



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO A NIVEL DE ARQUITECTURA DE UNA RED LTE-A PARA UNA  
ZONA URBANA DE ACUERDO CON LOS ESTÁNDARES 3GPP**

**Sandy Judith Kihn Alarcón**

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO A NIVEL DE ARQUITECTURA DE UNA RED LTE-A PARA UNA  
ZONA URBANA DE ACUERDO CON LOS ESTÁNDARES 3GPP**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**SANDY JUDITH KIHN ALARCÓN**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMAN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO A NIVEL DE ARQUITECTURA DE UNA RED LTE-A PARA UNA ZONA URBANA DE ACUERDO CON LOS ESTÁNDARES 3GPP**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 14 de febrero de 2018.



**Sandy Judith Kihn Alarcon**

Guatemala, 11 de septiembre de 2018

Ingeniero

**Julio Solares Peñate**

Coordinador Área de Electrónica

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

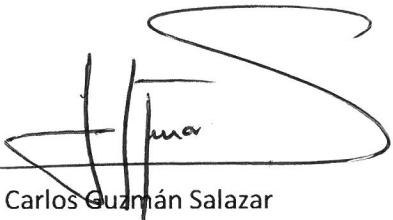
Estimado ingeniero Solares:

Hago de su conocimiento por este medio que he concluido la revisión del trabajo de graduación de la estudiante **Sandy Judith Kihn Alarcón**, titulado “ **DISEÑO A NIVEL DE ARQUITECTURA DE UNA RED LTE-A PARA UNA ZONA URBANA DE ACUERDO CON LOS ESTÁNDARES 3GPP**”.

Indicando que el mismo cumple con los propósitos y objetivos con los que fue propuesto, por lo que, doy mi **APROBACIÓN** al mismo. Indicando además que, tanto el suscrito como la estudiante Kihn Alarcón, solo los únicos responsables por el contenido del mismo.

Quedo en la mejor disposición de ampliar cualquier concepto relacionado con el trabajo en cuestión.

Reciba un cordial saludo,



Carlos Guzmán Salazar

ASESOR

**CARLOS GUZMAN SALAZAR**  
Ingeniero Electricista  
Col. No. 2762



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 10 de octubre de 2018

**Señor Director**  
**Ing. Otto Fernando Andrino González**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC.**


Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO A NIVEL DE ARQUITECTURA DE UNA RED LTE-A PARA UNA ZONA URBANA DE ACUERDO CON LOS ESTÁNDARES 3GPP**, desarrollado por la estudiante **Sandy Judith Kihn Alarcón**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
**Ing. Julio César Solares Peñate**  
**Coordinador de Electrónica**



REF. EIME 79. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de la estudiante: SANDY JUDITH KIHN ALARCÓN titulado: DISEÑO A NIVEL DE ARQUITECTURA DE UNA RED LTE-A PARA UNA ZONA URBANA DE ACUERDO CON LOS ESTÁNDARES 3GPP, procede a la autorización del mismo.

A handwritten signature in blue ink, reading "Otto Fernando Andrino González".

Ing. Otto Fernando Andrino González

GUATEMALA, 22 DE OCTUBRE 2018.

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

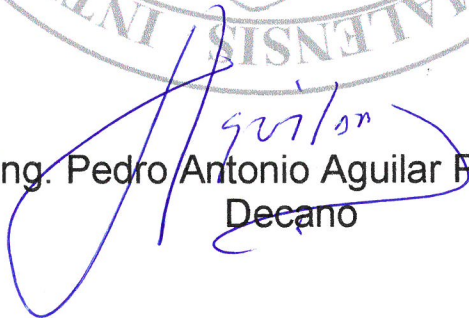


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.191-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO A NIVEL DE ARQUITECTURA DE UNA RED LTE-A PARA UNA ZONA URBANA DE ACUERDO CON LOS ESTÁNDARES 3GPP"**, presentado por la estudiante: **Sandy Judith Kihn Alarcón** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, Abril de 2019

/echm



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Jose Luis Kihn y Sonia Alarcón, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

### **Mi hermana**

Alba Kihn, por ser una motivación y parte muy importante de mi vida.

### **Mis amigos**

En especial a Maynor Ballina, Doris Roldan, Eddy Solares, Lester de León, Alex Ramos, Alejandro Cajas, Danilo Escobar, Juan Luis Bonilla, Sharonn Pú, por brindarme su apoyo y valiosa amistad durante todos estos años.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de luchar por alcanzar un sueño.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme el conocimiento profesional y ético.
<b>Ing. Carlos Guzmán</b>	Por su valiosa ayuda durante el desarrollo del área profesional y su asesoría durante la redacción del trabajo de graduación.
<b>Mis compañeros de universidad</b>	Por ser un apoyo importante durante mi formación académica.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. LONG TERM EVOLUTION, LTE .....	1
1.1. Historia y evolución .....	1
1.2. Requerimientos técnicos para la implementación de LTE .....	5
1.3. Arquitectura básica de una red LTE .....	13
1.3.1. Bloque UE .....	15
1.3.2. Bloque E-UTRAN .....	17
1.3.2.1. Interfaces bloque E-UTRAN .....	20
1.3.2.1.1. Interfaz de radio .....	20
1.3.2.1.2. Interfaz X2 .....	23
1.3.2.1.3. Interfaz S1 .....	24
1.3.2.1.4. Nodos eNB .....	26
1.3.2.2. Protocolos bloque E-UTRAN .....	27
1.3.2.2.1. Protocolos, capas y subcapas de la interfaz de radio .....	27

	1.3.2.2.2.	Protocolos, capas y subcapas de las interfaces S1 y X2.....	30
1.3.3.		Bloque EPC.....	31
	1.3.3.1.	Elementos e interfaces bloque EPC.....	33
		1.3.3.1.1. MME .....	33
		1.3.3.1.2. P-GW.....	35
		1.3.3.1.3. S-GW.....	36
		1.3.3.1.4. HSS .....	37
		1.3.3.1.5. PCRF.....	37
		1.3.3.1.6. Interfaces.....	38
2.		LONG TERM EVOLUTION ADVANCED, LTE-A .....	41
	2.1.	Historia y evolución LTE-A .....	41
	2.2.	Requerimientos técnicos para la implementación de LTE-A... ..	46
		2.2.1. Bandas de frecuencia LTE-A.....	47
	2.3.	Arquitectura básica de una red LTE-A.....	49
		2.3.1. Bloque E-UTRAN .....	50
		2.3.1.1. HeNB.....	52
		2.3.1.2. Relay Nodes .....	55
		2.3.2. Bloque EPC.....	57
		2.3.3. Servicios IMS .....	58
	2.4.	Protocolos y técnicas de red en LTE-A .....	59
		2.4.1. Agregación de portadora .....	60
		2.4.2. MIMO LTE-A .....	62
3.		COMPARACIÓN ENTRE LA TECNOLOGÍA LTE Y LTE-A.....	63
	3.1.	Diferencias a nivel de capa física .....	63

3.2.	Diferencias a nivel de interfaces físicas .....	65
3.3.	Diferencias a nivel de protocolos de señalización .....	66
3.4.	Ventajas de LTE-A sobre LTE .....	67
3.5.	Desventajas de LTE-A en comparación con LTE.....	69
4.	IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED LTE-A BASADA EN UNA RED LTE EXISTENTE .....	71
4.1.	Cambios físicos necesarios .....	71
4.2.	Cambios de señalización necesarios .....	72
4.3.	Análisis final.....	72
	CONCLUSIONES .....	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFIA.....	79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Red de acceso del estándar LTE .....	7
2.	Espectro OFDM vrs. OFDMA .....	10
3.	Espectro SC-OFDMA vrs. SC-FDMA .....	11
4.	Interfaces E-UTRAN y EPC .....	14
5.	Arquitectura bloque E-UTRAN .....	18
6.	Mecanismos de transferencia de información .....	22
7.	Capas Interfaz de radio .....	29
8.	Configuración interfaces S1 y X2 .....	31
9.	Configuración bloque EPC .....	32
10.	Configuración espectro electromagnético LTE-A.....	48
11.	Arquitectura de red LTE-A básica .....	50
12.	Configuración HeNB .....	55
13.	Configuración RN.....	57
14.	Agregación de portadora en LTE-A.....	60
15.	Portadora intrabanda continua .....	61

### TABLAS

I.	Requerimientos de acceso de radio ITU-R.....	44
II.	Respuesta de LTE-A ante los requerimientos de acceso de radio ITU-R .....	45
III.	Categorías UE LTE-A.....	62
IV.	Comparación a nivel de capa física entre LTE y LTE-A.....	65

V.	Comparación a nivel de interfaces entre LTE y LTE-A.....	66
VI.	Comparación a nivel de protocolos entre LTE y LTE-A.....	67



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>4B/5B</b>	4Binario/5Binario
<b>Bw</b>	Ancho de banda
<b>Bps</b>	Bit por segundo
<b>2B+D</b>	Canal de acceso básico ISDN
<b>4G</b>	Cuarta generación de redes móviles
<b>3Com</b>	Fabricante de hardware para telecomunicaciones
<i>f</i>	Frecuencia
<b>Gbps</b>	Gigabit por segundo
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>Hz</b>	Hertz
<b>Kbps</b>	Kilobit por segundo
<b>KHz</b>	Kilohertz
<b>Mbps</b>	Mega bit por segundo
<b>MHz</b>	Mega Hertz
<b>FDM</b>	Multiplexación por división de frecuencia
<b>QoS</b>	<i>Quality of service</i>
<b>5G</b>	Quinta generación de redes móviles
<b>3G</b>	Tercera generación de redes móviles
<b>3GPP</b>	<i>Third generation partnership project</i>
<b>3PTY</b>	<i>Three party service</i>
<b>Tbps</b>	Terabit por segundo
<b>THz</b>	Terahertz



## GLOSARIO

<b>AI</b>	<i>Access interface</i>
<b>AP</b>	<i>Access point</i>
<b>APN</b>	<i>Access point name.</i>
<b>ACS</b>	<i>Advance communication service</i>
<b>LTE-A</b>	<i>Advanced long term evolution.</i>
<b>ABS</b>	<i>Alternate billing service.</i>
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous transfer mode.</i>
<b>AuC</b>	<i>Authentication center.</i>
<b>BS</b>	<i>Base station.</i>
<b>CDMA</b>	<i>Code division multiple access.</i> Tecnología de comunicación celular digital utilizada como una técnica de acceso.
<b>CMIP</b>	<i>Common management information protocol.</i> Protocolo usado para manejar sistemas remotos mediante un

proceso de aplicación que intercambia información y comandos.

**E-UTRAN**

*Evolved UMTS terrestrial radio access network.*

**FDD**

*Frequency division duplex.* Método de transferencia de dos mitades de una comunicación *full duplex* a la misma vez al usar dos diferentes frecuencias para cada mitad del canal.

**FDM**

*Frequency division multiplexer.* División de un medio de transmisión en dos o más canales dividiendo la banda de frecuencia transmitida por el medio, en bandas más estrechas, usando cada una de ellas como un canal diferente.

**FDMA**

*Frequency division multiple access.* Técnica de acceso para compartir una banda de espectro donde cada usuario es asignado un canal de transmisión simple.

**GGSN**

*Gateway GPRS support node.* Elemento de red responsable de brindar el enlace a la nube al usuario.

**GS**

*Gateway server.* Estación en la red de área local que tiene aparatos necesarios para proporcionar interoperabilidad sistemática entre uno o más usuarios de red.

<b>GPRS</b>	<i>General packet radio service.</i>
<b>GSM</b>	<i>Global standard for mobile telecommunications.</i>
<b>HSPA</b>	<i>High-speed packet access.</i>
<b>HEnB</b>	<i>Home eNB.</i>
<b>HEnB-GW</b>	<i>Home eNB gateway.</i>
<b>HLR</b>	<i>Home location register.</i>
<b>HSS</b>	<i>Home subscriber server.</i>
<b>IMEI</b>	<i>International mobile equipment identity.</i>
<b>IMSI</b>	<i>International mobile subscriber identity.</i>
<b>IP</b>	<i>Internet protocol.</i>
<b>ISDN</b>	<i>Integrated service digital network. Sistema estándar e integrado que permite simultáneamente a los usuarios mandar voz, datos, y videos sobre múltiples canales de comunicación desde una interfaz de red común.</i>
<b>ITU</b>	<i>International telecommunications union. Organización Internacional mediante la cual gobiernos y sectores privados establecen estándares para comunicaciones.</i>

<b>LTE</b>	<i>Long term evolution.</i>
<b>MDF</b>	<i>Main distribution frame.</i> Unidad que conecta entre los cables de la planta externa y líneas internas o equipo de línea en la oficina central.
<b>MTP</b>	<i>Message transfer part.</i>
<b>NAP</b>	<i>Network access point.</i>
<b>OSI</b>	<i>Open system interconnection.</i>
<b>OSS</b>	Operations support systems
<b>PCM</b>	<i>Pulse code modulation.</i> Es una muestra de una señal y cada muestra es después digitalizada para así tenerla transmitida como un soporte.
<b>RF</b>	<i>Radio frequency.</i>
<b>RN</b>	<i>Relay node.</i> Nodo pequeño utilizado para brinda cobertura a lugares pequeños.
<b>RTP</b>	<i>Real time protocol.</i> Protocolo de internet para la transmisión de voz y vídeo.
<b>SCP</b>	<i>Service control point.</i>
<b>SIM</b>	<i>Subscriber identity module.</i>

**Streaming**

Servicio IMS de transmisión de video en tiempo real.





## RESUMEN

En la actualidad, en Guatemala, 2 de las 3 compañías de telecomunicaciones están ofreciendo el servicio LTE para la ciudad de Guatemala; el principal inconveniente es que las redes de telecomunicaciones evolucionan de una manera demasiado rápida. Aunque en Guatemala, se está ofreciendo el servicio LTE como una tecnología de punta, esto no es totalmente cierto, ya que en países europeos ya se está trabajando con la siguiente tecnología conocida como LTE-A.

Con el presente trabajo de graduación se pretende realizar un estudio de los cambios necesarios para la implementación de una red LTE-A. Se analizó sus bandas de operación de LTE, sus fortalezas y debilidades, así como un estudio de la arquitectura de red básica para su implementación.

Se hizo un estudio de la tecnología LTE-A, para la cual se analizó los estándares 3GPP requeridos para su implementación, sus bandas de frecuencias, fortalezas y debilidades, principales características, medios de acceso y arquitectura de red.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un estudio sobre el diseño a nivel de arquitectura de una red LTE-A para una zona urbana de acuerdo con los estándares 3GPP.

## Específicos

1. Estudio a nivel de arquitectura y protocolos de una red LTE.
2. Estudio a nivel de arquitectura y protocolos de una red LTE-A.
3. Presentar las diferencias a nivel de arquitectura, red, equipos y protocolos entre redes LTE y LTE-A.
4. Presentar un estudio sobre los cambios que conlleva la implementación de una red LTE-A.



## **INTRODUCCIÓN**

Debido a que LTE-A es una tecnología relativamente novedosa, muy pocas compañías de telefonía y expertos en telecomunicaciones tienen un amplio conocimiento de los cambios que representa una evolución a LTE-A; no solo cambios y mejoras a nivel de servicio, también, los cambios en componentes físico y lógicos de la red.

En el presente trabajo de graduación se estudian profundamente los estándares requeridos para la implementación de LTE-A y LTE, las arquitecturas de red y los medios de acceso a red; esto facilitará la implementación de una red LTE-A basada en una red LTE.



# 1. LONG TERM EVOLUTION, LTE

*Long Term Evolution*, LTE, es un estándar de telecomunicaciones para la transmisión y recepción de datos de alta velocidad. Sus fundamentos técnicos se encuentran definidos como una evolución de la norma 3GPP UMTS, conocida como una norma 4G 3GPP. La evolución principal es a nivel de capa física radioeléctrica, con la incorporación de nuevos protocolos para la comunicación del enlace de subida y bajada y una modulación MIMO para su compatibilidad con otras tecnologías.

## 1.1. Historia y evolución

LTE surge ante la necesidad, de la evolución y mejora de los servicios de transmisión de datos tales como navegador en internet, aplicaciones de redes sociales, *streaming*, entre otras. Las velocidades de transmisión de datos ofrecidas por HSPA+ para los enlaces de subida y bajada ya no son suficientes y los estándares requerían una mejora de las mismas. Otra necesidad que impulso el lanzamiento de LTE fue garantizar la compatibilidad de una nueva tecnología de transmisión de datos con las existentes de tercera generación, entre ellas la optimización de la tecnología conmutación de paquetes, disminuir los costos de mantenimiento y de operación y, ante todo, la interoperabilidad con las bandas utilizadas y asignadas.

