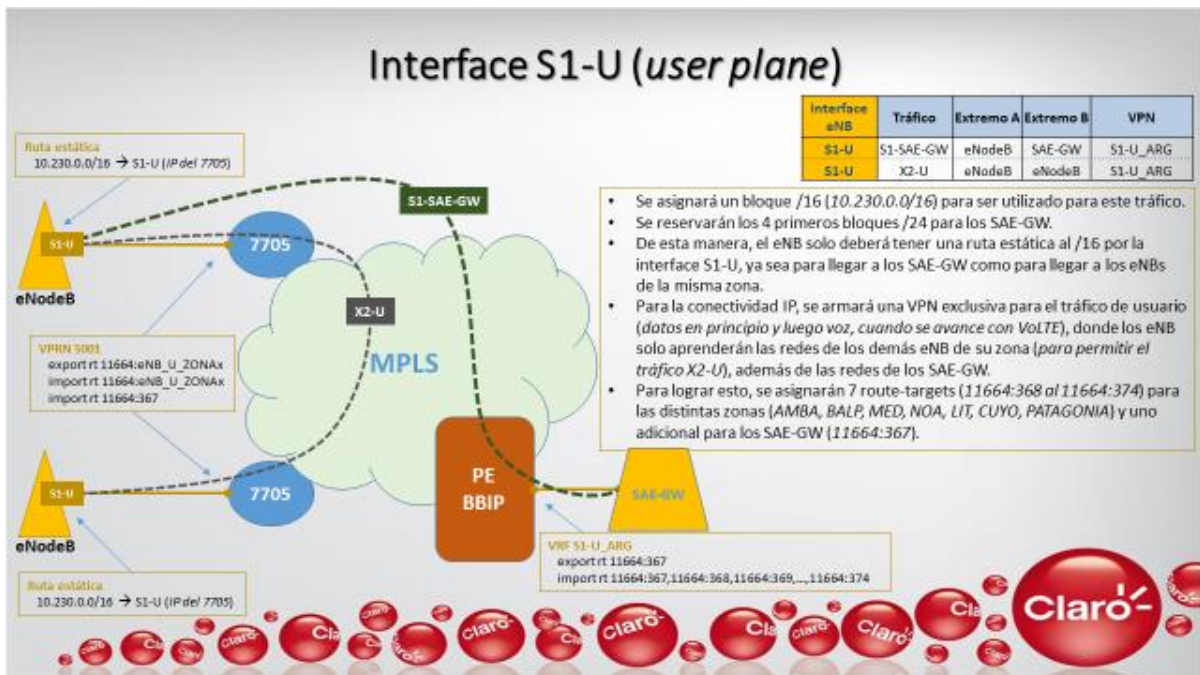
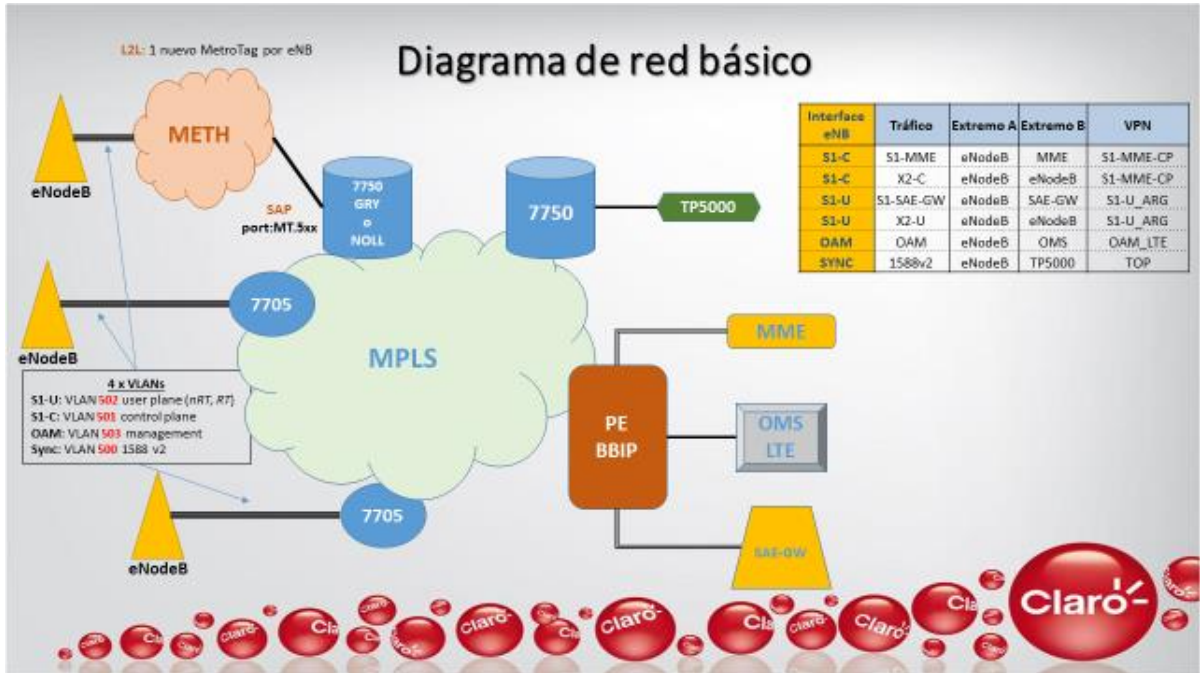
- <http://electronicdesign.com/4g/understanding-small-cell-unification-s-vital-role-lte-and-4g>
- <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/6062>
- http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_Whitepaper_Guideline_for_LTE_Backhaul_Traffic_Estimation.pdf
- <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/ampliar-la-capacidad-de-los-sistemas-microondas-para-lte-avanzado>
- http://labs.chinamobile.com/cran/wp-content/uploads/CRAN_white_paper_v2_5_EN.pdf
- <http://www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/whitepapers/CloudRANwp.pdf>
- <http://es.slideshare.net/ADVAAOpticalNetworking/anycell-connectivity-supporting-any-mobile-radio-technology>
- <https://www.fujitsu.com/global/products/network/products/rrh/>
- <http://www.telesemana.com/blog/2016/02/23/china-unicom-y-huawei-despliegan-c-ran-confronthaul-wdm-para-evitar-congestion-en-la-fibra/>
- <http://www.telesemana.com/blog/2016/04/12/estamos-implementando-c-ran-en-las-futuras-areas-olimpicas/>
- <http://opensignal.com/?lat=-32.8941&lng=-68.8363&initZoom=16&isHeatMap=0>
- <http://www.pcworld.com/article/3027002/mobile/verizon-is-building-for-the-super-bowl-and-staying-for-the-boom.html>
- <http://networks.nokia.com/portfolio/products/radio-access/centralized-ran>
- <http://www.fujitsu.com/us/Images/SenzaCRANFujitsu.pdf>
- http://www.nec.com/en/global/solutions/nsp/sc2/doc/wp_c-ran.pdf
- <https://www.alcatel-lucent.com/solutions/small-cells>
- <http://www.3gpp.org/release-13>, visitado el día 01/06/2016.
- <http://www.silicon.es/la-tecnologia-5g-requiere-de-una-convergencia-de-redes-2311750>

