



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

**MIGRACIÓN DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL HSPA+ A UNA RED DE TELEFONÍA  
MÓVIL LTE TIPO A, DE ACUERDO CON LAS NORMAS ITU-R M14.57**

**Oscar Daniel Guerra**

Asesorado por el Ing. Julio Cesar Solares Peñate

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MIGRACIÓN DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL HSPA+ A UNA RED DE TELEFONÍA  
MÓVIL LTE TIPO A, DE ACUERDO CON LAS NORMAS ITU-R M14.57**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**OSCAR DANIEL GUERRA**

ASESORADO POR EL ING. JULIO CESAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
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:

### **MIGRACIÓN DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL HSPA+ A UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE TIPO A, DE ACUERDO CON LAS NORMAS ITU-R M14.57**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 06 de julio 2016.

**Oscar Daniel Guerra**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 23 de febrero de 2017

**Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar**  
**Coordinador del Área de Electrónica**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC.**


**Ingeniero Guzmán:**

Por este medio me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: "**Migración de una red de telefonía móvil HSPA+ a una red de telefonía móvil LTE tipo A, de acuerdo a las normas ITU-R M14.57**", desarrollado por el estudiante **Oscar Daniel Guerra**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Solares Peñate  
**Asesor**

**Julio César Solares Peñate**  
**Ingeniero Mecánico Electricista**  
**Colegiado No. 2330**





Ref. EIME 13. 2017  
Guatemala, 27 de FEBRERO 2017.

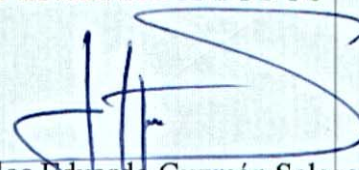
Señor Director  
Ing. Francisco Javier González López  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
MIGRACIÓN DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL HSPA+  
A UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE TIPO A, DE  
ACUERDO A LAS NORMAS ITU-R M14.57, del estudiante Oscar  
Daniel Guerra, que cumple con los requisitos establecidos para tal  
fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Electrónica



STO





REF. EIME 13. 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; OSCAR DANIEL GUERRA titulado: MIGRACIÓN DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL HSPA+ A UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE TIPO A, DE ACUERDO A LAS NORMAS ITU-R M14.57, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 28 DE MARZO 2,017.



Universidad de San Carlos  
De Guatemala

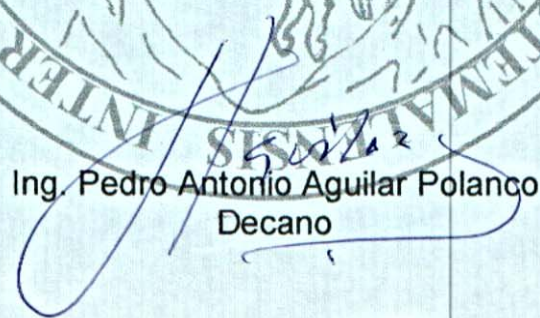


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.D.243.2017

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 al trabajo de graduación titulado: **MIGRACIÓN DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL HSPA+ A UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE TIPO A, DE ACUERDO CON LAS NORMAS ITU-R M14.57**, presentado por el estudiante universitario: **Oscar Daniel Guerra**, y 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, mayo de 2017