Ante estas necesidades el comité 3GPP inicio con el estudio de los fundamentos teóricos y técnicos para un estándar 4G, y así como surgió el estándar LTE en el año 2004, bajo ideas del comité NTT DoCoMo de Japón.

Siemens, en colaboración con la compañía Nomor Research, en 2006, demostró la primera simulación de una red de telecomunicaciones basada en el estándar LTE, entre las simulaciones realizadas se encuentran:

- Streaming de video
- Llamadas de voz
- Llamadas de video
- Servicios multimedia

En 2007 se realizaron pruebas con equipos compatibles con LTE marca Siemens, alcanzando una velocidad pico de 144 Mbps; esta velocidad, aunque fue muy superior a la ofrecida, no cumplía con los requerimientos del estándar 3GPP para LTE. En septiembre de 2007, NTT DoCoMo, nuevamente realizó pruebas, esta vez en sus pruebas alcanzaron velocidades picos de 200 Mbps y adicional demostraron que con LTE se consume una menor cantidad de potencia, para esta prueba utilizaron potencias menores a 100 mW.

En septiembre de 2007, la compañía Infineon presentó su primer prototipo de un transceptor de RF, el cual recibió el nombre de SMARTi LTE. A principios de 2008, se realizó una convención para fabricantes de equipos compatibles con LTE, denominada como Mobile World Congress, realizada en Barcelona; en esta convención se dio a conocer mundialmente los aspectos más importantes de LTE.

Acá muchos fabricantes presentaron sus equipos compatibles con LTE, fue Ericsson quien realizó su prueba de una llamada punto a punto mediante LTE. Motorola demostró su núcleo RAN para LTE, sus nodos B LTE, denominados eNode B (*evolved node B*). Adicionalmente, en esta convención se demostró como la tecnología LTE puede acelerar la transferencia de datos para el servicio



HD *media streaming*, HD *video blogging*, juegos en línea y el novedoso servicio de VoIP sobre LTE, todo esto montado sobre una plataforma RAN.

Mediante los equipos de Ericsson, se demostró la funcionabilidad de los modos LTE-FDD y LTE-TDD bajo la misma plataforma. La compañía Freescale Semiconductor realizó pruebas de video HD con velocidades de transferencia picos de 96 Mbps para el enlace descendente y 86 Mbps para el enlace ascendente. La compañía NXP Semiconductors reveló su modem para Smartphone, el cual podía ser utilizado como base para los sistemas de radio definidos por software. Las compañías picoChip y Mimoon, en conjunto desarrollaron una referencia para el diseño de una radio base, la cual funciona sobre una plataforma WiMAX.

En 2008 las compañías LG y Nortel demostraron que con sus equipos se podían alcanzar velocidades de hasta 50 Mbps, cuando el usuario se mueve a velocidades de hasta 110 Km/h. En noviembre, Motorola realizó pruebas con sus equipos LTE, esta vez realizaron llamadas punto a punto, utilizando un espectro de frecuencia; es decir, ya no eran pruebas de laboratorio, ya estaban moviéndose a la realidad; en dichas pruebas se utilizó la frecuencia de 700 MHz, dichas pruebas fueron satisfactorias.

En 2009, nuevamente se realizó la convención Mobile World Congress, en esta ocasión los puntos más relevantes fueron la demostración de Infineon de su nuevo chip transceptor el cual soportaba la interoperabilidad de las tecnologías 2G, 3G y LTE, y Motorola hizo un *drive test*, sobre una banda de 700 MHz. En julio, la compañía Nujura demostró que, trabajando sobre la frecuencia de 800 MHz, su equipo de amplificación podía tener una eficiencia de más del 60 % comparado con otros equipos del mismo tipo y la misma frecuencia. En agosto, LG y Nortel realizaron exitosamente pruebas de *handover* de LTE a LTE, de LTE

a CDMA y de CDMA a LTE. Este mismo año, la entidad FCC otorgó el primer certificado de estación base a la empresa Alcatel para su estación base de 700 MHz.

En octubre, las empresas Ericsson y Samsung demostraron la interoperabilidad de LTE con las 3G existentes, eso fue el punto cúlspide en el desarrollo de LTE, ya que, a partir de este punto, la mayoría de operadores de telefonía, iniciaron a hacer sus planes de implementación de LTE, sin la necesidad de cambiar su arquitectura de red actual. En diciembre, se puso en funcionamiento la primera red LTE del mundo, esto sucedió en Suecia y con el operador de telefonía TeliaSonera, la nueva arquitectura de red fue implementada y diseñada por la empresa china Huawei y los módems bajo la japonesa Samsung. Se utilizó un ancho de banda de 10 MHz y un método de transmisión SISO (*single input and single output*). Esta red proporcionaba velocidades de transmisión de datos de hasta 50 Mbps para en enlace descendente y hasta 25 Mbps para el enlace ascendente.

En el año 2010, Motorola inició con las pruebas de la red LTE de la empresa de telefonía móvil China Mobile. Posterior a estas pruebas se demostró que en un red tan compleja y grande como la de China Mobile, los equipos de Motorola podían ofrecer velocidades de transmisión de datos de hasta 60 Mbps para en enlace descendente y 35 Mbps para en enlace ascendente, pero el proyecto se quedó estancado hasta 2012.

En el año 2011, se puso en funcionamiento la primera red LTE de Asia, en Sri Lanka para la empresa de telefonía Sri Lanka Telecom Mobitel, con velocidades de transferencia de datos de hasta 96 Mbps para el enlace descendente y 25 Mbps para el enlace ascendente.

LTE consigue estas velocidades de transmisión de datos gracias a la incorporación de una nueva técnica para la conmutación, conocida como conmutación de paquetes IP. Adicional, la multiplexación por división de frecuencias ortogonales se realiza después de pasar la señal por un codificador de canal, esto con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión. Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles de portadoras equis espaciada, los procesos de multiplexación y demultiplexación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT y la DFT, respectivamente.

LTE fue introducido bajo el Release 8 de 3GPP en la parte de EPS (*evolved packet system*). Este release fue publicado en 2008.

## **1.2. Requerimientos técnicos para la implementación de LTE**

Antes de conocer los requerimientos técnicos necesarios para la implementación de LTE, se deben conocer las principales características de una red LTE.

- Arquitectura básica y de sencilla implementación.
- Interoperabilidad con diferentes bandas de frecuencias de manera simultánea.
- Ancho de banda compatible con frecuencias de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz.
- Compatibilidad con otras tecnologías y estándares desarrollados por 3GPP.

- Eficiencia y flexibilidad en la utilización del espectro electromagnético.
- Interoperabilidad con otros sistemas CDMA2000.
- Velocidad pico de bajada de 326,5 Mbps para 4x4 antenas y 172,8 Mbps para 2x2 antenas.
- Velocidad pico de subida de 86,5 Mbps.
- Separación del plano de control y plano de usuario mediante la utilización de interfaces abiertas.
- Utilización de OFDM.
- Disminución de latencia a valores promedio de 100 ms para el plano de control y 10 ms para el plano de usuario.
- Capacidad de funcionamiento con velocidades de desplazamiento de hasta 500Km/H.
- Alta capacidad de registro de usuario. Hasta 200 usuarios por celda.

En el Release 8 se especifica que las tecnologías para EPS deben basar su funcionamiento en el protocolo IP. Los servicios en tiempo real y los servicios de comunicación de datos se realizan sobre el protocolo IP. La dirección IP se asigna cuando el móvil está encendido y se libera cuando se apaga.

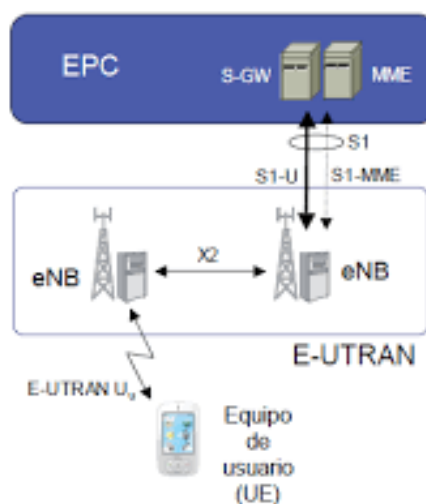
A nivel de acceso a red, LTE funciona con la técnica OFDMA (*orthogonal frequency division multiple access*) en combinación con una modulación de orden

superior; según las características del sistema y del ambiente, se puede utilizar una modulación de hasta 64QAM.

Adicionalmente, LTE funciona con grandes anchos de banda (hasta 20 MHz) y la multiplexación espacial en el enlace descendente (hasta 4x4), se pueden lograr altas velocidades de transferencia de dato. Las tasas de transferencia de datos teóricas picos son de 75 Mbps para el enlace ascendente, y hasta 300 Mbps para el enlace descendente, utilizando la multiplexación espacial.

La red de acceso LTE consiste simplemente en una red de estaciones base y eNodoB, con lo cual se consigue una arquitectura plana. No existe un controlador inteligente centralizado, y los eNodos B son normalmente interconectados por medio de las interfaces X2 y hacia la red central por la interfaz S1. En la figura 1, se muestra la red de acceso de LTE.

Figura 1. **Red de acceso del estándar LTE**



Fuente: 3GPP. <http://www.3gpp.org/local/LTE.jpeg>. Consulta: 19 de febrero de 2018.

La razón para realizar este tipo de distribución entre las estaciones base es acelerar el establecimiento de la conexión y reducir el tiempo requerido para un traspaso. Para el usuario el tiempo necesario para realizar la conexión para una sesión de datos, es de vital importancia; por esta razón, este es un punto crítico en la implementación de la arquitectura de red de acceso en LTE. Otra ventaja de la red de acceso simplificada de LTE consiste en que la capa de protocolo MAC, que es responsable de la programación, está representado únicamente en el UE y en la estación base, esto permite mejorar la velocidad de la comunicación y la toma de decisiones entre el eNodo B y el UE. El *Scheduler* es un componente clave para alcanzar un rápido ajuste y eficiencia en la utilización del recurso de radio, por esta razón el TTI únicamente puede ser configurado como 1 ms.

Durante cada TTI de 1 ms el planificador de un eNodo B deberá realizar las siguientes tareas:

- Considerar el entorno de radio física por cada UE.
- Dar prioridad a los requerimientos de QoS entre los UE.
- Informar a los UE de los recursos de radio asignados y los planes de los eNodos B para los enlaces de subida y bajada.

Los UE informan de la calidad de radio percibida, con base en esto el *Scheduler* deberá decidir qué esquema de modulación y codificación utilizar. La solución se basa en la rápida adaptación ante variaciones en el canal, esto se logra mediante la utilización de la técnica HARQ (*hybrid automatic repeat request*) combinado con una técnica de adaptación de tasas de transferencia mediante software. LTE soporta los servicios en tiempo real que son sensibles al retardo, así como los servicios de transferencia de datos que requieren altas velocidades de transferencia. Para cada UE programado en un TTI, los datos del

usuario serán transportados en un TB. Para el enlace descendente puede haber un máximo de dos TB generados por TTI, si se utiliza multiplexación espacial. La TB se entrega en un canal de transporte. En LTE el número de canales se reduce en comparación con HSPA+.

Para el plano de usuario únicamente es un TB compartida por medio del canal de transporte en cada dirección. La TB enviada en el canal puede contener los bits de un número de servicios, multiplexados juntos. Para lograr una alta eficiencia espectral de radio, así como habilitar un esquema eficiente en los dominios de tiempo y de frecuencia, la 3GPP optó por utilizar un enfoque multiportadora para acceso múltiple. Para el enlace descendente, se seleccionó la tecnología OFDMA (*orthogonal frequency division multiple access*). Para el enlace ascendente se seleccionó la técnica SC-FDMA (*single carrier - frequency division multiple access*), la cual también se le conoce como DFT (*discrete fourier transform*).

OFDM es una tecnología multiportadora, la cual divide el ancho de banda disponible en varias subportadoras ortogonales de banda estrecha mutuas entre sí. En OFDMA estas subportadoras se pueden ser compartidas entre varios usuarios.

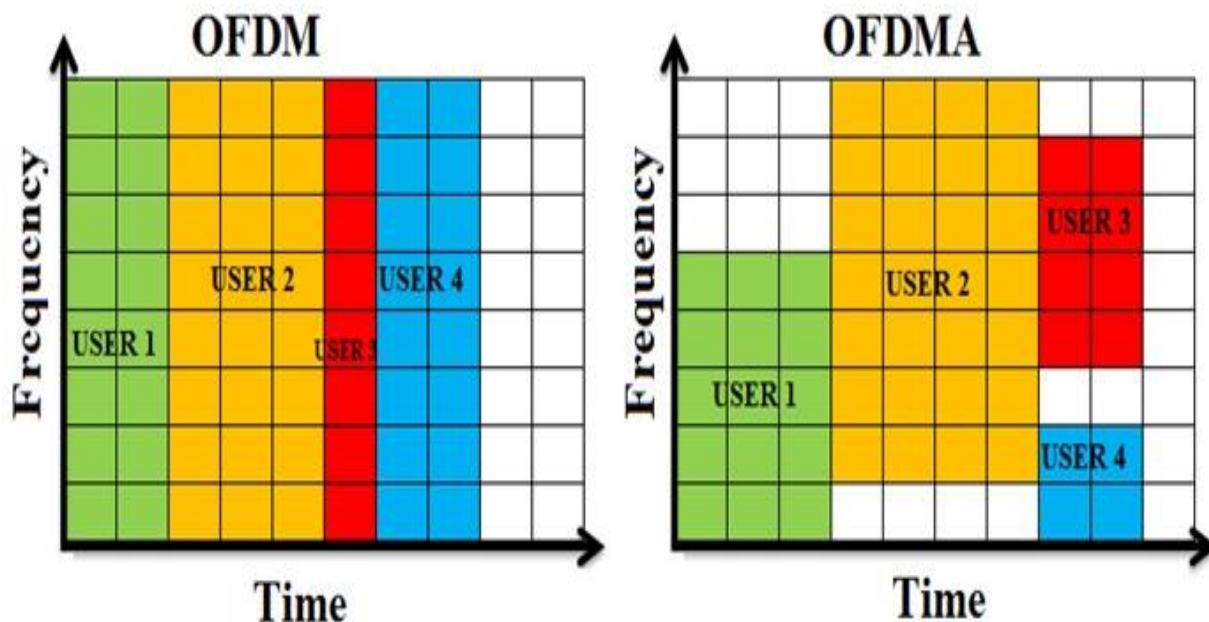
La utilización de OFDMA conduce a un alto PAPR (*peak-to-average power ratio*), con lo cual se requieren la utilización de costos amplificadores con altos requisitos de linealidad, y esto a su vez aumenta el gasto de energía para el remitente. En relación a los anchos de banda disponibles, estos, al igual que la mayoría de elementos en LTE, también son flexibles a partir de 1,4 MHz hasta 20 MHz. LTE fue desarrollado para soportar tanto la tecnología de TDD dúplex, así como FDD dúplex. En R8 hay 15 bandas especificadas para FDD y ocho

bandas para TTD, luego en el R9 se añadieron cuatro bandas para FDD, adicional se añadieron los servicios MBMS y Home EnodeB.

MBMS se utiliza para proporcionar información de difusión a todos los usuarios, por ejemplo, la publicidad, y multicast a un grupo específico de usuarios que se suscribieron a un servicio específico. HeNB fue introducido principalmente para proporcionar cobertura en interiores, en los hogares, edificios u oficinas. HeNB es un eNode B de baja potencia que se utiliza en pequeñas células.

En la figura 2 se observa una comparación entre el espectro de FDMA y OFDMA. En la figura 3 se observa la utilización del espectro de SC-FDMA.