8 Anexos:

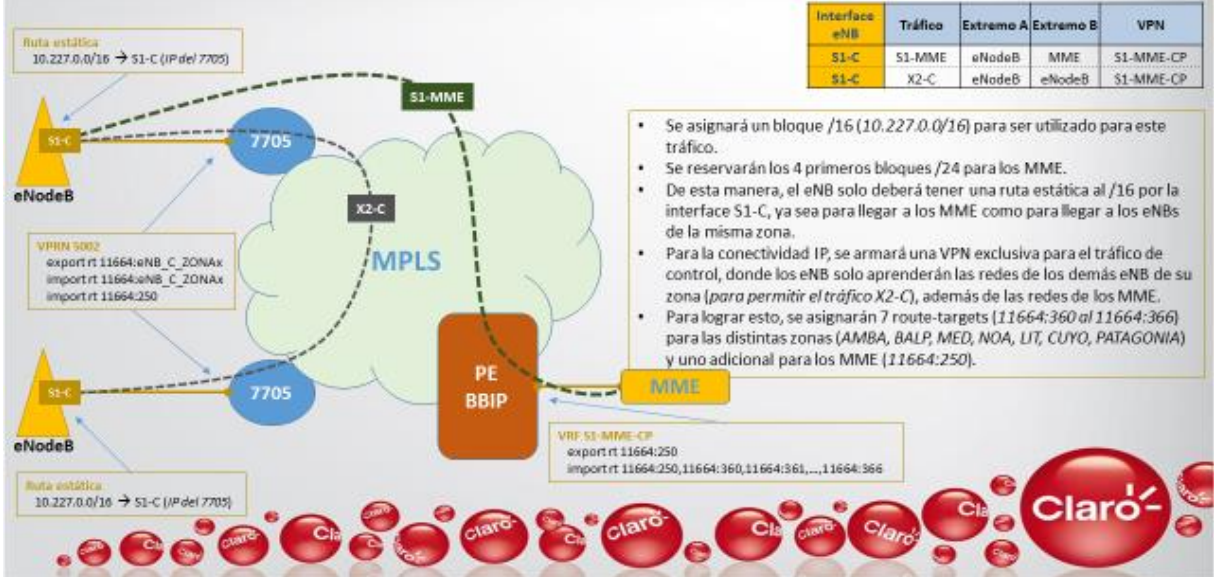
8.1 Anexo 1: Despliegue LTE ARGENTINA, Esquema de Conectividad IP. ⁹⁴



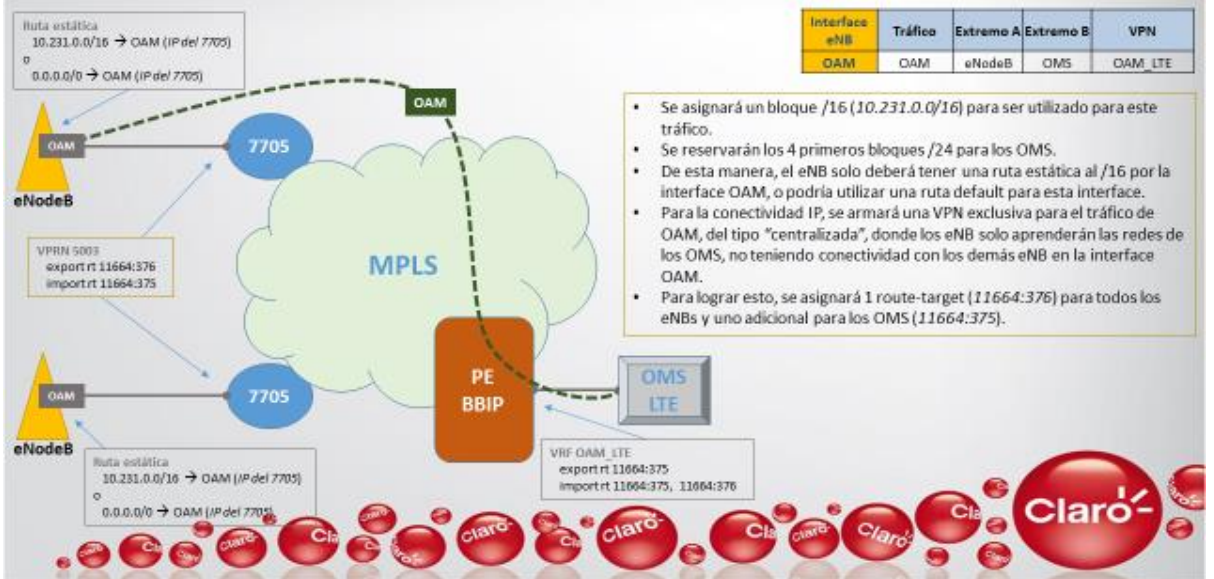
⁹⁴ Información brindada por la empresa Claro Argentina S.A. (presentación PowerPoint).