/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme sabiduría y la bendición de iniciar y terminar mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Irma Guerra y Gabriel Ajpop, por darme su apoyo incondicional, comprensión y la motivación para ser exitoso en la vida.
<b>Familia Márquez Alemán</b>	En especial a Doris Alemán, Manuel Hernández y José Márquez, por ser una fuente de apoyo; les estaré agradecido toda la vida.
<b>Mi familia</b>	Mi hermano, cuñada, sobrinos, tíos, tías y primos, gracias por sus deseos de superación.
<b>Mis amigos</b>	Lester de León, Daniel Camargo, Marvin Barrios, José Orozco, José Noriega, Romeo López, Mynor Rodríguez y Luis Sandoval por su valiosa amistad.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por todas sus bendiciones a lo largo de mi carrera, que me han permitido triunfar en las metas que me he propuesto.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de pertenecer a tan gloriosa casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme el conocimiento para formarme como profesional.
<b>Ing. Julio Solares</b>	Por su valiosa ayuda en el área profesional.
<b>Mis amigos</b>	Por ser una fuente de sabios consejos, verdadera amistad.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. TECNOLOGÍA HSPA+ .....	1
1.1. Historia .....	1
1.2. Requerimientos técnicos y características.....	14
1.3. Arquitectura de red .....	18
1.3.1. UE, <i>user equipment</i> .....	19
1.3.2. RNS, <i>radio network subsystem</i> .....	21
1.3.2.1. Nodo B.....	22
1.3.2.2. RNC, <i>radio network controller</i> .....	24
1.3.2.3. Interfaz lu.....	27
1.3.2.4. Interfaz lu-CS.....	29
1.3.2.5. Interfaz lu-PS.....	29
1.3.2.6. Interfaz lu-BC.....	30
1.3.2.7. Interfaz luB .....	30
1.3.2.8. Interfaz luR .....	30
1.3.2.9. Interfaz Uu .....	31
1.3.3. CN, <i>core network</i> .....	31
1.3.3.1. MSC, <i>mobile switching center</i> .....	33
1.3.3.2. SGSN, <i>serving GPRS support node</i> ....	35

1.3.3.3.	GGSN, <i>Gateway GPRS support node</i> .....	37
1.3.3.4.	HLR, <i>home location register</i> .....	38
1.3.3.5.	VLR, <i>visitor location register</i> .....	39
1.3.3.6.	SMSC, <i>short message service center</i> ..	39
1.3.3.7.	MMSC, <i>multimedia message service center</i> .....	40
1.3.3.8.	AuC, <i>authentication center</i> .....	41
1.3.3.9.	EIR, <i>equipment identity register</i> .....	42
1.3.3.10.	Interfaz B .....	43
1.3.3.11.	Interfaz C .....	43
1.3.3.12.	Interfaz D .....	43
1.3.3.13.	Interfaz E .....	44
1.3.3.14.	Interfaz F .....	44
1.3.3.15.	Interfaz G .....	44
1.3.3.16.	Interfaz H .....	44
1.3.3.17.	Interfaz Gc .....	45
1.3.3.18.	Interfaz Gf .....	45
1.3.3.19.	Interfaz Gi .....	45
1.3.3.20.	Interfaz Gn .....	46
1.3.3.21.	Interfaz Gp .....	46
1.3.3.22.	Interfaz Gs .....	46
2.	TECNOLOGÍA LTE .....	47
2.1.	Historia .....	47
2.2.	Requerimientos técnicos y características .....	51
2.3.	Arquitectura de red .....	57
2.3.1.	Bloque UE .....	57
2.3.2.	Bloque EUTRAN .....	58



	2.3.2.1.	eNodo B (eNB, <i>evolved node B</i> ).....	59
	2.3.3.	Bloque ECP .....	61
	2.3.3.1.	MME, <i>mobility management entity</i> .....	63
	2.3.3.2.	P-GW, <i>packet data network – gateway</i> .....	65
	2.3.3.3.	S-GW, <i>servicing – gateway</i> .....	65
	2.3.3.4.	HSS, <i>home subscriber server</i> .....	66
	2.3.3.5.	PCRF, <i>policy control and charging rules function</i> .....	67
	2.3.3.6.	Interfaces.....	68
2.4.		Ventajas y desventajas entre LTE y HSPA+ .....	68
3.		TECNOLOGÍA LTE-A.....	71
	3.1.	Historia .....	71
	3.2.	Requerimientos técnicos y características.....	73
	3.3.	Arquitectura de red LTE-A .....	81
	3.3.1.	Bloque EUTRAN.....	82
	3.3.1.1.	RN, <i>relay node</i> .....	82
	3.3.1.2.	HeNB, <i>home eNB</i> .....	83
	3.3.1.3.	Interfaces.....	84
	3.3.2.	Bloque ECP .....	84
	3.3.2.1.	HeNB-GW, <i>home eNB- gateway</i> .....	85
	3.4.	Ventajas y desventajas entre LTE-A y LTE .....	86
4.		MIGRACION DE LA TECNOLOGÍA HSPA+ A LA TECNOLOGÍA LTE-A .....	89
	4.1.	Migración de la tecnología HSPA+ a la tecnología LTE .....	89
	4.1.1.	Cambios a nivel de arquitectura de red .....	89
	4.1.2.	Cambios a nivel de señalización.....	91