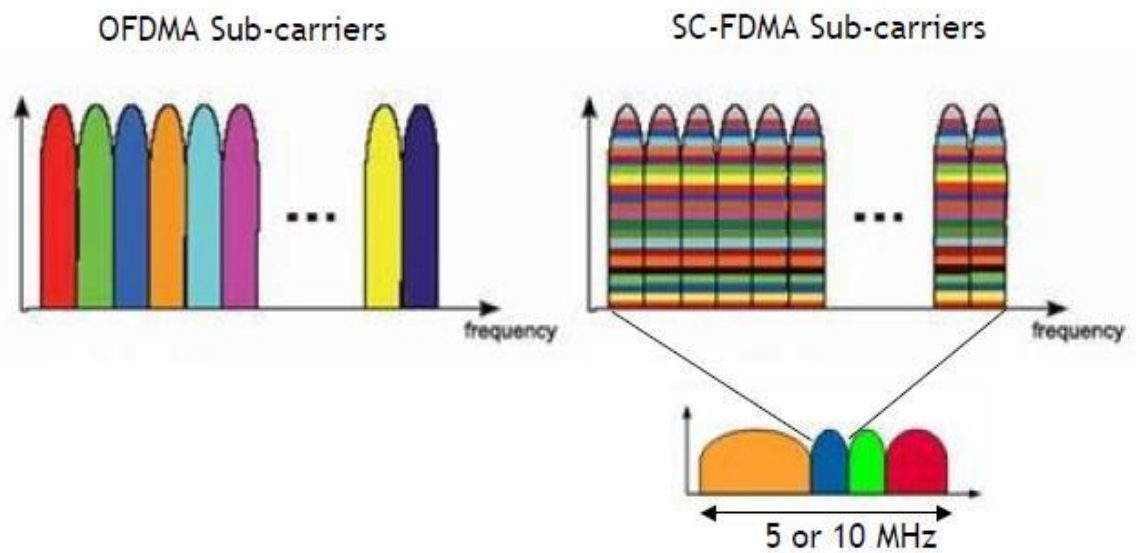
Figura 2. **Espectro OFDM vs. OFDMA**



Fuente: 3GPP. <https://www.differencebetween.com/wpcontent/uploads/2014/07/difference-between-ofdm-and-ofdma.jpg>. Consulta: 20 de febrero de 2018.



Figura 3. Espectro SC-OFDMA vrs. SC-FDMA



Fuente: 3GPP. <http://4.bp.blogspot.com/0bjvQBtbk8/TyeueQOc8CI/AAAAAAAAAU8/ULNBAh3mflk/s1600/wanna.JPG>. Consulta: 20 de febrero de 2018.

En una arquitectura de red LTE, un eNode B y un HeNB pueden coexistir y funcionar bajo una misma zona de cobertura, sin interferirse entre ellos. Aunque no tienen comunicación directa, pueden intercomunicarse por medio del bloque de conmutación por paquetes.

Si el usuario ingresa al área de cobertura de un HeNB, el UE enviar una notificación en la cual informa que debe realizar el cambio y solicitar actualización de ubicación; posterior a la confirmación por parte del BCP este procede a enviar y recibir información por medio del HeNB. Del mismo modo, cuando el usuario abandona la zona de cobertura del HeNB, el UE también envía una notificación al BCP.

La mejora en la utilización del espectro se debe a que LTE utiliza un método para el proceso de bajada y otro método diferente para el proceso de subida. Para bajada de datos utiliza el método de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), el cual consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta diferente información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales se realiza después de pasar la señal por un codificador de canal, esto con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión. Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles de portadoras equis espaciada, los procesos de multiplexación y demultiplexación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT y la DFT, respectivamente.

Una de las principales características de OFDM, es el enlace descendente robusto frente a las múltiples interferencias y de alta afinidad a las técnicas avanzadas como la programación de dominio frecuencia del canal dependiente y MIMO. Para la ascendencia de datos, LTE utiliza el método de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA, por sus siglas en inglés).

En el método FDMA, el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, los cuales corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse entre sí. Este método convierte cada fuente de varias que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencias, a una banda distinta de frecuencias, y se transmite en forma simultánea por un solo medio de transmisión; con esto se logra la transmisión de varios canales de banda relativamente angosta por un solo sistema de transmisión de banda ancha.

FDM es un esquema análogo de multiplexado; la información que entra a un sistema FDM es analógica y permanece analógica durante toda su transmisión. De las principales características de FDMA se pueden mencionar que requiere un multiplexor de antena para transmisión dúplex, se asignan canales individuales a cada usuario, los canales son asignados de acuerdo a la demanda, normalmente FDMA se combina con FDD.

Para el estándar LTE el espacio de la subportadora es de 15 KHz y cuenta con prefijos de longitud cíclica cortos y largos de  $4,7\mu\text{s}$  y  $16,7\mu\text{s}$ , respectivamente. La multiplexación espacial para la subida de datos se realiza mediante una sola capa de subida para UE; para la multiplexación espacial para la bajada de datos se pueden utilizar un máximo de 4 capas. Las modulaciones utilizadas son QPSK, 16 QAM, 64 QAM. Adicional, se determinó que el ancho de banda idóneo para LTE es de 20 MHz.

### **1.3. Arquitectura básica de una red LTE**

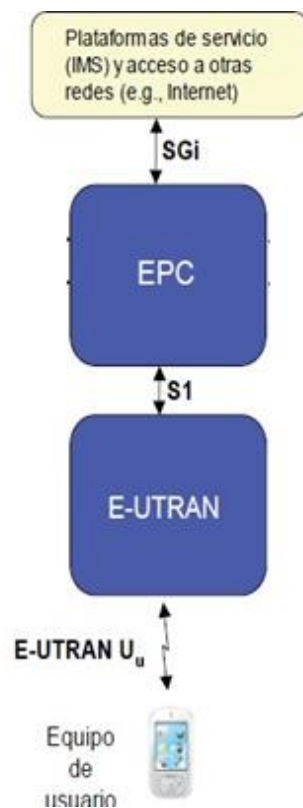
La arquitectura básica de una red LTE está conformada por dos partes principales que son:

- Bloque UE
- E-UTRAN
- EPC

El bloque E-UTRAN y el bloque EPC en conjunto proporcionan servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS; que es el responsable de la señalización asociada a los servicios multimedia y distintas redes de telecomunicaciones como Internet. El servicio de transferencia de paquetes IP en la red LTE entre el

equipo de usuario y una red externa se denomina servicio portador EPS. También, la transferencia de paquetes que proporciona la red de acceso E-UTRAN se denomina E-UTRAN radio access bearer (ERAB). En la figura 4 se muestran las principales interfaces de los bloques E-UTRAN y EPC.

Figura 4. **Interfaces E-UTRAN y EPC**



Fuente: 3GPP. <http://www.3gppworldwide.com/LTE/Release8/EUTRAN.jpg>. Consulta: 20 de febrero de 2018.

La interfaz que se ubica entre los bloques E-UTRAN y EPC se denomina S1. Ambos dan a EPC los mecanismos necesarios para gestionar el acceso de los terminales móviles a través de E-UTRAN.

La interfaz entre el bloque EU y E-UTRAN se denomina E-UTRAN Uu. En tanto, las plataformas de servicios como IMS y la conexión a redes de paquetes externas IP se llevan a cabo mediante la interfaz SGI de la EPC. El control de los servicios de transporte ofrecidos por EPC se basan en información proporcionada por otros elementos de la red troncal que no son exclusivos del sistema LTE, sino que pueden dar soporte también a otros dominios de los sistemas 3GPP.

### **1.3.1. Bloque UE**

Básicamente podemos decir que el bloque UE es el bloque de la arquitectura LTE que conforma la interfaz final con el usuario. Se le asignó el nombre de equipo de usuario debido a la gran cantidad de aplicaciones y servicios que puede realizar. Sin embargo, esencialmente el equipo móvil es el teléfono celular del usuario. En LTE el bloque UE se encuentra compuesto por los siguientes 3 bloques:

- El equipo terminal (TE, *terminal equipment*)
- La terminal móvil (MT, *mobile termination*)
- LA UICC (*universal integrated circuit card*)

El bloque de equipo terminal corresponde a la terminación de la red, el bloque de terminal móvil se refiere al teléfono móvil y la IUCC hace referencia a la tarjeta SIM; la diferencia en LTE es la utilización de tarjetas SIM más pequeñas conocidas como Micro SIM y Nano SIM; técnicamente hablando se les conoce como tarjeta SIM 3FF (Micro SIM) y tarjeta SIM 4FF (Nano SIM).

El bloque UE se compone de una variedad de diferentes elementos que incluyen circuitos de RF, procesamiento de señales de banda base, antena, batería, entre otros.

Los circuitos de RF manejan todo lo relacionado con las señales de frecuencia, tanto del receptor como del transmisor. Los bloques de procesamiento de la señal de banda base se componen principalmente de circuitos digitales optimizados, con el objetivo de reducir el consumo de potencia en el UE. El UE es identificado por la red por medio del IMEI (*international mobile equipment identity*).

El número de IMEI consiste en 15 dígitos agrupados en 4 bloques agrupados de la siguiente manera:

- TAC
- FAC
- SNR
- SP

El TAC (*type approval code*), es un código la cual consiste en 6 dígitos, este código es asignado por la red GSM.

EL FAC (*final assembly code*) permite a la red identificar al fabricante del teléfono móvil.

El SNR (*serial number*) permite a la red identificar al teléfono móvil. El SNR consta de 6 dígitos.

El SP (*supplementary number*) consta únicamente de un dígito, el cual es utilizado como una reserva, en caso de duplicidad.

Por medio de la tarjeta SIM el usuario obtiene acceso a todos los servicios que la red local ofrece. Esto se logra mediante la asignación de 2 identificadores, los cuales son:

- IMSI (international mobile subscriber identity). El número IMSI es único para cada tarjeta SIM y la identifica dentro de red.
- MSISDN (mobile subscriber ISDN number), este es el número telefónico, utilizado al llamar a un usuario y el que utiliza la red para enrutar las llamadas.

El código IMSI contiene códigos que permiten identificar el país donde se encuentra el teléfono, la red local y la estación móvil. El orden de los códigos es el siguiente:

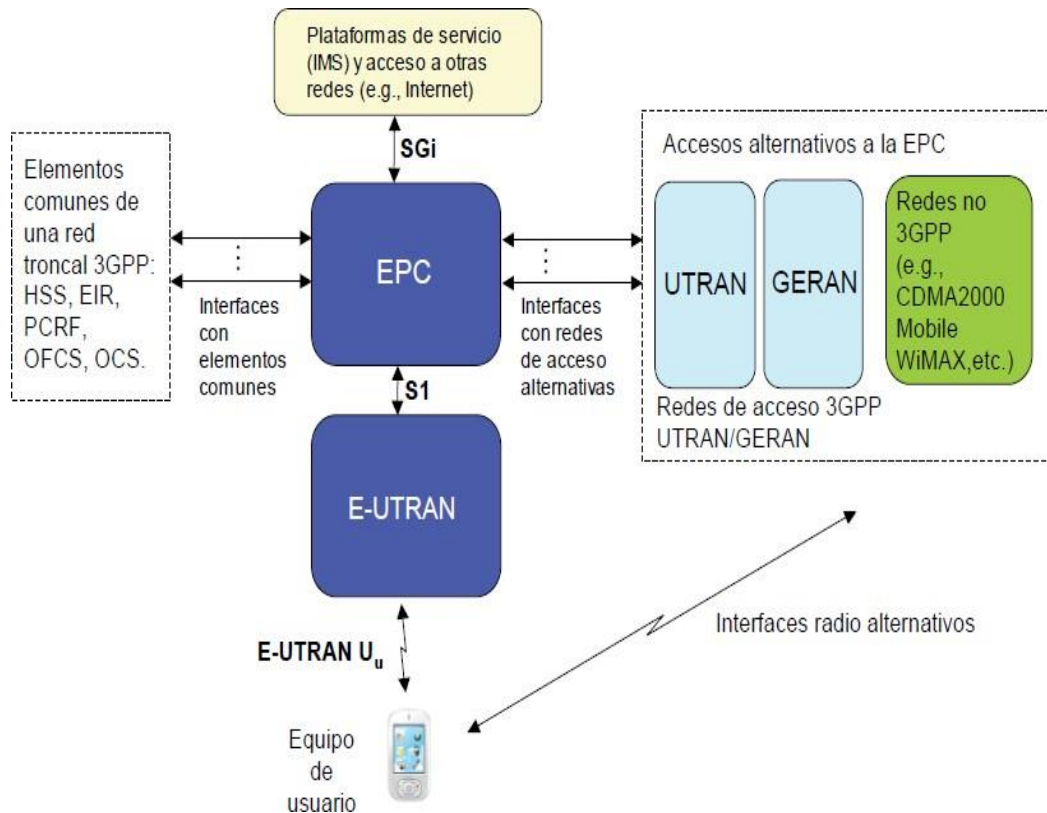
- *Mobile country code*, MCC, es un código de 2 o 3 dígitos que se utiliza para identificar al país de servicio.
- *Mobile network code*, MNC, es un código de 2 dígitos que permite identificar a la red de telefonía local.
- *Mobile station identification number*, es un código de 13 dígitos el cual se utiliza como identificador de la estación móvil (teléfono móvil).

### **1.3.2. Bloque E-UTRAN**

En cuanto al bloque E-UTRAN, la red de acceso está constituida fundamentalmente por el elemento denominado evolved NodeB (eNB), el cual forma la estación base de E-UTRAN. En la figura 5 se observa una red de acceso

E-UTRAN y sus respectivos eNBs que proporcionan la conectividad entre el bloque UE y el bloque EPC.

Figura 5. **Arquitectura bloque E-UTRAN**



Fuente: 3GPP. <http://www.3gppworldwide.com/LTE/Release8/Arque%4-EUTRAN.jpg>.

Consulta: 20 de febrero de 2018.

Un eNB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante las siguientes 3 interfaces:

- E-UTRAN U<sub>u</sub>
- S1
- X2



La interfaz E-UTRAN Uu, conocida también como LTE Uu o solo como radio LTE, es la que permite la transferencia de información por el canal de radio entre el eNB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar las operaciones de la interfaz E-UTRAN Uu se implementan en el eNB. El eNB se conecta con la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está compuesta en dos interfaces: S1-MME para soportar 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 (S1-U) se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz. En tanto, el plano de control (S1-MME) se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz. Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNB con dos nodos diferentes de la red troncal.

La división en la interfaz S1 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. Por otro lado, los eNBs pueden comunicarse entre ellos por medio de la interfaz X2. En esta interfaz existe intercambio de mensajes de señalización, los cuales permiten una gestión más eficiente del uso de los recursos de radio, así como del tráfico de los usuarios del sistema cuando estos pasan de un eNB a otro durante el proceso de Handover.

### **1.3.2.1. Interfaces bloque E-UTRAN**

En este capítulo se analizará a detalle las diferentes interfaces físicas que conforman al bloque E-UTRAN.

#### **1.3.2.1.1. Interfaz de radio**

La interfaz de radio del bloque E-UTRAN soporta tres tipos de mecanismos diferentes de transferencia de la información en el canal de radio:

- Broadcast de señalización de control.
- Envío de paquetes IP.
- Transferencia de señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNB.

El mecanismo broadcast de señalización de control permite, mediante la información enviada a los UE, detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación como la potencia máxima que pueden utilizar los equipos de usuario en la celda, así como la identidad de los operadores de red a los que puede solicitar un attach a través del eNB. Este mecanismo también sirve para forzar a que un equipo de usuario que no tenga una conexión de control establecida con el eNB, inicie un acceso a la red.

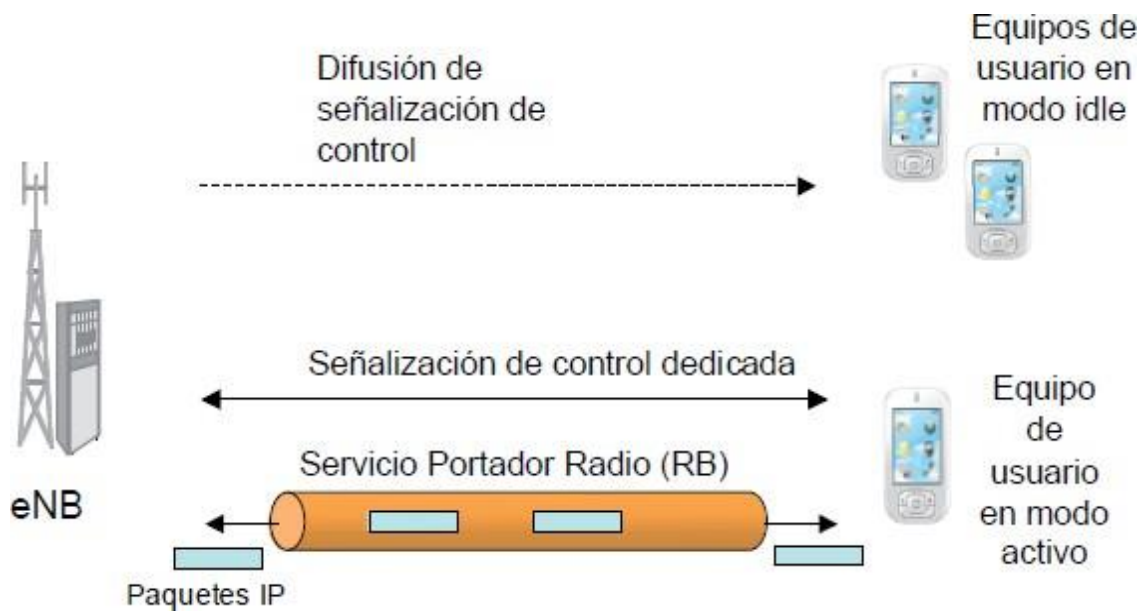
Utilizando el mecanismo de envío de paquetes IP, los servicios de transferencia entre un eNB y un equipo de usuario se conocen como servicios portadores radio (RB). Los servicios portadores de radio de E-UTRAN solo admiten tráfico IP y no permiten la transferencia de ningún otro tipo de protocolo.