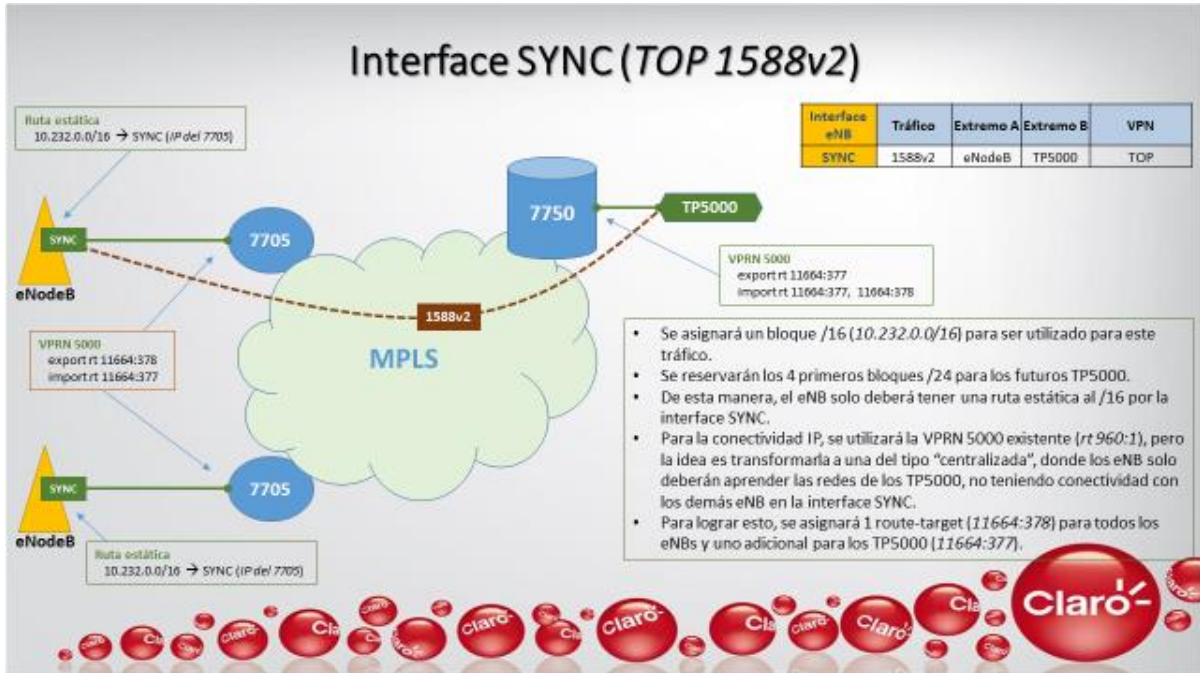


Interface S1-C (control plane)



Interface OAM (management)





Asignación de recursos lógicos

ATRIBUTO	VALOR	DESCRIPCION
C.C.0.0/16	10.227.0.0/16	Bloque de IP /16 destinado para el tráfico de Control-Plane de LTE (S1-C)
U.U.0.0/16	10.230.0.0/16	Bloque de IP /16 destinado para el tráfico de User-Plane de LTE (S1-U)
O.O.0.0/16	10.231.0.0/16	Bloque de IP /16 destinado para el tráfico OAM LTE
S.S.0.0/16	10.232.0.0/16	Bloque de IP /16 destinado para el tráfico de sincronismo 1588v2 de LTE
RT MME	11664:250	11664:MME - route-target para marcar las redes de los MME (ya en uso en la vrf S1-MME @11610)
RT S1-C AMBA	11664:360	11664:eNB_C_AMBA - route-target para marcar las redes de control-plane de los eNB de AMBA
RT S1-C BALP	11664:361	11664:eNB_C_BALP - route-target para marcar las redes de control-plane de los eNB de BALP
RT S1-C MED	11664:362	11664:eNB_C_MED - route-target para marcar las redes de control-plane de los eNB de MED
RT S1-C NOA	11664:363	11664:eNB_C_NOA - route-target para marcar las redes de control-plane de los eNB de NOA
RT S1-C LIT	11664:364	11664:eNB_C_LIT - route-target para marcar las redes de control-plane de los eNB de LIT
RT S1-C CUYO	11664:365	11664:eNB_C_CUYO - route-target para marcar las redes de control-plane de los eNB de CUYO
RT S1-C PAT	11664:366	11664:eNB_C_PAT - route-target para marcar las redes de control-plane de los eNB de PAT
RT SAE-GW	11664:367	11664:SAE-GW - route-target para marcar las redes de los SAE-GW
RT S1-U AMBA	11664:368	11664:eNB_U_AMBA - route-target para marcar las redes de user-plane de los eNB de AMBA
RT S1-U BALP	11664:369	11664:eNB_U_BALP - route-target para marcar las redes de user-plane de los eNB de BALP
RT S1-U MED	11664:370	11664:eNB_U_MED - route-target para marcar las redes de user-plane de los eNB de MED
RT S1-U NOA	11664:371	11664:eNB_U_NOA - route-target para marcar las redes de user-plane de los eNB de NOA
RT S1-U LIT	11664:372	11664:eNB_U_LIT - route-target para marcar las redes de user-plane de los eNB de LIT
RT S1-U CUYO	11664:373	11664:eNB_U_CUYO - route-target para marcar las redes de user-plane de los eNB de CUYO
RT S1-U PAT	11664:374	11664:eNB_U_PAT - route-target para marcar las redes de user-plane de los eNB de PAT
RT OMS	11664:375	11664:OMS - route-target para marcar las redes de los OMS de LTE
RT OAM eNB	11664:376	11664:eNB_OAM - route-target para marcar las redes de OAM de todos los eNB
RT TP5000	11664:377	11664:TOP_MASTER - route-target para marcar las redes de los TP5000
RT TOP eNB	11664:378	11664:TOP_CLIENT - route-target para marcar las redes de SYNC de todos los eNB