4.1.3.	Mejoras a nivel de percepción de usuario final.....	93
4.2.	Migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A .....	94
4.2.1.	Cambios a nivel de arquitectura de red.....	95
4.2.2.	Cambios a nivel de señalización .....	96
4.2.3.	Mejoras a nivel de percepción de usuario final.....	97
CONCLUSIONES.....		99
RECOMENDACIONES .....		101
BIBLIOGRAFIA.....		103



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Utilización de espectro – HSDPA.....	2
2.	Canales HSDPA.....	4
3.	Canales HSUPA.....	8
4.	Análisis espectral HSUPA.....	9
5.	Evolución HSPA+.....	16
6.	Arquitectura de bloques red HSPA+ .....	19
7.	Estructura bloque RNS.....	21
8.	Estructura bloque CN.....	33
9.	Red de acceso LTE.....	52
10.	Espectro OFDMA.....	54
11.	Espectro SC-FDMA.....	55
12.	Funcionamiento HeNB .....	56
13.	Bloque EUTRAN .....	58
14.	Interconexión eNB – MME/S-GW.....	61
15.	Estructura bloque EPC.....	63
16.	Comparación velocidades de transmisión HSPA+ y LTE.....	70
17.	Técnica CA ( <i>carrier aggregation</i> ) .....	74
18.	Asignación de CA para intrabandas e interbandas .....	76
19.	Adición de señales de referencia en <i>release 8</i> y <i>10</i> .....	79
20.	Arquitectura de red LTE-A.....	82

## TABLAS

I.	Categorías HSDPA .....	5
II.	Categorías HSUPA .....	10
III.	Mejoras canal descendente HSPA .....	14
IV.	Mejoras en el canal ascendente HSPA.....	14
V.	Cambios a nivel de arquitectura en la migración de la tecnología HSPA+ a LTE .....	91
VI.	Cambios a nivel de señalización e interfaces en la migración de la tecnología HSPA+ a LTE .....	93
VII.	Cambios a nivel de arquitectura en la migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A.....	96
VIII.	Cambios a nivel de señalización e interfaces en la migración de la tecnología LTE a LTE-A.....	97

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>bps</b>	Bit por segundo
<b>BC</b>	<i>Broadcast</i>
<b>CS</b>	<i>Circuit switching</i>
<b>CN</b>	<i>Core network</i>
<b>4G</b>	Cuarta generación de redes móviles
<b>EPS</b>	<i>Enhanced packet switching</i>
<b>eNB</b>	<i>Evolved node B</i>
<b><i>f</i></b>	Frecuencia
<b>0G</b>	Generación cero de redes móviles
<b>Gbps</b>	Giga bit por segundo
<b><i>GHz</i></b>	Giga hertz
<b>Hz</b>	Hertz
<b>HeNB</b>	<i>Home evolved node B</i>
<b>Kbps</b>	Kilo bit por segundo
<b><i>KHz</i></b>	Kilo hertz
<b>Mbps</b>	Mega bit por segundo
<b><i>MHz</i></b>	Mega Hertz
<b>MMS</b>	<i>Multimedia message service</i>
<b>FDM</b>	Multiplexación por división de frecuencia
<b>TDM</b>	Multiplexación por división de tiempo
<b>NB</b>	<i>Node B</i>
<b>PS</b>	<i>Packet switching</i>
<b>1G</b>	Primera generación de redes móviles

<b>QoS</b>	<i>Quality of service</i>
<b>5G</b>	Quinta generación de redes móviles
<b>RNS</b>	<i>Radio network subsystem</i>
<b>2G</b>	Segunda generación de redes móviles
<b>SMS</b>	<i>Short message service</i>
<b>Tbps</b>	Tera bit por segundo
<b>THz</b>	Tera hertz
<b>3G</b>	Tercera generación de redes móviles
<b>UE</b>	<i>User equipment</i>