Por eso, para la mejora del envío de tráfico IP a través de la interfaz de radio, los servicios portadores albergan funciones como la compresión de cabeceras de los paquetes IP, lo cual permite reducir el número de bytes enviados por la interfaz radio. Un ejemplo son las cabeceras de los paquetes IP pertenecientes a un mismo tipo de tráfico, las cuales contienen un gran número de parámetros idénticos, direcciones origen y destino, por lo que no resulta necesario enviar todos los bytes de la cabecera IP en cada uno de los paquetes.

En el mecanismo de transferencia de señalización de control dedicada entre el eNB y un equipo de usuario. El establecimiento de una conexión de control dedicada es necesario para gestionar el uso de los servicios portadores radio así como para realizar cualquier gestión de señalización con la red troncal tal como el registro del terminal en la red.

La conexión de control se soporta mediante el protocolo radio resource control o control de recursos de radio (RRC). A través del protocolo RRC se gestiona la modificación y liberación de los servicios portadores radio entre el eNB y el equipo de usuario, otros mecanismos claves para la gestión eficiente de los recursos de radio. Ejemplo de esto es el control y envío de medidas de radio desde los terminales hacía el eNB y el mecanismo de handover, el cual permite que un equipo de usuario cambie de celda conservando activos tanto la conexión de control como los posibles servicios portadores radio que esté utilizando. En la figura 6 se observa la diferencia entre los 3 diferentes mecanismos.

Figura 6. **Mecanismos de transferencia de información**



Fuente: 3GPP. <http://www.3gppworldwide.com/LTE/Release8/TransferInfomatio4.jpg>.

Consulta: 20 de febrero de 2018.

La información que es transferida por medio de la interfaz de radio puede resguardarse utilizando funciones de cifrado que proveen confidencialidad e integridad. La seguridad que permite que la información que se envía se codifique de forma que ningún otro equipo que decodifique la señal transmitida por el canal de radio sea capaz de reconocerla. El servicio de integridad evita que la información radiada pueda ser modificada de forma malintencionada en el trayecto entre eNB y el equipo de usuario en el caso de se encontrara en medio de la transmisión un equipo de radio. Dichas funciones de cifrado se aplican al tráfico de usuario (paquetes IP) y a los mensajes de señalización RRC utilizados en la conexión de control dedicada.

### **1.3.2.1.2. Interfaz X2**

La interfaz X2 se emplea fundamentalmente para interconectar los eNB, el plano de usuario de la interfaz X2 proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNBs, con la deficiencia que no ofrece garantías de entrega y sin soporte de mecanismos de control de errores y de control de flujo. La transferencia de datos de usuario entre eNBs se ejecuta solo durante los procedimientos de handover en los que los paquetes de usuario guardados en el eNB anterior se trasladan al eNB nuevo. De esta manera, el cambio de eNB asociado al handover, reduce posibles pérdidas de paquetes durante el proceso. Refiriéndose al plano de control, entre las funciones y procedimientos soportados en la interfaz X2 sobresalen las siguientes:

- Soporte del mecanismo de handover entre eNBs.
- Aviso del estado de carga del eNB.

El soporte del mecanismo de handover entre eNBs realiza, a través del plano de control el envío de la conexión de un usuario del eNB antiguo al nuevo y controla el mecanismo de transferencia de paquetes IP en el plano de usuario de X2. El contexto de usuario contiene información relativa a los servicios portadores radio que se tienen establecidos, claves de seguridad, así como los datos sobre las capacidades del terminal.

A través de la interfaz aviso del estado de carga del eNB, los eNBs que tengan celdas próximas pueden enviar información para llevar a cabo funciones de gestión de recursos de radio como la coordinación de interferencias entre celdas que operen en el mismo canal.

### **1.3.2.1.3. Interfaz S1**

La interfaz S1 brinda un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNB y S-GW. Este servicio se denomina servicio portador S1. El plano de control conocido como S1-MME o también S1-C, es utilizado para soportar un conjunto de funciones y procedimientos de control entre eNBs y la entidad MME de la red troncal. Específicamente, entre los procedimientos soportados en la interfaz S1 se encuentran métodos para establecimiento, modificación y liberación de recursos de los servicios portadores tanto en la interfaz de radio (servicio portador radio o RB) como en la interfaz S1 (S1 bearer).

La concatenación de un servicio portador radio y un servicio portador S1 conforma el servicio portador completo que ofrece la red de acceso E- UTRAN. Es importante tener en cuenta que en LTE, el establecimiento de estos servicios portadores que constituyen el plano de usuario para la transferencia del tráfico IP se controla desde la red troncal, en particular desde la entidad de red MME. Por tanto, en LTE no se permite que un eNB o un equipo de usuario puedan iniciar por sí mismos el establecimiento de un servicio portador radio.

Cuando la red E-UTRAN decide que un dispositivo debe cambiar de eNB durante una conexión, y no existe una interfaz X2 entre los dos eNBs involucrados, la interfaz S1-MME se utiliza para estructurar el procedimiento de handover. Así, a través de la interfaz S1- MME, la entidad MME puede establecer un nuevo contexto en el eNB destino asociado al terminal que va a realizar el cambio con toda la información relativa a la configuración de los servicios portadores que tiene establecidos el usuario, así como las claves de seguridad. De esta manera, el restablecimiento del servicio a través del nuevo eNB puede hacerse rápidamente ya que se evita el ejecutar de nuevo los mecanismos para

el establecimiento de los servicios portadores en la interfaz de radio, así como los mecanismos de seguridad.

La gestión de la localización de los equipos de usuario en la red es una de las funciones básicas de la entidad MME. Permite conocer con cierta resolución en qué eNB o conjunto de eNBs (áreas de seguimiento) se localiza un usuario que se encuentre en modo inactivo, es decir, que no tenga establecida una conexión de control RRC con ningún eNB. Así, cuando el MME quiere forzar a que un usuario en modo inactivo pase a modo activo, a través de la interfaz S1-MME se ordena la ejecución del mecanismo de aviso en todos los posibles eNBs en los que espera encontrar al terminal.

Procedimiento de envío de forma transparente entre MME y eNB de los mensajes de señalización de control que se transportan entre el MME y el equipo de usuario. Otra función de un eNB es que la interfaz S1 permite que un eNB pueda estar conectado simultáneamente a múltiples equipos de la red troncal. Dicha característica presenta las siguientes ventajas:

- La red es más resistente a fallos de los nodos de la red troncal: el correcto funcionamiento de un eNB no está ligado a un único nodo de la red troncal. Aunque se produzca un malfuncionamiento o parada de un nodo de la red troncal, los eNB siguen ofreciendo servicio mediante otros nodos de la red troncal.
- Un eNB puede proporcionar acceso a nodos de redes troncales de diferentes operadores de red que comparten la red de acceso.

#### **1.3.2.1.4. Nodos eNB**

La interfaz eNB integra las funciones de la red de acceso; siendo este elemento es donde terminan todos los protocolos específicos de la interfaz de radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia y desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio. El eNB mantiene un contexto de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En este contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del equipo de usuario, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, entre otros.).

La función principal de un eNB consiste en la gestión de los recursos de radio. Así, el eNB alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores de radio y control de movilidad, por ejemplo: decisión de realizar un handover, asignación dinámica de los recursos de radio tanto en el enlace ascendente como descendente, control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de medidas desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos.

El eNB tiene otra función importante, la cual es la selección dinámica de la entidad MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE. Esta función otorga un grado de flexibilidad muy importante en la operativa de la red. En E-UTRAN, un eNB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs de la red troncal. Por lo tanto, a través de la selección de qué entidad MME va a controlar el acceso de cada usuario, es posible balancear la carga de señalización entre diferentes MMEs así como aumentar la robustez del sistema frente a puntos de fallo críticos. El eNB puede enviar y recibir paquetes IP de los



usuarios a los que sirve a través de diferentes puertas de acceso S-GW de la red troncal EPC.

### **1.3.2.2. Protocolos bloque E-UTRAN**

Los protocolos que se utilizan en las tres interfaces de E-UTRAN se encuentran alineados por sus diferencias 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 correspondiente a los servicios a los que acceden los terminales a través de la red. El plano de control hace referencia a los protocolos necesarios para soportar las funciones y los procedimientos en las diferentes interfaces. Se detallan los protocolos utilizados en las diferentes interfaces.

#### **1.3.2.2.1. Protocolos, capas y subcapas de la interfaz de radio**

La transmisión de paquetes IP entre el eNB y un equipo de usuario a través de la interfaz de radio se sustenta en protocolos que conforman una capa de enlace y una capa física. Dicha capa física se divide en las siguientes 3 subcapas:

- Radio Link Control (RLC)
- Medium Access Control (MAC)
- Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

Dichas subcapas definen el formato de los paquetes de datos (cabeceras y colas) que se intercambian entre entidades remotas. En la subcapa RLC se pueden enviar de forma confiable los paquetes PDCP entre el eNB y el equipo de usuario. Para ello, la subcapa RLC soporta funciones de corrección de errores, concatenación, segmentación y re ensamblado, entrega ordenada de paquetes

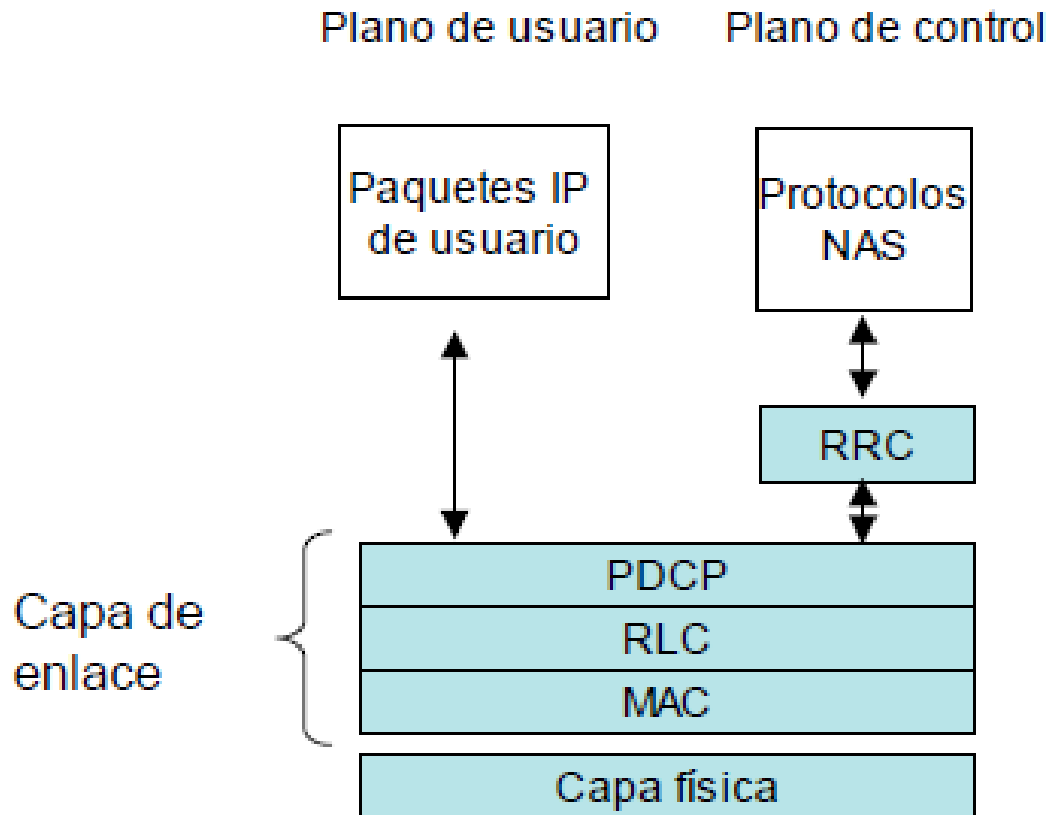
PDCP a capas superiores, detección de duplicados, detección y recuperación de errores en el protocolo. Cada servicio portador radio tiene una entidad RLC asociada.

La subcapa MAC es la encargada de controlar el acceso al canal de radio. Para ello, la subcapa MAC soporta funciones de calendarización dinámica entre equipos de usuario atendiendo a prioridades, realiza multiplexaje a los paquetes RLC de diferentes servicios portadores radio en los canales de transporte ofrecidos por la capa física (el canal de transporte se puede compartir por varios servicios portadores de uno o varios equipos de usuario) y realiza un control de errores. A los servicios de transferencia que la capa MAC ofrece a la capa RLC se les asigna el nombre de canales lógicos.

La subcapa PDCP forma parte de la capa superior del conjunto de protocolos y es la encargada de proveer el punto de acceso al servicio portador radio, es decir que esta subcapa se encarga de la transferencia de los paquetes IP del tráfico de usuario. Las funciones principales de esta capa son la compresión de cabeceras de los paquetes IP y el cifrado de la información para garantizar su confidencialidad e integridad. La cabecera añadida por la capa PDCP tiene un número de secuencia que distingue al paquete IP enviado y permite hacer una entrega ordenada de los paquetes IP en el extremo receptor, también detecta probables duplicados de los paquetes IP.

Cada servicio portador radio tiene una entidad PDCP asociada. Adicional, se puede mencionar que la capa física es la encargada de realizar la transmisión propiamente dicha a través del canal radio. Realiza funciones de codificación de canal y modulación. En el enlace ascendente, la capa física se basa en un esquema *single carrier* FDMA. En la figura 7 se observa la interacción entre las diferentes capas y subcapas.

Figura 7. Capas Interfaz de radio



Fuente: 3GPP. <http://www.3gppworldwide.com/LTE/Release8/LayersEst.jpg>.

Consulta: 21 de febrero de 2018.

El protocolo RRC (radio resource control) establece una conexión de control entre el eNB y un equipo de usuario a través de la cual se realizan funciones relacionadas con la gestión de la operativa de la interfaz de radio. Entre esas funciones de la subcapa RRC resaltan los mecanismos de gestión de los servicios portadores de radio (como son la señalización para el establecimiento, liberación, modificación de los portadores radio), el soporte de funciones de movilidad (señalización de handover), la difusión (broadcast) de parámetros de sistema y funciones de aviso de las terminales que no disponen de una conexión RRC establecida (como envío de avisos a través del canal de paging).

Al servicio de transferencia que es brindado por la capa PDCP para el envío de los mensajes de señalización del protocolo RRC se le conocen como servicio portador de señalización. Los protocolos NAS extienden entre la entidad de red MME en la red troncal y el equipo de usuario. Los mensajes de estos protocolos se transportan de forma transparente en la interfaz de radio encapsulados dentro de la parte de datos de los mensajes RRC. La autenticación, autorización, gestión de movilidad de los terminales que no tienen una conexión RRC creada, y la gestión de los servicios portadores de la red EPS son las funciones importantes de los protocolos NAS.

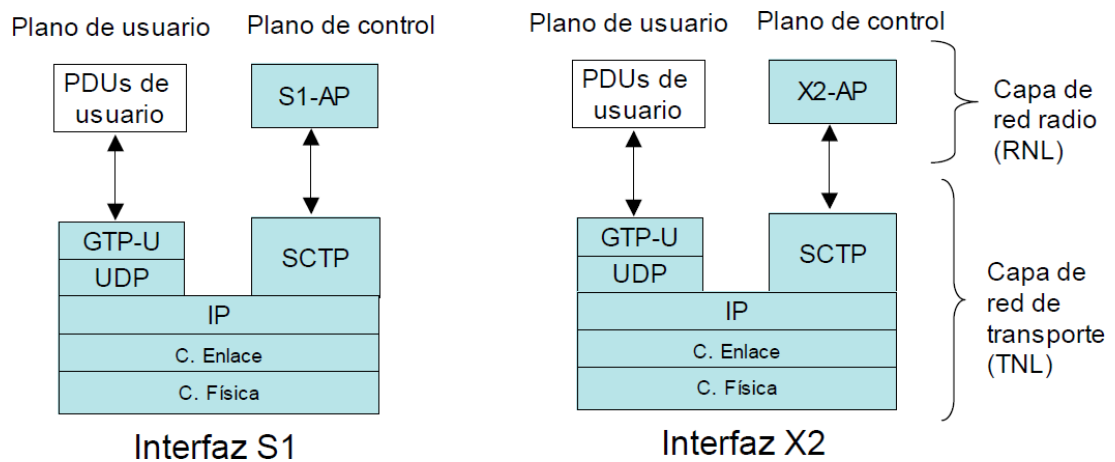
#### **1.3.2.2.2. Protocolos, capas y subcapas de las interfaces S1 y X2**

Los protocolos, capas y subcapas de las interfaces S1 y X2 tienen una separación entre la capa de red de radio y la capa de red de transporte, esta división tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema de comunicaciones móviles de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada. De esta forma, los protocolos específicos de la red de acceso radio constituyen la capa RNL mientras que la capa TNL alberga los protocolos que se utilizan para el transporte de la información de la capa RNL entre las entidades de la red.