Tareas Previas – Check List

TAREA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
Template 7705	Definir template de configuración en los 7705 para un nodo LTE de las distintas regiones. Nuevo "customer" ?. Políticas de QoS ?	PENDIENTE
Permitir RTs en RR	Se deben permitir los RTs a utilizar en la solución de LTE en los RRs de la red IP RAN	PENDIENTE
Fronteras METH-IPRAN	Se deben implementar nuevas fronteras en 10GE entre la red METH y IPRAN para los nodos LTE por METH	PENDIENTE
VPN BBIP MME	Agregar import RTs de acceso (11664:360 al 11664:366) en la VRF S1-MME-CP en el BBIP	PENDIENTE
VPN BBIP S1-U	Agregar import RTs de acceso (11664:368 al 11664:374) en la VRF S1-U_ARG en el BBIP	PENDIENTE
VPN BBIP OMS	Configurar VPN en BBIP de acuerdo a los RTs asignados	PENDIENTE
VPRN IP RAN TOP	Agregar nuevos RTs a la VPRN de sincronismo dentro de la red IP RAN y modificar actual config para hacerla centralizada	PENDIENTE
Template 7705 fronterizos	Definir templates de configuraciones para los casos donde un eNB tenga que tener visibilidad (X2) con eNB de otra región	PENDIENTE



8.2 Anexo 2: LTE ARGENTINA Kickoff, Nokia. ⁹²

LTE Argentina Kickoff

1 20/06/2016 © Nokia 2014. Non to LTE and 3GPP EPC Architecture Evolution 5.2 A. Angelisati
For internal use

NOKIA

The motivation for LTE

- Need to ensure the continuity of competitiveness of the 3G system for the future
- User demand for higher data rates and quality of service
- Packet Switch optimized system
- Continued demand for cost reduction (CAPEX and OPEX)
- Low complexity
- Avoid unnecessary fragmentation of technologies for paired and unpaired band operation



2 20/06/2016 © Nokia 2014. Non to LTE and 3GPP EPC Architecture Evolution 5.2 A. Angelisati
For internal use

NOKIA

Basic Concepts / Architecture

LTE / SAE introduces the mechanism to fulfill the requirements of a next generation mobile network

Flat Overall Architecture


- 2-node architecture
- IP routable transport architecture

Improved Radio Principles


- peak data rates [Mbps] 173 DL , 58 UL
- Scalable BW: 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
- Short latency: 10 – 20 ms

New Core Architecture

- Simplified Protocol Stack
- Simple, more efficient QoS
- UMTS backward compatible security




Access




LTE BTS (eNodeB)

Core



MME SAE-GW

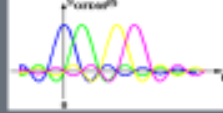
Control




IMS HLR/HSS

RF Modulation:

- OFDMA in DL
- SC-FDMA in UL





For internal use

Key architectural concept

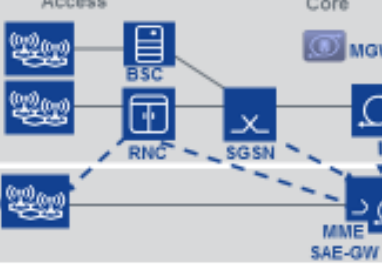
Flat and cost effective Mobile Network

GSM/EDGE/UMTS/HSPA

2G BTS

W-CDMA BTS

Access



Core

MGW

GGSN

MGW

MME SAE-GW

Control

MSC

IMS

HLR/HSS

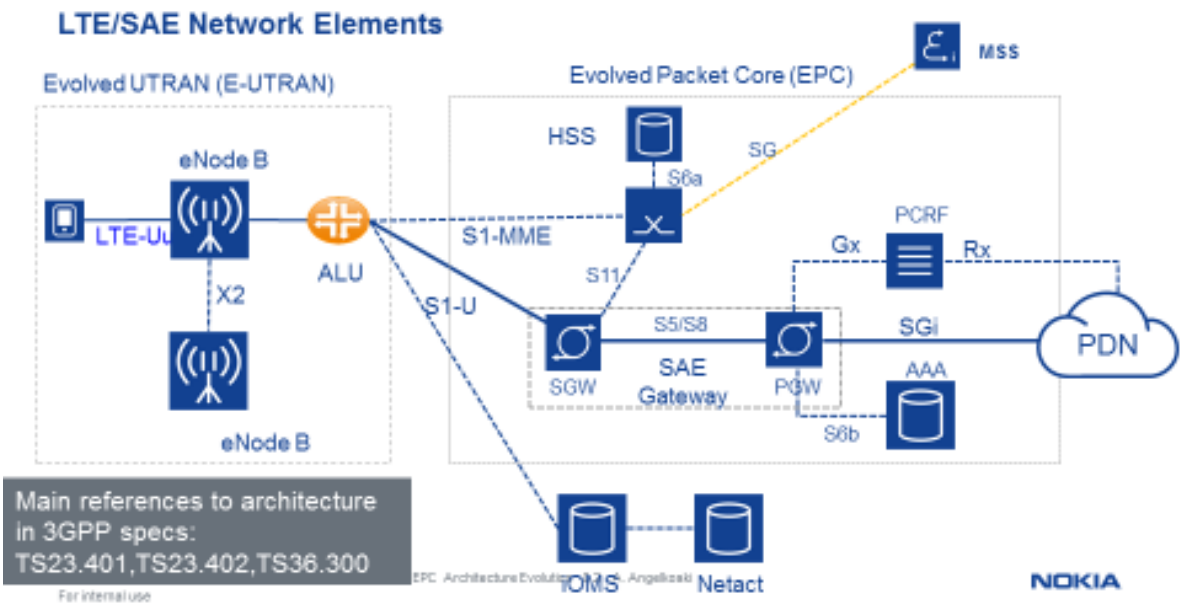
Improved flexible radio technology

- New air IF providing higher data throughputs
- LTE provides flexibility for spectrum re-farming and new spectrum
- LTE can operate in a number of different frequency bands

Simpler architecture for reduced OPEX

- Simplified, flat network architecture based on IP reduces operators' cost per bit significantly
- Interworking with legacy systems is an integral part of service continuity
- Re-use of existing equipment as much as possible

For internal use



LTE-Ue

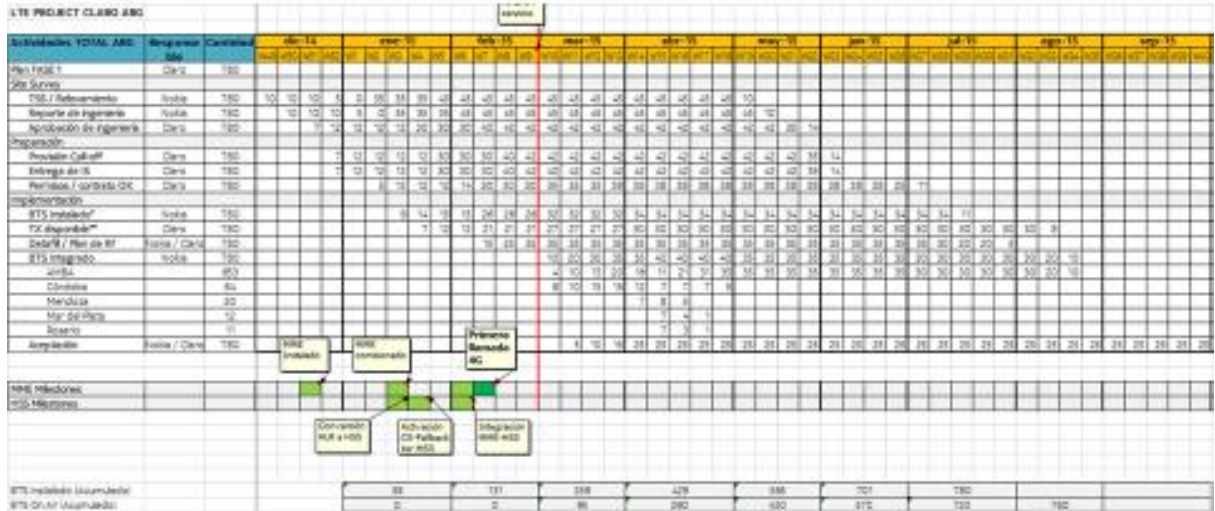


- Verificar móviles disponibles
- uSIMs
- Verificar datacards disponibles
- Verificar perfiles en PCRF



NOKIA

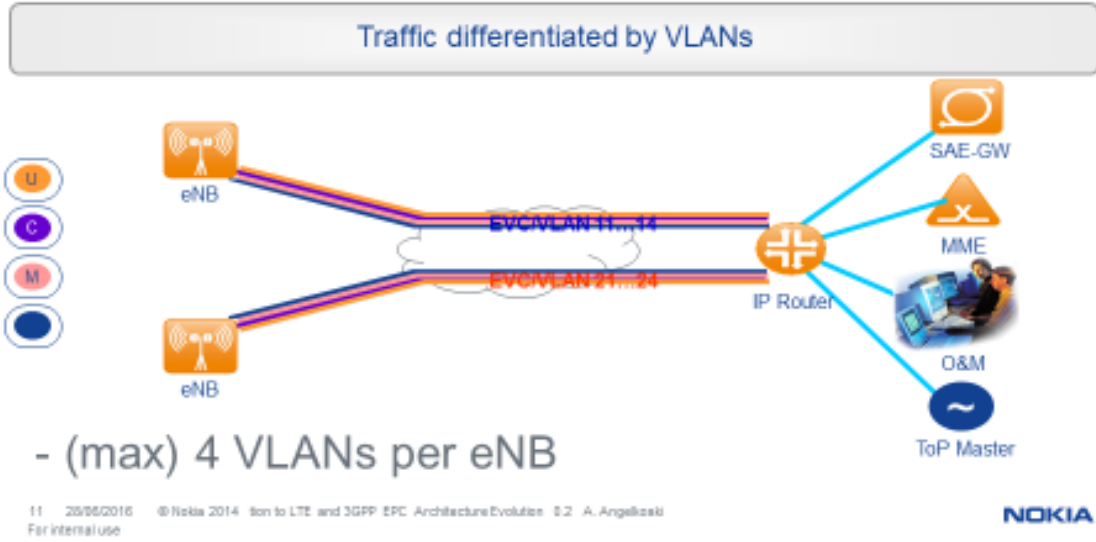
Cronograma



Disclosure

- Acceso:
 1. Falta definir acuerdo comercial para adicionales (eg. Adecuaciones) en sitio
 2. Falta plan sitio a sitio sincronizado con plan de TRS
 3. Falta acuerdo de descripción de servicio de desinstalación
 4. Falta adaptación de estándar de calidad para LTE
 5. Falta definición de clusters comerciales por ciudad
 6. Falta cronograma de llegada de iOMS adicionales
- CORE:
 1. Propuesta de sitio de prueba para elementos de Core
 2. Falta acuerdo de descripción de servicio de desinstalación