## GLOSARIO

<b>3GPP</b>	<i>Third generation partnership project.</i> Entidad responsable de la estandarización y control de los protocolos para las tecnologías de telecomunicaciones.
<b>APN</b>	<i>Access point name.</i> Conjunto de configuraciones asignada a un grupo de UE para su acceso a internet.
<b>AuC</b>	<i>Authentication center.</i> Elemento de red responsable de la autenticación de usuarios.
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous transfer mode.</i> Modo de transferencia de datos de manera asíncrona.
<b>EIR</b>	<i>Equipment identity register.</i> Elemento e red responsable de indicar si el usuario tiene, o no, autorización para registrarse en la red.
<b>EUTRAN</b>	<i>Evolved UMTS terrestrial radio access network.</i> Técnica utilizada por LTE para el acceso a la red.
<b>FCC</b>	<i>Federal communications commission.</i> Entidad encargada de velar por que las UE cumplan con los

requisitos de radiación mínimos para evitar daños a los seres humanos.

<b>GPRS</b>	<i>General packet radio service.</i> Protocolo de segunda generación para la transferencia de datos.
<b>GGSN</b>	<i>Gateway GPRS support node.</i> Elemento de red responsable de brindar el enlace a la nube al usuario.
<b>HEnB</b>	<i>Home eNB.</i> Elemento de red que permite la conexión de usuarios a la red.
<b>HEnB-GW</b>	<i>Home eNB gateway.</i> Elemento de red que permite la conexión de usuarios al bloque de red ECP.
<b>HLR</b>	<i>Home location register.</i> Elemento de red que almacena información de los usuarios de la red.
<b>HSPA</b>	<i>High-speed packet access.</i> Tecnología 3G para redes móviles.
<b>HSPA+</b>	<i>Evolved high-speed packet access.</i> Tecnología 3,75G para redes móviles.
<b>HSDPA</b>	<i>High-speed downlink packet access.</i> Tecnología 3G para redes móviles especialmente diseñada para enlaces descendentes.

<b>HSS</b>	<i>Home subscriber server.</i> Elemento de red encargado de almacenar información de usuario.
<b>HSUPA</b>	<i>High-speed uplink packet access.</i> Tecnología 3G para redes móviles especialmente diseñada para enlaces ascendentes.
<b>IMEI</b>	<i>International mobile equipment identity.</i> Número de identificación que se asigna a un teléfono y modelo en específico para su identificación en la red.
<b>IMSI</b>	<i>International mobile subscriber identity.</i> Número de identificación internacional de usuario.
<b>LTE</b>	<i>Long term evolution.</i> Tecnología 3,9G para redes móviles.
<b>LTE-A</b>	<i>Advanced long term evolution.</i> Tecnología 4G para redes móviles.
<b>MAP</b>	<i>Mobile application part.</i> Protocolo de comunicaciones.
<b>MME</b>	<i>Mobility management entity.</i> Elemento de red encargado de la conexión del ECP con los eNB.
<b>MMS</b>	<i>Multimedia message service.</i> Mensajes que pueden incluir contenido multimedia.

<b>MMSC</b>	<i>Multimedia message service center.</i> Elemento de red encargado de la administración y entrega de los mensajes multimedia.
<b>MSC</b>	<i>Mobile switching center.</i> Elemento central de una arquitectura de red 3G.
<b>MSISDN</b>	<i>Mobile station integrated services digital network.</i>
<b>MTP</b>	<i>Message transfer part.</i> Protocolo de comunicación para interfaces.
<b>PCRF</b>	<i>Policy control and charging rules function.</i> Elemento de red responsable de la administración de las políticas de control y tarificación configuradas a los usuarios de la red.
<b>P-GW</b>	<i>Packet data network.</i> Elemento de red encargado de brindar el acceso a la nube a los usuarios.
<b>RN</b>	<i>Relay node.</i> Nodo pequeño utilizado para brindar cobertura a lugares pequeños.
<b>RNC</b>	<i>Radio network controller.</i>
<b>SIM</b>	<i>Subscriber identity module.</i> Tarjeta física que permite al usuario el acceso a la red.
<b>SMS</b>	<i>Short message service.</i>