El protocolo de encapsulado GTP-U es usado en ambas interfaces, para el para el envío de paquetes IP. Se transporta sobre UDP/IP y multiplexa los paquetes IP de múltiples usuarios. En el plano de control de la interfaz S1, la capa de radio consiste en el protocolo S1-AP, el cual sustenta los procedimientos soportados en la interfaz S1, como son el control del handover, paging, entre otros.

El envío de los mensajes de señalización del protocolo S1-AP entre eNB y MME se lleva a cabo a través del servicio de transferencia del protocolo de transporte SCTP, el cual es un protocolo de transporte concebido para el envío de señalización de redes telefónicas sobre redes IP. También proporciona mayor robustez y versatilidad en la transferencia de diferentes tipos de información. En la figura 8 se muestra la configuración de las interfaces S1 y X2.

Figura 8. **Configuración interfaces S1 y X2**



Fuente: 3GPP. <http://www.3gppworldwide.com/LTE/Release8/S1%20S2.jpg>.

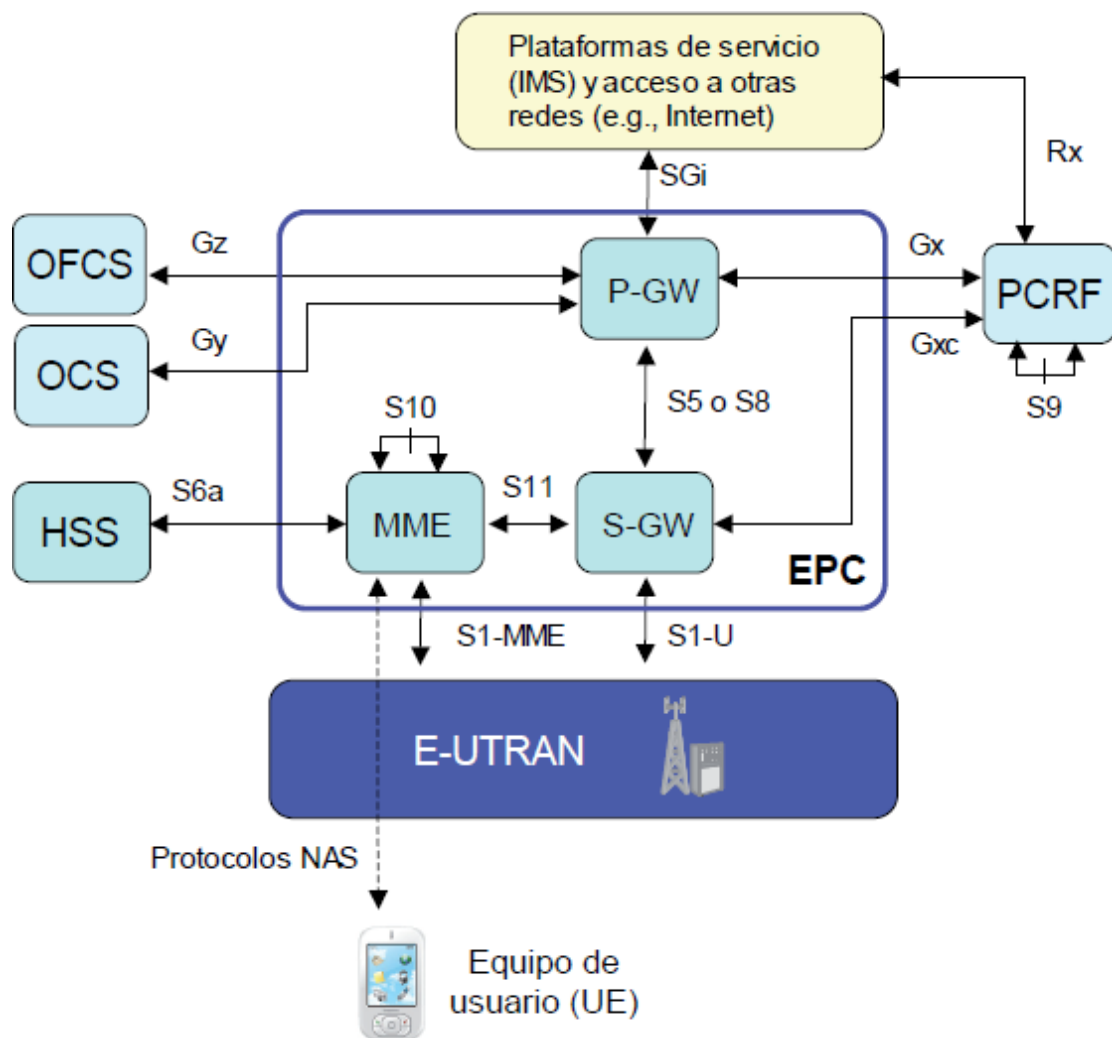
Consulta: 21 de febrero de 2018.

### 1.3.3. Bloque EPC

El bloque EPC es la evolución del CN de HPSA+ y proporciona al usuario conectividad IP a un PDN para acceder a internet, así como para el funcionamiento de servicios tales como voz sobre IP (VoIP). Un portador EPC se asocia típicamente con un QoS. Múltiples portadores se pueden establecer para un usuario con el fin de proporcionar diferentes flujos de QoS o conectividad a diferentes PDN. El bloque EPC se encuentra conformado por el MME (mobility

management entity), P-GW (packet data network – gateway), S-GW (serving – gateway), HSS (home subscriber server), PCRF (policy control and charging rules function), interfaz S6a, interfaz S11, interfaz Gx, interfaz Rx, interfaz SI-U, interfaz S5/S8 y la interfaz SGi. En la figura 9 se muestra la configuración del bloque EPC.

Figura 9. Configuración bloque EPC



Fuente: Technical Telecommunication. <http://www.TelecommunicationSystem.net/LTE/EPC.jpeg>.

Consulta 21 de febrero de 2018.

### **1.3.3.1. Elementos e interfaces bloque EPC**

El bloque EPC básicamente proporciona conectividad IP a través de una arquitectura de red mejorada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN. El núcleo del bloque EPC está formado por tres entidades de red: MME, S-GW y P-GW. Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS, conforman los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

Las funciones relacionadas con el plano de usuario se concentran en las dos pasarelas S-GW y P-GW, en tanto que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control. La conexión entre la red de acceso E-UTRAN y la EPC se lleva a cabo mediante la interfaz S1. En particular, la interfaz S1-MME, que sustenta el plano de control termina en la entidad MME mientras que la interfaz S1-U del plano de usuario termina en el S-GW.

#### **1.3.3.1.1. MME**

MME es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales a través de E-UTRAN. Cualquier terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada. Entre las principales funciones del MME se encuentran las siguientes:

- Gestión de movilidad de los usuarios en modo idle de aquellas terminales que no tienen ninguna conexión de control establecida con E-UTRAN.

- MME se encarga de hacer un seguimiento de la localización de los usuarios dentro del área de servicio de la red para disponer de información con la localización de todos los usuarios que se encuentren registrados en la red LTE.
- Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E- UTRAN, a partir de los datos de usuario obtenidos desde el HSS.
- Gestión de los servicios portadores EPS como lo es la señalización necesaria para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores EPS sobre los cuales se sustenta el envío de paquetes IP entre los equipos de usuario y la red externa.

El MME procesa el flujo de información y tráfico entre el UE y el HSS o entre el UE y el S-GW. Para realizar la comunicación con el SHH y el S-GW, utiliza el protocolo NAS (non access stratum). Las principales funciones soportadas por el MME se pueden clasificar como funciones relacionadas con la administración del portador y funciones relacionadas con la administración de las conexiones.

Las funciones relacionadas con la administración del portador incluyen las funciones de establecimiento, mantenimiento y liberación de los portadores y es manejada por la capa de gestión de sesiones en el protocolo NAS. Las funciones relacionadas con la administración de conexiones incluyen las funciones de establecimiento de la conexión y la seguridad entre la red y el UE, son manejadas por la capa de conexión (o movilidad) del administrador de capas en el protocolo NA. Los procedimientos NAS, especialmente los procedimientos de gestión de conexiones, son fundamentalmente similares a los utilizados en HSPA+.



El principal cambio es que EPS, permite la concatenación de algunos procedimientos para permitir el establecimiento más rápido de la conexión y los portadores. El MME crea un contexto UE cuando un UE se enciende y se conecta a la red. Se asigna una identidad corta temporal denominada S-TMSI (SAE temporary mobile subscriber identity). Este contexto UE mantiene la información de suscripción del usuario descargada desde el HSS.

Para reducir la sobrecarga en el bloque EUTRAN y el procesamiento del UE, toda la información relacionada con el UE en la red de acceso, incluyendo los portadores de radio, puede ser liberado durante largos períodos de inactividad de datos. Este es el estado ECM-IDLE. Las funciones de seguridad de los datos de señalización y los datos de usuario es responsabilidad del MME. Cuando un UE se conecta a la red, una autenticación mutua del UE y la red se lleva a cabo entre el UE y el MME/HSS. Esta función de autenticación establece también las claves de seguridad que posteriormente son utilizadas para la encriptación de todos los portadores que serán utilizados.

#### **1.3.3.1.2. P-GW**

El P-GW se encarga de proveer conectividad entre la red LTE y las redes externas. A través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta visible en la red externa. Por tanto, los paquetes IP generados por el usuario se inyectan en la red externa a través de esta puerta de enlace y, viceversa, todo el tráfico IP dirigido a un terminal LTE proveniente de la red externa va a ser encaminado hasta el P-GW. El P-GW es el responsable de la asignación de la dirección IP al UE, así como la aplicación de QoS y de flujo basado en la carga de acuerdo con las reglas de la PCRF.

P-GW es responsable de la filtración de los paquetes IP del usuario de enlace descendente en los portadores a base de QoS diferentes. Esto se lleva a cabo en base a plantillas de flujo de tráfico. El P-GW lleva a cabo la aplicación de QoS para la tasa de bits garantizada portadores. También, sirve como el ancla de movilidad para el interfuncionamiento con tecnologías no-3GPP, como las redes CDMA2000 y WiMAX.

Cada paquete de datos transmitidos es identificado por medio del nombre de punto de acceso, esto para garantizar que un usuario determinado tenga asignado el plan correcto (un plan consiste en velocidad máxima para el enlace ascendente, velocidad máxima para el enlace descendente, QoS mínimo, así como cantidad de transferencia de datos máxima). Para la asignación del QoS, el P-GW debe mantenerse en constante comunicación con el PCRF. Acorde a lo anterior, se puede decir que el P-GW cumple con las mismas funciones que el GGSN y el SGSN en las redes HSPA+.

#### **1.3.3.1.3. S-GW**

S-GW opera como una puerta de enlace del plano de usuario entre E-UTRAN y el bloque EPC. Parecido a lo que sucede con la entidad MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. La asignación de la puerta de enlace S- GW responde tanto a criterios geográficos, así como de balanceo de cargas. S-GW proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNB. Así, en un proceso de *handover* entre dos eNBs, el cambio del plano de usuario puede únicamente derivar en un cambio del servicio portador S1 entre los eNB implicados y el S-GW, manteniéndose sin cambios el resto del plano de usuario.

S-GW proporciona almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se hallen en modo idle. En la red LTE, el plano de usuario entre S-GW y el equipo de usuario pueden desactivarse cuando no haya tráfico para transmitir. Esto significa que, aunque las conexiones y servicios portadores EPS permanezcan activos, un terminal puede encontrarse en estado inactivo y, por tanto, no estar conectado a ningún eNB.

#### **1.3.3.1.4. HSS**

El HSS es la base de datos principal del sistema 3GPP. En el HSS se almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en ella abarca tanta información relativa a la suscripción del usuario (perfil de suscripción), también información necesaria para la propia operativa de la red.

La base de datos HSS es consultada, y modificada, desde las diferentes entidades de red que se encargan de proveer los servicios de conectividad o servicios finales. El HSS contiene información de suscripción de SAE de los usuarios, como el perfil de QoS asignado por EPS y cualquier restricción de acceso para realizar el servicio roaming. También, contiene información sobre los PDN a los que el usuario puede conectarse. Esto podría ser en forma de un nombre de punto de acceso (APN, access point name) o una dirección PDN (que indica la dirección o direcciones IP suscritas).

#### **1.3.3.1.5. PCRF**

El PCRF es responsable de la toma de decisiones, control de políticas, control de las tarifas y planes basados en la carga de flujo de información, esto lo realiza mediante el apoyo del PCEF.

El PCEF se encuentra ubicado en el P-GW, este elemento proporciona la autorización del tipo de QoS, con esto se decide cómo se tratará un cierto flujo de datos en el PCEF y garantizará que este se ajusta al perfil de suscripción del usuario. El PCRF combina funcionalidades para los nodos PDF y el nodo CRF. El nodo PDF es la entidad de red donde se toman las decisiones sobre las políticas. A medida que se está configurando la sesión IMS, se intercambian datos de señalización SIP, los cuales contienen los requisitos de medios entre el terminal y el P-CSCF.

En algún momento del proceso de establecimiento de la sesión, el PDF recibe los requisitos de la P-CSCF y toma decisiones basadas en reglas de operador de red, tales como permitir o rechazar una petición de media, utilizar un contexto PDP nuevo o existente para una solicitud de media entrante y la comprobación de la asignación de nuevos recursos frente al límite máximo autorizado. La función de los CRF es proporcionar reglas de tasación definidas por el operador aplicable a cada flujo de datos de servicio. El CRF selecciona las reglas de carga relevantes basadas en la información proporcionada por el P-CSCF, como identificador del tipo de aplicación, tipo de flujo de datos (por ejemplo, audio o video) y tasa de datos por aplicación.

#### **1.3.3.1.6. Interfaces**

El bloque ECP está compuesto por las siguientes interfaces:

- Interfaz S11: es la encargada de la conexión entre el MME y el S-GW, se encarga de transferir la información de usuario, así como el tráfico del mismo.

- Interfaz S6A: es la encargada de la conexión entre el MME y el HSS, se encarga de transferir los datos de la información del cliente.
- Interfaz RX: es la encargada de la conexión entre el PCRF y la red de internet, se encarga del control de flujo de datos.
- Interfaz GX: es la encargada de la conexión entre el P-GW y el PCRF, se encarga de transferir la información QoS del cliente y las políticas de control.
- Interfaz S5/S8: es la encargada de la transferencia de datos y tráfico de usuario entre el S-GW y el P-GW.
- Interfaz SI-U: es la encargada de la conexión entre los eNB y el S-GW, se encarga de transferir todo el tráfico de usuario.
- Interfaz SGI: se encuentra ubicada entre el P-GW e internet. Transporta el tráfico de usuario.



## **2. LONG TERM EVOLUTION ADVANCED, LTE-A**

LTE-A es la tecnología candidata del comité 3GPP de radio-acceso a la tecnología para el acceso de radio de las IMT-A; un requisito obvio para LTE-A es la realización plena de todos los requisitos para las IMT-avanzadas se define por la UIT. Otro requisito es que LTE-A es una evolución de LTE. La implicación de esto es que LTE-A tiene que cumplir una serie de requisitos básicos de compatibilidad con versiones anteriores.

### **2.1. Historia y evolución LTE-A**

Uno de los requisitos técnicos de LTE-A, es que debe proporcionar compatibilidad con versiones anteriores en términos de espectro y convivencia, lo que implica que debe ser posible desplegar LTE-A 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-A 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 del espectro electromagnético es de importancia crítica para un bajo costo sin problemas, transición a LTE-A capacidades dentro de la red local.