S1 Interface



IP MTU / Ethernet SDU Size Issues

The Problem

If the user IP layer MTU is 1500 bytes (default in Windows and Linux), the transport layer PDU would be larger than 1500 bytes due to additional overhead (GTP/UDP/IP, optional IPSec), i.e. exceeding the Ethernet standard SDU size (1500 bytes)



Possible Solutions

- 1) Enforcement of smaller MTU size at User IP layer
- 2) IP Fragmentation & Reassembly at transport IP layer
- 3) Ethernet Jumbo Frames under transport IP layer

•Chequeado a Nivel IPRAN
 •Pendiente de Verificar en Radios
 •Pendiente de verificar routers Core



Bandwidth Consideration

- S1_U (eNB ↔ SAE-GW)
 - BW per eNB, actually in the LTE trial the peak traffic was 110 Mbps per eNB.
 - S1_MME (eNB ↔ MME)
 - Default value is 3% of total UP traffic
 - X2_U and X2_C (source eNB ↔ target eNB)
 - X2 UP traffic default value is 3% of total UP traffic and X2 CP default value is less than 1% of total UP traffic.
 - O&M (eNB ↔ O&M system)
 - Per eNB is nominally ~1Mbps For the M-Plane bandwidth it is recommended to allocate extra 1Mbps at the eNB side for tracing purposes. In total 2Mbps is recommended.
 - Synchronization (eNB ↔ PRC)
 - Timing over Packet frequency synchronization ~16kbps
 - Timing over Packet phase synchronization at least ~120kbps with default messaging rate values (128 msgs/second)
 - SyncE ~8kbps
- Total peak BW per eNB ~ 118 Mbps**

•Recomendación: En lugares donde no se puedan proveer los 100 Mbps por eNB proveer un mínimo de 50 Mbps

•Al no tener placa de TRS los sitios solo tendrán un puerto Eléctrico embebido en el FSMF.
•No se recomienda hacer Daisy con los sitios 3G sino usar un puerto exclusivo para el sitio LTE

Service Level Agreement

All One-Way Values	Packet Delay (PD)		Packet Delay Variation (PDV)		Packet Loss Ratio (PLR)	
	e2e Requirement	Transport Recommendation	e2e Requirement	Transport Recommendation	e2e Requirement	Transport Recommendation
U-plane Real-time ¹⁾	50ms	20ms	±10ms	±5ms	10 ⁻³	10 ⁻⁷
U-plane Non real-time	300ms		N/A			
C-plane ²⁾	100ms ³⁾		N/A			
M-plane ⁴⁾	1000ms		N/A			
S-plane	100ms	±5ms ²⁾	2 x 10 ⁻²			

Average transport PDB allocation for U-Plane (3GPP 23.203)

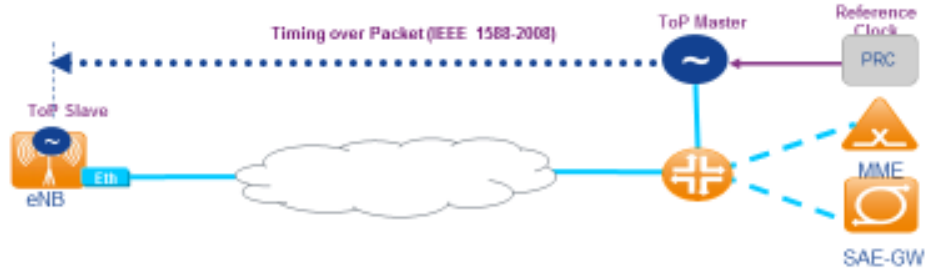
Max PDV for S-Plane (not valid for all traffic)

Sensible value for any service

1) LTE e2e system PD and PLR requirements per QCI are given in 3GPP 23.203. Allocation to the mobile backhaul section is network dependent. Average transport PD is assumed 20ms. With higher PD, most user services can be supported, but system capacity may be decreased due to lower remaining radio Packet Delay Budget (PDB). Transport PLR must be lower than e2e system PLR.
 2) Required for ±50ppm FDD air interface frequency synchronization based on IEEE 1588-2008 (ToP)
 3) 3ppm per bearer given by 3GPP for the case of full duplex (Star) architecture
 4) For internal 90TPTCP operates within a large PD and PLR range, but high values would impact response times

Timing-over-Packet (ToP)

Synchronization from Ethernet Interface eliminates the need for TDM link or GPS

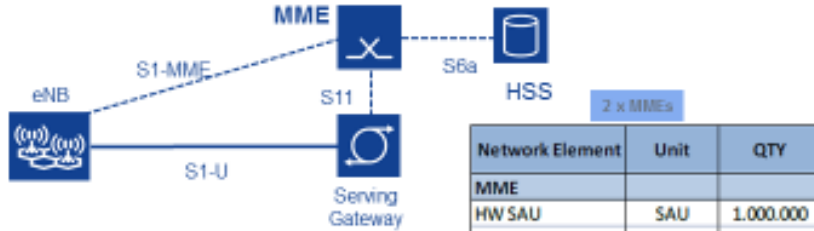


- Solution based on IEEE 1588-2008
- Maximum one way delay is <100 ms
- Packet delay variation is less +/-5 ms
- Packet loss rate shall be below 2%
- Not more than 20 hops shall be passed