LTE-A también debe ser en términos de infraestructura, en la práctica lo que implica que debe ser posible para actualizarla infraestructura de equipos ya instalado LTE para soportar los requerimientos de capacidad para LTE-A con un costo razonable. También, este es un requisito previo fundamental para una

transición suave y de bajo costo para una red LTE-A. LTE-A debe ser compatible en términos de la implementación del terminal, lo que implica que debe ser posible introducir LTE-A 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-A para la existencia de una rápida capacidad en la compatibilidad de los terminales. Se trata de un entendimiento común dentro de 3GPP LTE-A que no debe ser limitada al cumplimiento de los requisitos de la UIT sobre las IMT-avanzadas. Más bien, LTE-A debe ir más allá de los requisitos de IMT-avanzadas y por lo tanto los objetivos de LTE-A son mucho más ambiciosos, entre los cuales se incluyen:

- Apoyo a los picos de datos de hasta 1 Gbps en el enlace de bajada y 500 Mbps en el de enlace de subida.
- 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-A.
- Soporte para el uso de técnicas de acceso múltiple.
- Soporte para utilización de múltiples antenas.
- Soporte para la tecnología RN (*relay node*).
- La eficiencia de alta potencia, es decir, bajo consumo de energía de ambas terminales e infraestructura.



- Soporte para las técnicas OFDMA y SC-FDMA.
- Soporte para la técnica CoMP (*coordinated multi point operation*).
- Utilización eficiente del espectro, incluida la utilización eficiente de la fragmentación espectro.
- Posibilidad de despliegue de infraestructura de bajo costo y terminales.
- Aumentar la capacidad mediante el soporte para la tecnología CA (*carrier aggregation*).
- Escalabilidad en cuanto al uso del ancho de banda.
- Flexibilidad en la utilización del espectro.
- Configuración automática de la red.
- Autonomía de red.
- Una mayor eficiencia espectral, de un máximo de 16 bps/Hz en el release 8 a 30 bps/Hz en release 10 - aumento del número de abonados activos en simultáneo.
- Mejora del rendimiento en los bordes de la celda, por ejemplo, para DL MIMO 2x2, al menos, 2,40 bps/Hz/celda.
- Las principales nuevas funcionalidades introducidas en LTE-advanced son carrier aggregation CA, el aumento de la utilización de técnicas.

Los requisitos de acceso radio establecidos por la ITU-R para IMT-advanced se muestran en la siguiente tabla I.

Para satisfacer los requerimientos establecidos por ITU-R, el comité encargado de la creación de LTE-A realizó las propuestas que se muestran en la tabla II.

Tabla I. **Requerimientos de acceso de radio ITU-R**

<b>Parámetros</b>	<b>Bajada</b>	<b>Subida</b>
Ancho de banda	40 MHz	
Eficiencia espectral pico (bps/Hz)	15	6,75
Eficiencia espectral promedio (bps/Hz/celda)	3 (hotspot en el interior)	2,25 (hotspot en el interior)
	2,6 (microurbano)	1,8(microurbano)
	2,2 (macrourbano)	1,4 (macrourbano)
	1,1 (macrorural)	0,7 (macrorural)
Eficiencia espectral por usuario en el borde de la celda (bps/HZ)	0,1 (hotspot en el interior)	0,07 (hotspot en el interior)
	0,075 (microurbano)	0,05 (microurbano)
	0,06 (macrourbano)	0,03 /macrourbano)
	0,04 (macrorural)	0,015 (macrorural)
Capacidad de VoIP (usuario/celda/MHz)	50 (hotspot en el interior) / 40 (microurbano y macrourbano) / 30 (macrorural)	
Latencia en el plano de usuario (ms)	10	
Latencia en el plano de control (ms)	100	

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Respuesta de LTE-A ante los requerimientos de acceso de radio ITU-R**

<b>Parámetros</b>	<b>Bajada</b>	<b>Subida</b>
Ancho de banda	Máximo de 100 MHz	
Eficiencia espectral pico (bps/Hz)	1000	500
Eficiencia espectral promedio (bps/Hz/celda)	2,6	2
Eficiencia espectral por usuario en la borde de la celda	0,9	0,7
Capacidad de VoIP (usuario/celda/MHz)	Superior a las especificadas por LTE R8	
Latencia en el plano de usuario (ms)	10	
Latencia en el plano de control (ms)	50 (para activación partiendo de un estado iddle) y 100 (para activación partiendo de un estado inactivo)	

Fuente: elaboración propia.

Los objetivos propuestos por el comité creador de LTE-A están enfocados en mantener compatibilidad con versiones previas a esta. Esto permite a los operadores de red continuar sirviendo a sus clientes LTE mientras su equipo de red es actualizado progresivamente.

Estos objetivos fueron establecidos independientemente de los requerimientos propuestos por el IMT-Advanced, y por tal motivo varios de ellos han superado los límites establecidos, la eficiencia espectral y la latencia en el plano de usuario y de control. La propuesta del 3GPP de LTE-Advanced para la ITU-R a más de los detalles correspondientes a las características de la tecnología, análisis de balance de potencia e información acerca de servicios soportados, espectro y rendimiento técnico, incluye los detalles de la tecnología

de interfaz radio para componentes TDD y FDD. La evaluación de LTE-A fue llevada a cabo por 18 compañías del 3GPP, mostrando que LTE-A satisface los parámetros establecidos por el IMT-Advanced. Como resultado de aquello LTE-Advanced fue aceptado por la ITU como tecnología IMT-Advanced en octubre del 2010.

## **2.2. Requerimientos técnicos para la implementación de LTE-A**

El comité encargado de la creación de LTE ante el comité 3GPP es quien publica todos los documentos relacionados con el desarrollo de LTE-A. Estos documentos son libres y de acceso público. Cabe recalcar que estos documentos son actualizados constantemente dependiendo del progreso que tenga el desarrollo de la tecnología. Dentro de los documentos LTE-A se tienen los siguientes:

- RP-0599: en este documento se especifican todos los requerimientos de LTE-A.
- TR 36.913 v9.0.0 (2009-12): en este documento se especifican todos los requisitos basados en los requerimientos de la ITU para sistemas 4G.
- Study Phase Technical Report TR 36.912 v9.3.0 (2010-06): este documento es un resumen del trabajo desarrollado en la etapa 1.
- Physical Layer Aspects TR 36.814 v9.0.0 (2010-03): este documento es un resumen de la etapa 2 para el desarrollo de la capa física.

- Study phase Technical Report on E-UTRA UE Radio Transmission and Reception TR 36.807: este documento es un estudio de la transmisión de múltiples antenas.

### **2.2.1. Bandas de frecuencia LTE-A**

LTE-A para mejorar la eficiencia del espectro electromagnético en comparación con LTE, implemento las siguientes dos soluciones:

- Utilización de una mayor proporción del espectro electromagnético, esto mediante la utilización de nuevas bandas de operación.
- Implementación de algoritmos de limpieza y eficiencia del espectro.

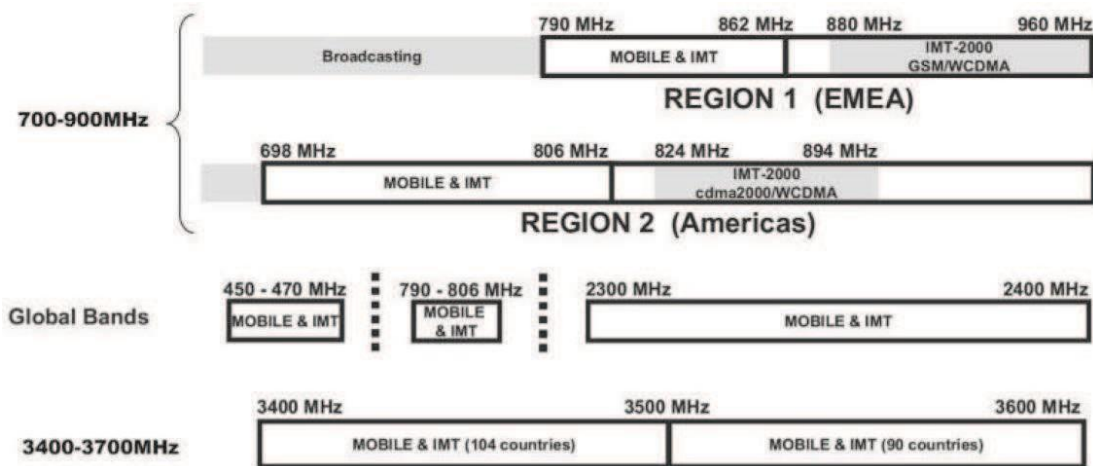
La ITU tomó esto en consideración y, por lo tanto, en la WRC 2007 se establecieron nuevas bandas de frecuencia destinadas para servicios móviles, las cuales fueron añadidas en el R8 LTE-A. En la figura 10 se observa la configuración del espectro electromagnético con las nuevas bandas de operación añadidas. Entre las nuevas bandas de operación se tienen las siguientes:

- 450 – 470 MHz.
- 796 – 86 MHz.
- 2 300 – 2 400 MHz.
- 790 – 862 MHz para ITU región 1. Se utiliza en Europa, Medio Oriente y Africa.
- 790 – 862 MHz para ITU región 3. Se utiliza en Asia y en la región del Pacífico.
- 698 – 806 MHz para ITU región 2. Se utiliza en América del Sur y América del Norte.

- 698 – 806 MHz region 3. Se utiliza en Japón, China e India.
- 3 400 – 3 600 MHz para ITU región 1. Se utiliza en 82 países de Europa.
- 3 400 – 3 600 MHz para ITU región 2. Todos los países de América a excepción de Estados Unidos y Canadá.
- 3 400 – 3 600 MHz para 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 IMT- Advanced.

Figura 10. **Configuración espectro electromagnético LTE-A**



Fuente: 3GPP. <http://www.3gppworldwide.com/LTE-A/Espech74.jpg>.

Consulta: 21 de febrero de 2018.

LTE-A está diseñado para operar en asignaciones de espectro de diferentes tamaños, incluyendo asignaciones de más de 20 MHz; mientras que LTE R8 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 bandas diferentes para

conseguir el ancho de banda requerido. Esta última opción es la permitida de acuerdo a las especificaciones del IMT-Advanced.

### **2.3. Arquitectura básica de una red LTE-A**

Debido a que uno de los requerimientos fundamentales para la creación de LTE-A era la compatibilidad con la red LTE existente, a nivel de arquitectura y de elementos de capa física, los elementos siguen siendo los mismos, con excepción de algunos cambios en la red acceso.

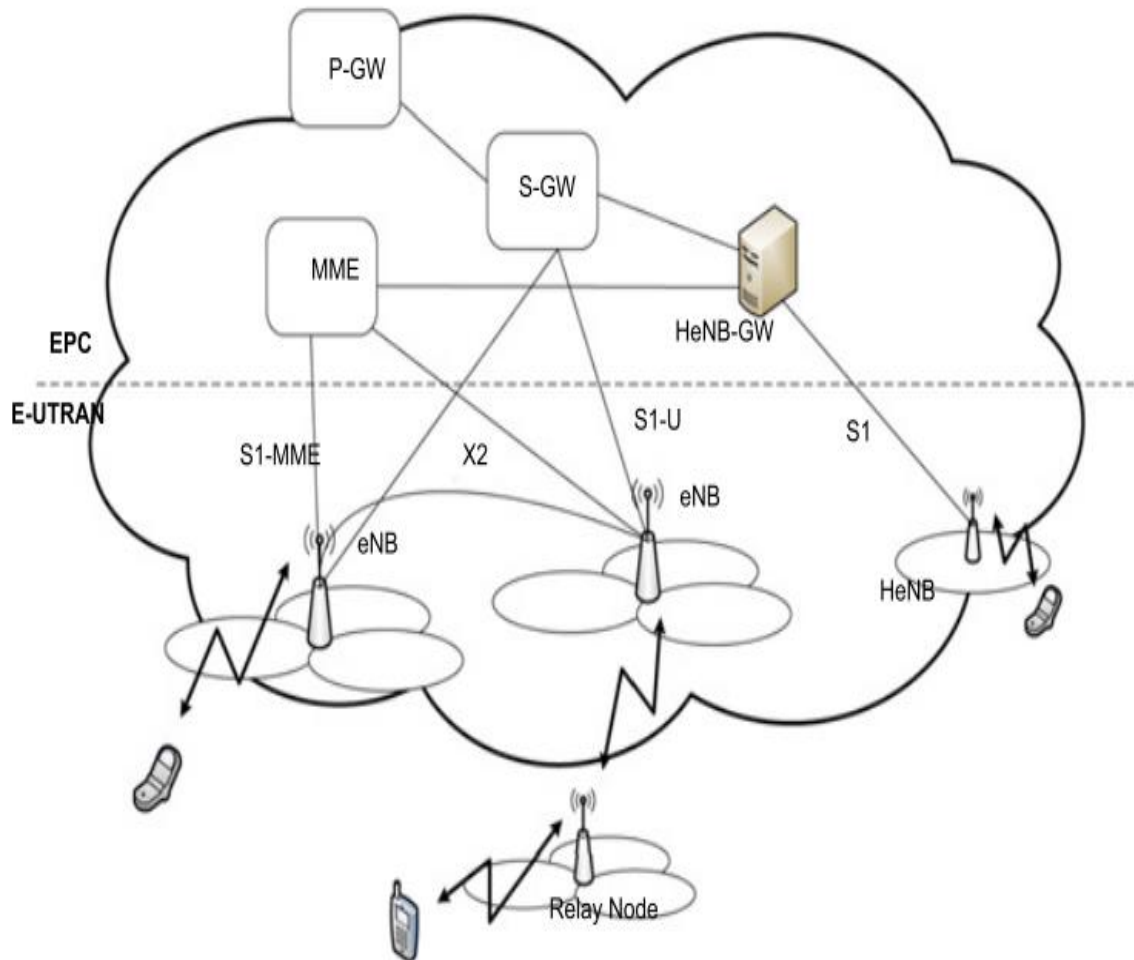
En la red de acceso, LTE-A presenta una nueva arquitectura basada en la utilización de elementos denominados relay nodes. Estos elementos permiten la posibilidad de planificar una red heterogénea eficiente, mediante la combinación de celdas grandes y pequeñas.

La arquitectura básica de una red LTE-A, está compuesta por los siguientes bloques:

- E-UTRAN
- EPC
- Servicios IMS
- UE

Las entidades de red y las interfaces que unen los distintos elementos en las diferentes redes de acceso, de core y externas son las mismas que las utilizadas en LTE. En la figura 11 se observa la configuración de una red LTE-A básica.

Figura 11. **Arquitectura de red LTE-A básica**



Fuente: BWN Gatech. <http://bwn.ece.gatech.edu/surveys/ltea.pdf>.

Consulta: 21 de febrero de 2018.

### 2.3.1. **Bloque E-UTRAN**

En E-UTRAN el elemento principal es el eNB, este se comunica con otros eNBs a través de la interfaz X2 y con la EPC por la interfaz S1-U del plano de usuario y la interfaz S1-MME del plano de control.



La EPC la integran tres entidades de red: MME, S-GW y P-GW. La interfaz de comunicación entre la entidad MME y la entidad S-GW es la interfaz S11, entre la entidad S-GW y la entidad P- GW es la interfaz S5/S8 y entre MMEs es la interfaz S10. Finalmente, la interfaz que se utiliza para interconectar la EPC con la plataforma de servicios externos es la interfaz SGi.

Los protocolos utilizados en la red de acceso para el plano de control son NAS, RRC, PDCP, RLC, MAC y de capa 1; mientras que para la red de core los protocolos son S1 AP, X2 AP, SCTP, IP, GTP-C, UDP, de capa 2 y de capa 1. Con respecto al plano de usuario, los protocolos que se usan para la red de acceso son PDCP, RLC, MAC, y de capa física, y para la red de core los protocolos son GTP-U, UDP, IP, de capa 2 y de capa 1.

En LTE-A para el canal de bajada se utilizan los siguientes canales lógicos y físicos:

- PPCH (canal lógico)
- MTCH (canal lógico)
- MCCH (canal lógico)
- BCCH (canal lógico)
- DTCH (canal lógico)
- DCCH (canal lógico)
- PMCH (canal físico)
- PBCH (canal físico)
- PDSCH (canal físico)
- PCFICH (canal físico)
- PDCCH (canal físico)
- PHICH (canal físico)

Mientras que para el canal de subida se utilizan los siguientes canales lógicos y físicos:

- DTCH (canal lógico)
- DCCH (canal lógico)
- CCCH (canal lógico)
- PUCCH (canal físico)
- PUSCH (canal físico)
- PRACH (canal físico)

En LTE-A se implementa el uso de canales lógicos de transportes. Para ambos canales se utilizan los siguientes:

- PCH (canal de bajada)
- MCH (canal de bajada)
- BCH (canal de bajada)
- DL-SCH (canal de bajada)
- UL-SCH (canal de subida)
- RACH (canal de subida)

Analizando lo anterior, se resuelve que, a nivel de EUTRAN, la arquitectura LTE-A es básicamente una arquitectura LTE normal con la inclusión de los nodos Relay, los HeNB, los HNB, nuevas interfaces e interfaces X2 y S1 modificadas.