15 28/06/2016 © Nokia 2014. Non to LTE and 3GPP EPC Architecture Evolution 0.2 A. Angelisaki For internal use



Mobility Management Entity (MME) 1/2



- It is a pure signaling entity inside the EPC.
- MME uses tracking areas to track the position of idle UEs. The basic principle is identical to location or routing areas from 2G/3G.
- MME handles attaches and detaches to the SAE system, as well as tracking area updates.
 - Therefore it possesses an interface towards the HSS (home subscriber server) which stores the subscription relevant information and the currently assigned MME in its permanent data base.
- A second functionality of the MME is the signaling coordination to setup transport bearers (SAE bearers) through the EPC for a UE.
- MMEs can be interconnected via the S10 interface.
- It generates and allocates temporary ids for UEs.

Network Element	Unit	QTY
MME		
HW SAU	SAU	1.000.000
SW SAU	SAU	100.000



16 28/06/2016 © Nokia 2014. Non to LTE and 3GPP EPC Architecture Evolution 0.2 A. Angelisaki For internal use



Mobility Management Entity (MME) 2/2 -Requerimientos

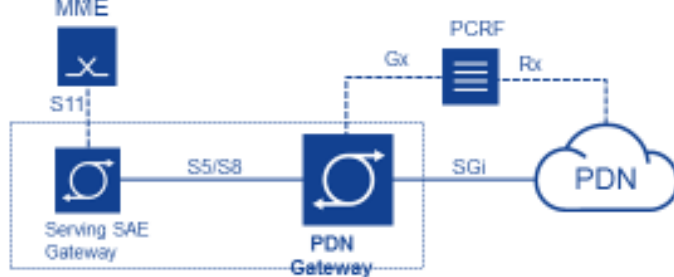
Puertos	Speed / Duplex	Puerto
#1	2 x 1 Gbps / full duplex	SFP copper 1Gbps
#2	2 x 1 Gbps / full duplex	SFP copper 1Gbps
#3	2 x 10 Gbps / full duplex	SFP single mode 10Gbps FO
#4	2 x 10 Gbps / full duplex	SFP single mode 10Gbps FO

• Se definió que los MME se instalarán en Jonte 2 y Córdoba

Cronograma MME

	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Instalacion MME - CORDOBA																
Claro																
Relevamiento e Ingenieria.																
Instalacion																
Comisionamiento																
Integracion																
Pruebas																
Aceptacion																
Instalacion MME - JONTE2																
Claro																
Relevamiento e Ingenieria.																
Instalacion																
Comisionamiento																
Integracion																
Pruebas																
Aceptacion																

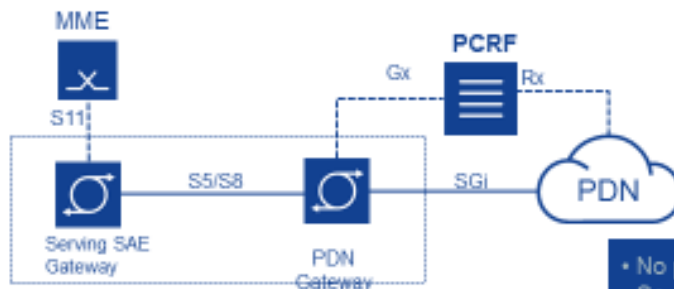
Serving SAE Gateway (S-GW) - Packet Data Network (PDN) SAE Gateway (P-GW)



- Provistos por Cisco
- Se encuentran en Jonte 2 y Torcuato

- The serving gateway is a network element that manages the user data path (SAE bearers) within EPC.
 - It therefore connects via the S1-U interface towards eNB and receives uplink packet data from here and transmits downlink packet data on it.
 - Thus the serving gateway is some kind of distribution and packet data anchoring function within EPC.
- It relays the packet data within EPC via the S5/S8 interface to or from the PDN gateway.
- A serving gateway is controlled by one or more MMEs via S11 interface.
- At a given time, the UE is connected to the EPC via a single Serving-GW.
- The PDN gateway provides the connection between EPC and a number of external data networks. Thus it is comparable to GGSN in 2G/3G networks.
- A major functionality provided by a PDN gateway is the QoS coordination between the external PDN and EPC.
- Therefore the PDN gateway can be connected via Gx to a PCRF (Policy and Charging Rule Function).
- If a UE is connected simultaneously to several PDNs, this may involve connections to more than one PDN-GW.

Policy and Charging Rule Function (PCRF)



- No provisto por Nokia
- Se deben revisar las reglas creadas en el mismo para el perfil LTE

- The PCRF major functionality is the Quality of Service (QoS) coordination between the external PDN and EPC.
- Therefore the PCRF is connected via Rx interface to the external Data network (PDN).
- This function can be used to check and modify the QoS associated with a SAE bearer setup from SAE or to request the setup of a SAE bearer from the PDN.
- This QoS management resembles the policy and charging control framework introduced for IMS with UICC release 6.

Home Subscriber Server (HSS)



- The HSS is already introduced by UMTS release 5.
- With LTE/SAE, the HSS will get additional data per subscriber for SAE mobility and service handling.
- Some changes in the database as well as in the HSS protocol (DIAMETER) will be necessary to enable HSS for LTE/SAE.
- The HSS can be accessed by the MME via S6a interface.