### **2.3.1.1. HeNB**

HeNB o home evolved node B, es el sucesor de los eNB dentro de la arquitectura de red LTE-A. Los HeNB tienen la característica que su rango de funcionamiento o de captura es menor que el de un eNB en LTE.

Como se estudió anteriormente, uno de los requerimientos fundamentales de LTE-A son las altas velocidades de carga y descarga; es decir, si un usuario tiene una conexión pobre, no podrá cumplir con dichos requerimientos. La solución a esto, fue la implementación de los HeNB, los cuales tienen una zona de cobertura menor pero altamente eficiente y optimizada; con esto se garantiza que un usuario nunca estará demasiado distante de la celda que le presta cobertura. Los HeNB son instalados en interiores de edificios, sótanos, estadios, lugares de alta demanda de tráfico y puntos de acceso masivos. Dentro de una red de acceso que utiliza HeNB, existen dos nuevos elementos de red:

- SeGW, el cual funciona como un Gateway para HeNB. Su objetivo fundamental es el establecimiento de túneles seguros IP, los cuales utilizan señalización de tipo KEv2 para la transferencia de información. Los túneles IPsec son responsables de entregar todos los servicios de voz, mensajería y datos de paquetes entre HeNB y la red principal. El SeGW envía el tráfico a HeNB-GW .
- HeNB-GW, incorporado en el bloque ECP.

El HeNB-GW puede ser situado dentro de la arquitectura LTE-A, de tres maneras diferente. La primera es cuando se encuentra instado dentro de la red en conjunto con las interfaces S1-MME y S1-U; en este tipo de configuración la interfaz S1-MME conecta al HeNB-GW con el MME y la interfaz S1-U conecta al HeNB-GW con el S-GW. La segunda es cuando el HeNB-GW se encuentra instado dentro de la red en conjunto únicamente con la interfaz S1-MME; en este tipo de configuración la interfaz S1-MME conecta al HeNB-GW con el MME y la interfaz S1-U conecta al HeNB directamente con el S-GW. La tercera posible configuración es cuando el HeNB-GW no se encuentra instado dentro de la red; en esta configuración los HeNB se conectan directamente al MME y S-GW.

En LTE-A existen tres tipos de acceso para un HeNB:

- Acceso cerrado
- Acceso híbrido
- Acceso abierto

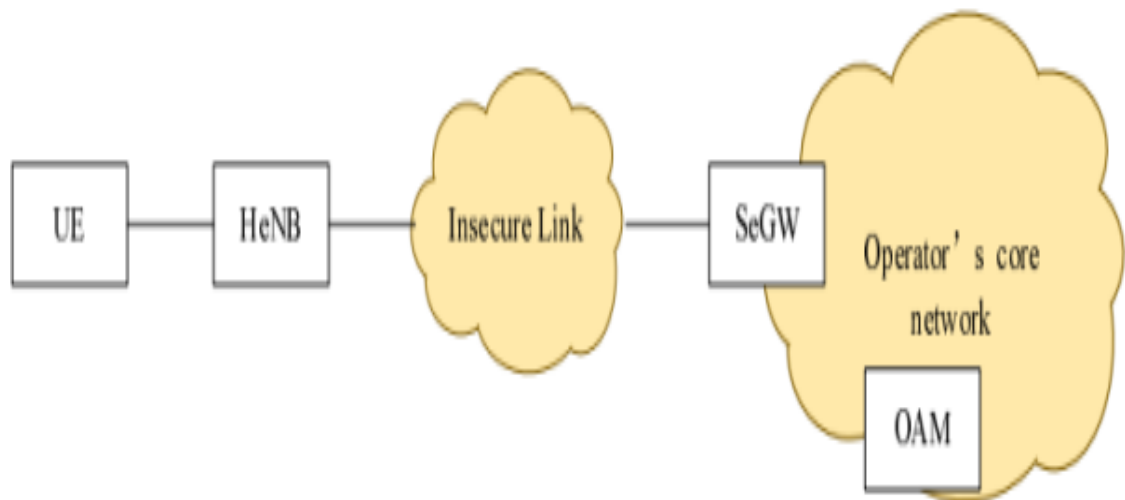
Un HeNB se conecta al EPC utilizando internet con una red de retorno (BackHaul) de banda ancha. El BackHaul entre el HeNB y el Security GateWay puede ser inseguro. El SGW solicita al EPC que realice una autenticación mutua entre este y el HeNB utilizando IKEv2 con EAP-AKA o esquemas basados en certificados. Un HeNB necesita ser configurado y autorizado por OAM. Cuando un UE intenta el acceso a la red vía HeNB, el MME primero revisará si el UE está dentro de los aparatos permitidos dentro del HeNB apuntado, basado en una lista llamada closed subscriber group (CSG). Luego de esto, una autenticación de acceso seguro entre el UE y el MME se realizará mediante AKA. En la figura 12 se muestra la configuración de un HeNB.

La mayoría de las vulnerabilidades en temas de seguridad, surgen del link inseguro que ofrece una red Wireless entre un UE y el HeNB y la red de BackHaul que conecta al HeNB y el EPC. Para establecer una conexión más segura falta de autenticación mutua entre el UE y el HeNB. El mecanismo de seguridad de un HeNB no puede prevenir varios ataques de protocolo, como los MitM, ya que no tiene autenticaciones mutuas entre el UE y la HeNB. Además, el HeNB no es suficientemente una fuente confiable si la red central y el OAM lo autentican de forma independiente, debido a que la honestidad entre ellos no es válida en una red basada en protocolos IP.

Las conexiones también son altamente vulnerables a ataque DoS, debido a las características de pequeño tamaño a bajo costo, es una excelente alternativa

para los operadores móviles que podrían generar un gran despliegue de los HeNB que cubriría la incesante necesidad de velocidad además de evitar lo que podría ser un costoso Upgrade del BackBone. Sin embargo, debido a la exposición de los puntos de entrada de la red a la internet pública, es vulnerable a varios ataques basados en Internet, en especial, los ataques de denegación de servicio (DoS).

Figura 12. **Configuración HeNB**



Fuente: BWN Gatech. <http://bwn.ece.gatech.edu/surveys/ltea-HeBN.jpeg>.

Consulta: 21 de febrero de 2018.

### 2.3.1.2. **Relay Nodes**

Mediante la implementación de los elementos RN, la arquitectura de red se convierte en una arquitectura heterogénea, es decir, una mezcla de celdas grandes y pequeñas, esto aumenta en gran manera la eficiencia de la red LTE-A. Los RN son estaciones base de baja potencia que se encargan de recibir,

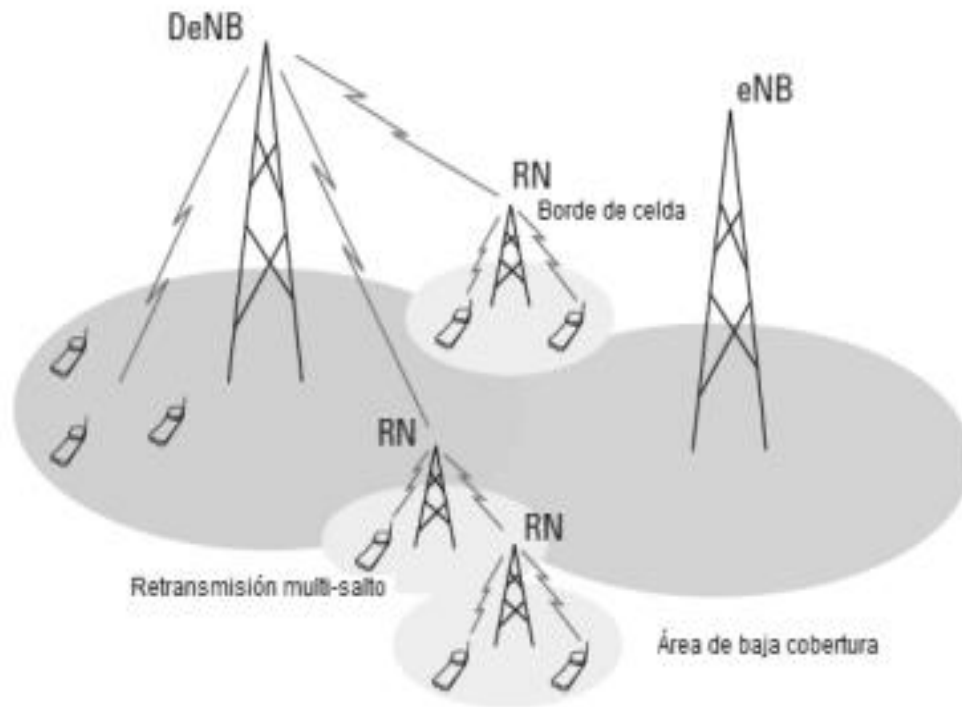
amplificar y retransmitir las señales de ambos canales, de bajada y de su subida, hacia zonas de pobre cobertura. El RN podría ubicarse en el borde de frontera la celda o en alguna otra área de baja cobertura.

El RN se conecta al eNB donante a través de una interfaz de radio, la Un, que es una modificación de la interfaz de radio Uu de la E-UTRAN. De ahí que los recursos de radio de la celda donante son compartidos entre los UE servidas directamente por el DeNB y los RN. Es por ello que los RN pueden mejorar la cobertura, pero no incrementar sustancialmente la capacidad.

El RN es compatible con las mismas funcionalidades que el eNB, sin embargo, el DeNB será responsable de la selección MME. Los RN más avanzados en capa 2 pueden decodificar las transmisiones antes de retransmitirlas. De esta forma, el tráfico puede ser enviado selectivamente hacia y desde el UE local al RN para minimizar la interferencia creada por los RN legados que envían todo el tráfico.

Dependiendo de la pila de protocolos implementada por el RN, se puede crear un enrutador inalámbrico de capa 3 que opere de la misma manera que un eNB, utilizando el estándar de protocolos de la interfaz de radio y realizando su propia asignación de recursos y programación de tráfico. En la figura 13 se muestra la configuración de los RN.

Figura 13. **Configuración RN**



Fuente: BWN Gatech. <http://bwn.ece.gatech.edu/surveys/ltea-EUTRAN-RN.jpeg>.  
Consulta 21 de febrero de 2018.

### 2.3.2. **Bloque EPC**

La arquitectura del bloque EPC de una red LTE-A básicamente es la misma que la mostrada por LTE. Los elementos que conforman el bloque EPC son: PGW, SPW, HeNB-GW, HSS, MME, PCRF, Interfaces S1-MME y S1-U.

Analizando los elementos de red del bloque EPC, se observa que entre LTE y LTE-A se mantienen el PGW, SGW, PCRF, MME y HSS.

### **2.3.3. Servicios IMS**

Los servicios IMS proporcionados por la red LTE-A, se encuentran alojados en una arquitectura integrada en el core de red LTE-A, compuesto básicamente sobre servidores, GW y bases de datos. Dichos elementos proporcionan los mecanismos de control necesarios para la provisión de servicios multimedia basados en IP a los usuarios de la red.

El bloque IMS es un bloque clave en la arquitectura de LTE-A ya que permite tener acceso a Internet, tales como VoIP, VoWiFi, Streaming mediante la red celular; adicional, permite gestionar la provisión de servicios tales como voz y video sobre IP, presencia y mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo, entre otros. IMS también permite interoperar con redes de conmutación de circuitos (CS), tales como la PSTN o redes celulares existentes y provee soporte para diferentes redes de acceso ya que es considerado como un subsistema independiente. IMS fue creado con los siguientes dos objetivos fundamentales:

- Proveer un QoS en las sesiones multimedia de tiempo real y de esta manera poder establecer esquemas de tarificación apropiados.
- Realizar la integración de diferentes servicios desarrollados por terceros y de esta manera entregar un nuevo servicio final al usuario.

Los protocolos utilizados por IMS están directamente relacionados con IETF, estos protocolos son creados para la provisión de servicios multimedia en sistemas de comunicaciones móviles; su adopción facilita en gran medida la interconexión de diferentes redes de telecomunicaciones ya sean móviles o fijas, públicas o privadas. En una sesión de estandarización, el comité 3GPP escogió



el protocolo SIP como protocolo de base para soportar la señalización asociada al subsistema IMS.

El protocolo SIP se utiliza para establecer y administrar sesiones multimedia sobre redes IP que sigue el modelo cliente-servidor, hereda la mayoría de características de los protocolos SMTP<sup>19</sup> y especialmente de HTTP<sup>20</sup>. Dentro de las aplicaciones de SIP se pueden mencionar: mensajería instantánea, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, streaming y QoS.

Adicional al protocolo SIP, IMS en LTE-A también utiliza los protocolos Diameter y H.248. IMS, en la capa de aplicación aloja los servidores de aplicación de los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En la capa de aplicación también se pueden encontrar elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes y pasarelas. A través de estas plataformas se posibilita la provisión de servicios desde proveedores de aplicaciones externos, denominados ASPs. La capa de transporte representa la infraestructura de red IP, que proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red. En la capa de control se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones tales como los servidores de señalización SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales.

#### **2.4. Protocolos y técnicas de red en LTE-A**

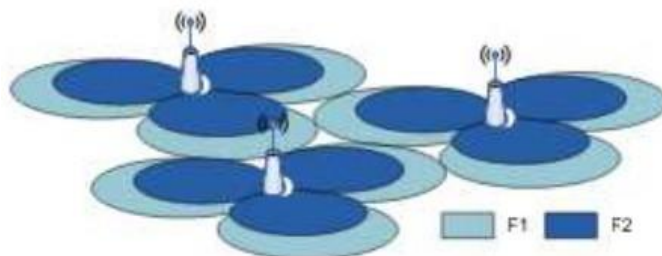
LTE-A en su arquitectura implementa una serie de nuevos protocolos lógicos y de señalización, con el objetivo fundamental de ser compatible con LTE y al mismo tiempo cumplir con los requerimientos técnicos hechos por el comité 3GPP para LTE-A.

### 2.4.1. Agregación de portadora

En LTE-A, por medio de la técnica de agregación de portadora, múltiples portadoras para el enlace de bajada y de subida en bandas de frecuencias contiguas o no contiguas pueden ser agrupadas. Cada componente del bloque de portadoras será compatible con los UE que proporcionan señales para la sincronización y transmisión de la información del sistema, a través del canal de *broadcast*. A partir del *Release 11*, se soporta la agregación interbanda, lo que significa que cada *component carrier* pertenece a una banda distinta. Esto es muy beneficioso para los operadores que tienen frecuencias en distintas bandas.

Por medio del scheduler, se puede hacer uso de diferentes condiciones para la cobertura y diferentes condiciones para la propagación. F1 con una frecuencia inferior proporciona la cobertura y la movilidad, mientras que F2 con la alta frecuencia proporciona un alto rendimiento en un área de cobertura limitada.

Figura 14. **Agregación de portadora en LTE-A**



Fuente: 3GPP R11. <http://3GPP.net/LTE-A/R11/CAset6.jpeg>.

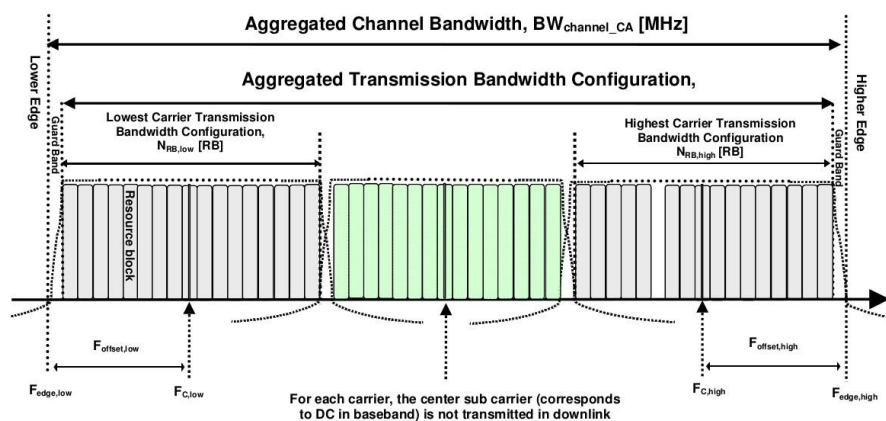
Consulta 21 de febrero de 2018.