- Se realizará la conversión del HLR Jonte4 a HSS, más el de backup de Santa Fe
- Programado para semana 3

CS Fallback



Area	MSS
AMBA	MSSJDM03
AMBA	MSSTOR03
Cordoba	MSSCOR02
Cordoba	MSSCOR03
Mar del Plata	MSSMAR02
Mendoza	MSSMEN02
Rosario	MSSROS03

- Se deben crear las interfaces SG e implementar CS FallBack en los MSS del área de cobertura de LTE
- Esto implica en la fase 1: Pool AMBA, MSS Córdoba, MSS Rosario, MSS Mendoza y MSS Mar del Plata

iOMS - Netact



- Cada iOMS soporta 200 eNB
- Para la fase 1 se instalarán:
 - 4 en AMBA
 - 1 en Córdoba
 - 1 en Rosario
 - 1 en Mendoza

- Se debe realizar el upgrade a Netact 8

Bundle II CS Claro AR

Bundle II, Installation, Commissioning and Integration SoW 1 of 3

Installation						
Country	Phase	Region	MSS	MGW	ADX	Comments
AR	Phase 1	Córdoba	2	4	20	Pooling Cluster
AR	Phase 1	Rosario	2	2	10	Pooling Cluster phase 1
AR	Phase 1	Bahía Blanca	1			
AR	Phase 1	Corrientes	1			
AR	Phase 1	Mendoza	1	1	4	
AR	Phase 1	San Rafael		1	4	
AR	Phase 1	Tucumán	1	1	4	
AR	Phase 1	Santa Fé	1			
AR	Phase 2	Rosario		2	16	Pooling Cluster Phase 2
AR	Phase 2	Corrientes		1	4	Expansion
AR	Phase 2	Bariolche	1			
AR	Phase 2	Jonte		1	4	
AR	Phase 2	Trenque Lauquen		1	4	
AR	Phase 2	Torcuato		1	4	
AR	Phase 2	Mar del Plata	1	1	2	
AR	Phase 2	Neuquén	1	1	5	
AR	Phase 2	Usuahia	1	1	4	
UY	Phase 2	Montevideo	2	2	16	
PY	Phase 2	Asunción	1	1	9	
			16	21	130	

Main Scope

- ✓ 18 New MSSs I&C, ATP and Homologation Process.
- ✓ 2 MGW expansions.
- ✓ 19 New MGWs, I&C and ATP
- ✓ 110 ADX I&C and Quality Certification.
- ✓ 2 Pooling Clusters Configuration and ATP.
- ✓ Excluding AMBA, already done, 100% CORE Traffic.
- ✓ NPO services.
- ✓ CARE Services.
- ✓ Project Star up planned → P03 2015

Bundle II, Access network traffic migration SoW 2 of 3

RAN Cutovers			
Country	Phase	Region	Access Elements
AR	Phase 1	Córdoba	29
AR	Phase 1	Rosario	14
AR	Phase 1	Bahía Blanca	5
AR	Phase 1	Corrientes	5
AR	Phase 1	Mendoza	19
AR	Phase 1	San Rafael	2
AR	Phase 1	Tucumán	12
AR	Phase 1	Santa Fé	4
AR	Phase 2	Bariolche	5
AR	Phase 2	Trenque Lauquen	4
AR	Phase 2	Mar del Plata	13
AR	Phase 2	Neuquén	5
AR	Phase 2	Usuahia	1
UY	Phase 2	Montevideo	8
AR	Phase 2	Trelew	5
AR	Phase 2	Comodoro Rivadavia	5
AR	Phase 2	Río Grande	2
AR	Phase 2	Fosadas	4
AR	Phase 2	Concordia	4
AR	Phase 2	Salta	8
AR	Phase 2	Junín	8
			158

Main Scope

- ✓ 158 Cutovers of BSCs, RNCs and MGWs.
- ✓ Traffic affected Activity.
- ✓ NPO Services.
- ✓ Pre check NI activities before CU.
- ✓ NI babysitting support after CU.
- ✓ Internal Coordination between NI, NPO and RAN.

Bundle II, De installation and Logistic to customer warehouse SoW 3 of 3

De-installation Services						
Country	Phase	Region	MSS	MGW	Racks MSS/MGW	TSCM Rmk
AR	Phase 1	Bahía Blanca	1		2	7
AR	Phase 1	Santa Fe	1		3	
AR	Phase 1	Córdoba	1	2	12	43
AR	Phase 1	Rosario	1	1	5	21
AR	Phase 1	Comienzos	1		2	
AR	Phase 1	Mendoza	1	1	6	8
AR	Phase 1	San Rafael	1	1	4	2
AR	Phase 1	Tucumán	1	1	5	12
AR	Phase 2	Trelew	1		2	
AR	Phase 2	Comodoro Rivadavia	1		2	
AR	Phase 2	Río Grande	1		2	
AR	Phase 2	Trenque Lauquen	1	1	5	7
AR	Phase 2	Ushuaia	1	1	3	1
AR	Phase 2	Fosadas	1	1	4	
AR	Phase 2	Neuquén	1	1	5	
AR	Phase 2	Concordia	1	1	5	
AR	Phase 2	Bariloche	1		2	
AR	Phase 2	Salta	1		3	
AR	Phase 2	Mar del Plata	1	1	6	10
AR	Phase 2	San Vicente	1	1	6	5
AR	Phase 2	Junín		1	3	6
UY	Phase 2	Montevideo	1	2	8	
			23	16	95	121

Main Scope

- ✓ 217 Racks should be de installed
- ✓ A lot of E1, FO and cables over trays overloaded.
- ✓ Some activities with high risk.
- ✓ Packing and high detailed inventory.
- ✓ Customer Warehouse Logistic...

27 20/06/2016 © Nokia 2014 5G to LTE and 3GPP EPC Architecture Evolution 0.2 A. Angeloski
For internal use

NOKIA

NOKIA

20 20/06/2016 © Nokia 2014 5G to LTE and 3GPP EPC Architecture Evolution 0.2 A. Angeloski
For internal use