Para agregación de portadora intrabanda continua, el ancho de banda de canal agregado, la configuración del ancho de banda de transmisión agregada y

de las bandas guarda se definen de la forma que se muestra en la figura 15. Los requisitos para la agregación de portadoras en esta especificación se definen para las configuraciones de agregación de portadoras con un conjunto de combinaciones de anchos de banda. Para agregación de portadoras interbanda, una configuración de agregación de portadoras es una combinación de bandas de trabajo, cada uno soportando una clase de ancho de banda agregación de portadoras.

Para la agregación de portadoras intrabanda continuas, una configuración de agregación de portadoras es una sola banda de trabajo soportando una clase de ancho de banda de agregación de portadoras. Para cada configuración de agregación de portadoras, los requisitos están especificados para todas las combinaciones de los ancho de banda contenidas en un conjunto dados por cada configuración.

Figura 15. **Portadora intrabanda continua**



Fuente: 3GPP R11. <http://3GPP.net/LTE-A/R11/CAband.jpeg>.

Consulta: 21 de febrero de 2018.

## 2.4.2. MIMO LTE-A

En LTE-A, se amplió la utilización de MIMO para mejorar el performance de la red, con esto se consiguió un aumento del Peak Rate, aumento de la cobertura, incremento del *throughput*. Adicional, con la utilización de MIMO, a nivel del UE se puede tener hasta 4 antenas transmitiendo y 8 recepcionando; mientras que por el lado del eNB se tiene hasta 8 antenas transmitiendo y 4 recepcionando.

La transmisión del enlace de subida es punto a punto, es decir, todos los UE transmiten hacia el eNB. Dado que el UE puede tener hasta 4 antena transmitiendo, puede configurarse SU- MIMO en el UL. Debido a la gran variedad de UE que existen en el mercado, los equipos móviles son clasificados en Categorías. En la tabla III se muestran las características de UE en LTE-A.

Tabla III. Categorías UE LTE-A

	Clase 6	Clase 7	Clase 8
<b>Canal de bajada</b>	300	300	3000
<b>Canal de subida</b>	50	100	1500
<b>Ancho de banda RF</b>	40	40	100
<b>Modulación de canal de bajada</b>	64 QAM	64 QAM	64 QAM
<b>Modulación de canal de subida</b>	16 QAM	16 QAM	64 QAM
<b>MIMO en el canal de bajada</b>	2x2	2x2	8x8
	4x4	4x4	
<b>MIMO en el canal de subida</b>	No	2x2	4x4

Fuente: elaboración propia.

### **3. COMPARACIÓN ENTRE LA TECNOLOGÍA LTE Y LTE-A**

En este capítulo se realizó una comparativa entre la tecnología 4G LTE y la tecnología 4,5G LTE-A, ambas tecnologías fueron creadas con el mismo objetivo fundamental de mejorar las velocidades para ambos canales, el de subida y el de bajada. Se analizó las diferencias existentes a nivel de capa física, de interfaces y de protocolos de señalización.

#### **3.1. Diferencias a nivel de capa física**

Al analizar los elementos de capa física que componen cada una de las arquitecturas de red, las diferencias entre ambas tecnologías son mínimas. Esto debido a que el comité 3GPP puso el requerimiento que la arquitectura de LTE-A sea compatible con la arquitectura LTE existente.

La arquitectura LTE y LTE-A comparten los mismos bloques fundamentales, es decir:

- Bloque UE
- Bloque EUTRAN
- Bloque ECP

A nivel del bloque UE, los elementos continúan siendo los mismos, las UE y el acceso de radio, esto debido a que para este bloque solo cambiaron las técnicas de acceso, pero siendo esto transparente a nivel físico.

A nivel del bloque E-UTRAN, se siguen utilizando las mismas interfaces, X2 y S1, con la diferencia que para LTE-A se tiene las nuevas interfaces:

- S11
- S5/S8
- S10

Con respecto al bloque EPC, es donde se tienen los cambios más significativos, aunque comparten los siguientes elementos:

- MME
- S-GW
- P-GW
- HSS
- PCRF

En cuanto a las diferencias se tienen las siguientes:

- HeNB-GW
- RN
- HeNB

En la tabla IV, se muestra un resumen de los elementos que conforman ambas tecnologías.

Tabla IV. Comparación a nivel de capa física entre LTE y LTE-A

		LTE	LTE-A
Bloque UE	TE	Sí	Sí
	MT	Sí	Sí
	UICC	Sí	Sí
Bloque E-UTRAN	eNB	Sí	No
	HeNB	No	Sí
	RN	No	Sí
Bloque ECP	MME	Sí	Sí
	P-GW	Sí	Sí
	S-GW	Sí	Sí
	HSS	Sí	Sí
	PCRF	Sí	Sí
	OCS	Sí	Sí
	OFCS	Sí	Sí
	HeNB-GW	No	Sí

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Diferencias a nivel de interfaces físicas

A nivel de interfaces físicas, se tiene que LTE-A utiliza todas las interfaces físicas utilizadas en LTE, con la diferencia que debido a sus técnicas de acceso LTE-A implementa más interfaces físicas. Entre las interfaces que comparten LTE y LTE-A se tienen las siguientes:

- E-UTRAN Uu
- S1
- SGi
- X2
- S1-MME
- S6a

- S11
- Gx
- Rx

Adicional a las anteriores, en LTE-A es necesario la utilización de las interfaces S1-U, S5/S8, S10. En la tabla V se muestran las diferencias entre las interfaces de LTE y LTE-A.

Tabla V. **Comparación a nivel de interfaces entre LTE y LTE-A**

	LTE	LTE-A
<b>E-UTRAN Uu</b>	Sí	Sí
<b>S1</b>	Sí	Sí
<b>SGi</b>	Sí	Sí
<b>X2</b>	Sí	Sí
<b>S1-MME</b>	Sí	Sí
<b>S6a</b>	Sí	Sí
<b>S11</b>	Sí	Sí
<b>Gx</b>	Sí	Sí
<b>Rx</b>	Sí	Sí
<b>S1-U</b>	No	Sí
<b>s5/s8</b>	No	Sí
<b>s10</b>	No	Sí

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Diferencias a nivel de protocolos de señalización

A nivel de protocolo de señalización utilizados, LTE-A, al igual que en la mayoría de la arquitectura de red, es una red LTE normal, con implementación



de nuevos protocolos de señalización. Los protocolos comunes son NAS, RRC, S1-AP, SCTP, UDP e IP; adicional en LTE-A se añaden los protocolos CA, X2-AP y GTP-C. En la tabla VI se pueden observar las diferencias entre los protocolos de LTE y LTE-A.

Tabla VI. **Comparación a nivel de protocolos entre LTE y LTE-A**

	<b>LTE</b>	<b>LTE-A</b>
<b>FDMA-SC</b>	Sí	No
<b>NAS</b>	Sí	Sí
<b>RRC</b>	Sí	Sí
<b>GTP-U</b>	Sí	No
<b>S1-AP</b>	Sí	Sí
<b>SC TP</b>	Sí	Sí
<b>CA</b>	No	Sí
<b>X2-AP</b>	No	Sí
<b>IP</b>	Sí	Sí
<b>GTP-C</b>	No	Sí
<b>UDP</b>	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia

### **3.4. Ventajas de LTE-A sobre LTE**

Las ventajas de la tecnología LTE-A sobre la tecnología a LTE son:

- Aumento de la velocidad de transmisión de datos para el canal de bajada de 86 Mbps en LTE a 3,5 Gbps en LTE-A. Las velocidades para ambas tecnologías con picos teóricos.

- Aumento de la velocidad de transmisión de datos para el canal de subida de 326 Mbps en LTE a 1,5 Gbps. Las velocidades para ambas tecnologías con picos teóricos.
- Implementación de la técnica de agregación por portadora.
- Ampliación de la utilización de la técnica MIMO.
- Mejora en las modulaciones para transmisión utilizadas.
- Facilidad de implementación, debido a que se puede partir de una red LTE básica sin mayores cambios técnicos.
- Implementación barata. Debido a que no se requieren cambios mayores, la transición entre LTE y LTE-A no representa costos elevados.
- Más y mejores servicios IMS.
- Utilización de técnicas de múltiples celdas.
- Mayor eficiencia espectral.
- Ancho de banda mayor.
- Mejora de la cobertura para el usuario mediante el uso de zonas de coberturas menores.
- Escalabilidad en cuanto a la utilización del ancho de banda, en LTE-A se puede tener hasta 100 MHz de ancho de banda.

- Soporte para la utilización de CoMP.
- Mayor seguridad para usuario.
- utilización de técnicas de codificación y precodificación.
- Reducción de latencias.
- Soporte técnico y de arquitectura para técnicas de voz sobre internet, tales como VoIP y VoWiFi.

### **3.5. Desventajas de LTE-A en comparación con LTE**

LTE-A es una tecnología mucho más eficiente y novedosa que LTE, pero esto no implica que presenten desventajas comparada con su antecesora. Las desventajas de la tecnología LTE-A contra la tecnología LTE son las siguientes:

- Dispositivos móviles no compatibles. Muy pocos usuarios cuentan con dispositivos que soporte LTE-A, esto debido a su costo.
- Debido a la utilización de una variada gama de servicios IMS, para el usuario esto representa un costo adicional, ya que cada vez necesita paquetes de navegación más grandes.
- Únicamente es compatible con una red LTE, por lo cual no puede existir una transición de HSPA a LTE-A



## **4. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED LTE-A BASADA EN UNA RED LTE EXISTENTE**

Para la implementación de una red LTE-A, se tomará como base fundamental una arquitectura básica LTE, esto incluye los elementos de los bloques UE, ECP, E-UTRAN e IMS.

### **4.1. Cambios físicos necesarios**

Como se observó en capítulos anteriores, ambas arquitecturas, LTE y LTE-A están formadas por los bloques UE, E-UTRAN y ECP. Adicional para LTE-A se utiliza el bloque IMS, el cual empezó su implementación en LTE, pero fue en LTE-A donde cobró más importancia.

En el bloque UE, los únicos cambios necesarios son a nivel de usuario, ya que los usuarios deberán cambiar sus dispositivos móviles LTE por dispositivos móviles compatibles con LTE-A. Adicional, deberán cambiar sus tarjetas SIM LTE por tarjetas SIM provisionadas para el correcto funcionamiento con LTE-A.

En el bloque E-UTRAN, se sigue utilizando esta misma técnica como acceso a la red LTE-A. Los cambios necesarios son la eliminación de los eNB y reemplazarlos por HeNB, así como la implementación de la técnica y elementos RN. Dependiendo de la arquitectura de red deseada, los elementos eNB y HeNB pueden subsistir bajo la misma arquitectura, sin ser mutuamente excluyentes.

En el bloque ECP, al igual que en los bloques anteriores, se mantiene la configuración LTE. Con la única diferencia de la implementación del nuevo elemento HeNB-GW utilizado por los HeNB.

Analizando lo descrito anteriormente, se verifica que LTE-A cumple con el requisito fundamental propuesto por el comité 3GPP y la ITU-R, de ser compatible con una red LTE básica.

Conforme a lo anterior, se puede validar que la tecnología LTE-A cumple con el requisito de la norma ITU-R M14.57: la arquitectura de red LTE-A debe ser la misma que la arquitectura de red utilizada por LTE.

#### **4.2. Cambios de señalización necesarios**

La tecnología LTE-A, al igual que las tecnologías LTE y la HSPA, basa su funcionamiento en protocolos de señalización basados en el modelo OSI de 7 capas. El cambio principal en cuanto a protocolos de señalización es la eliminación de las técnicas y protocolos FDMA-SC, GTP-U, y la implementación de CA, X2-AP y GTP-C. En cuanto a interfaces, debido a la implementación de agregación por portadora, los RN y HeNB, así como la utilización de MIMO, se deben implementar las interfaces S1-U, S5/S8 y S10

#### **4.3. Análisis final**

Con base en el estudio realizado, en cuanto a la implementación de una red de tecnología LTE-A basada en una red LTE básica, se concluye lo siguiente:

- Para el usuario final representa una mejora considerable del servicio, ya que tiene mejores velocidades de carga y descarga, una variedad más

amplia de servicios IMS, mejora considerable en cuanto a la cobertura ofrecida (incluso en lugares donde la cobertura de una red 3G o LTE no es buena), reducción de tiempo de latencia en juegos en línea.

- LTE-A para las compañías telefónicas representa un beneficio considerable, ya que, por una mínima inversión, consiguen más y mejores servicios. Entre las ganancias que representa una red LTE-A se consigue una mejoría en los ingresos por venta de plan de datos de internet, venta de teléfonos de gama alta compatibles con LTE-A, mejora de cobertura, soporte para protocolos IP versión 6, así como soporte para las próximas tecnologías de llamadas de voz, las cuales ya no utilizarán una red 2G o 3G, sino usarán la nube, tales como VoIP y VoWiFi.





## CONCLUSIONES

1. En la actualidad, la tecnología LTE es conocida erróneamente como una tecnología 4 G, aunque sus velocidades pico no cumplen con los requisitos propuestos para una tecnología 4 G. Por lo que tanto los fabricantes como las assembleas y los comités de estandarización consideran a LTE como una tecnología 3,95 G. A nivel de arquitectura de red, en Guatemala todas las compañías implementaron LTE basado sobre HSPA+, por lo cual los cambios son significativos.
2. LTE-A es una tecnología de telecomunicaciones que presenta velocidades de transmisión bastante superiores a LTE. Cumple perfectamente con los requisitos de una tecnología 4G y la base para una tecnología 5 G.
3. LTE-A presentar mejoras considerables sobre LTE, siendo todas están en relación a servicios IMS: streaming, reducción de latencias, velocidades de transmisión pico. Una de las ventajas más grandes de LTE-A sobre LTE es la compatibilidad con los nuevos servicios de llamadas de voz VoIP y VoWiFi, LTE es compatible con estos servicios, pero el problema fundamental radica en las velocidades de transmisión y la utilización del ancho de banda.
4. En Guatemala, para implementar LTE-A, no se necesitan cambios, ya que las compañías de telecomunicaciones en Guatemala tienen una arquitectura de red LTE, por lo cual para implementar LTE-A pueden

iniciar con la implementación de RN y HeNB compatibles con bases LTE, pero con menores zonas de cobertura.

## RECOMENDACIONES

1. Para la implementación de una red LTE, la mejor forma de hacerlo es mediante una pirámide de red. Es decir, iniciar con una red GSM para llamadas de voz, luego una red HSPA+ para la transmisión de datos y luego hacer el upgrade hacia una red LTE.
2. Aprovechando que E-UTRAN es compatible con LTE y LTE-A, es considerable no cambiar la técnica de acceso a la red.
3. En el caso de una migración hacia LTE-A, se debe convencer al usuario final de las mejoras en el servicio, esto para animarlo a cambiar su dispositivo móvil a uno de gama alta compatible con LTE-A.
4. Debido a la menor zona de cobertura. LTE-A debe ser implementado parcialmente por zonas de cobertura, con esto se consigue una implementación rápida y transparente para el usuario.



## BIBLIOGRAFIA

1. 3GPP. *LTE-Advanced* [en línea]. <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/103-umts>>. [Consulta: 08 de junio del 2018].
2. \_\_\_\_\_. *LTE Specifications* [en línea]. <<http://www.3gpp.org/specifications>>. [Consulta: 24 de marzo del 2018].
3. Agilent Technologies. *Introducing LTE-Advanced* [en línea]. <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-6706EN>>. [Consulta: 16 de enero de 2018].
4. HARTMANN, Christian. *GSM Architecture, protocols and services*. Inglaterra: Wiley, 2009. 325 p.
5. HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti. *LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA based radio Access*. Estados Unidos: Wiley, 2009. 450 p.
6. KOROWAJCZUK, Leonhard. *LTE, WIMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis*. Estados Unidos: Wiley, 2011. 782 p.
7. Master LTE faster. *LTE Protocols explained, following the 3GPP structure*. [en línea] <<http://www.masterltefaster.com/lte/controlplane.php>>. [Consulta: 18 de enero del 2018].

8. MONTEALEGRE, Fabián; SALAS Marcelo; ACUÑA Pablo; SALAZAR José Pablo. *Propuesta de requerimientos técnicos para la implementación de redes móviles con la tecnología “Long Term Evolution (LTE)” en Costa Rica*. Costa Rica: UCR, 2009. 291 p.
  
9. SESIA, Stefania; TOUFIK, Issam; BAKER, Matthew. *LTE – The UMTS long term evolution from theory to practice*. 2da Ed. Estados Unidos: Wiley, 2011. 792 p.