<b>SMSC</b>	<i>Short message service center.</i> Elemento de red encargado de la administración y entrega de los mensajes de texto corto.
<b>SGSN</b>	<i>Serving GPRS support node.</i> Elemento de red responsable de enviar las solicitudes de navegación al GGSN.
<b>Streaming</b>	Servicio proporcionado por la red, para ver videos en línea a altas velocidades.
<b>S-GW</b>	<i>Serving – gateway.</i> Elemento de red encargado de enviar las solicitudes de acceso al P-GW.
<b>UTRAN</b>	<i>UMTS terrestrial radio access network.</i> Técnica utilizada por HSPA+ para el acceso a la red.
<b>VLR</b>	<i>Visitor location register.</i> Elemento de red que almacena información sobre usuarios visitantes en la red.



## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se estudiarán a detalle los cambios necesarios, tanto a nivel de señalización como a nivel de arquitectura física, que deben ser ejecutados para poder realizar la implementación de una red con la tecnología LTE-A. Adicional, se estudiarán las generalidades técnicas de LTE-A y las normas ITU y 3GPP que describen esta tecnología.

En el primer capítulo se analizarán todos los aspectos técnicos, de arquitectura y protocolos que conlleva la tecnología HSPA+. Se hará un enfoque especial en la arquitectura de red y todos los componentes que la integran.

En el segundo capítulo se analizarán todos los aspectos técnicos, de arquitectura y protocolos que conlleva la implementación de la tecnología LTE. En este capítulo también se hará una comparativa, en cuanto a ventajas y desventajas, desde el punto de vista de red y de usuario, de la tecnología LTE con la tecnología HSPA+.

En el tercer capítulo se analizarán todos los aspectos técnicos, de arquitectura y protocolos que conllevaría la futura implementación de la tecnología LTE. En este capítulo también se hará una comparativa, en cuanto a ventajas y desventajas, desde el punto de vista de red y de usuario, de la tecnología LTE-A con la tecnología LTE.

En el cuarto capítulo se realizará el análisis técnico y de arquitectura de todos los cambios que se deben realizar para migrar de la actual tecnología

HSPA+ hacia LTE-A. En este capítulo se harán dos análisis, ya que para la migración se debe dividir en dos partes: primero, se hará el análisis para la migración de la tecnología HSPA+ hacia la tecnología LTE; luego, según el estudio anterior, se hará el análisis de la migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un estudio sobre la migración de una red de telefonía móvil HSPA+ a una red de telefonía móvil LTE tipo A, de acuerdo con las normas ITU-R M14.57.

### **Específicos**

1. Presentar un estudio a detalle sobre las características y la arquitectura de una red HSPA+.
2. Presentar un estudio a detalle sobre las características y la arquitectura de una red LTE.
3. Presentar las características, los fundamentos, los requerimientos y la arquitectura de una red LTE-A.
4. Realizar un estudio sobre los cambios necesarios que conlleva la migración de una red HSPA+ a una red LTE y, posteriormente, de una red LTE a una red LTE-A.



## INTRODUCCIÓN

La industria de la telefonía móvil celular se encuentra en evolución constante, esta evolución ha permitido a los fabricantes introducir más y mejores servicios de telefonía; a los usuarios les permite gozar de una amplia gama de servicios móviles gratuitos y pagados. La evolución, desde el punto de vista de fabricantes, operadores de telefonía y usuarios finales, representa cambios a nivel de infraestructura de la red.

Actualmente, en Guatemala se cuenta con la tecnología LTE que es vendida como una tecnología 4G, pero esto no es completamente cierto debido a que no cumple con todos los requerimientos *IMT-advanced* para una red 4G; por esta razón a nivel tecnológico es conocida como 3,9G.

Realizando una proyección a futuro, los dispositivos móviles como Smartphones, PDA y Tablets deben evolucionar y esto obligará a las compañías de telefonía en Guatemala a implementar servicios para este tipo de dispositivos. Uno de los cambios necesarios será migrar a la tecnología LTE-A que sí cumple con los requerimientos *IMT-advance*. Como se mencionó anteriormente, todas las evoluciones conllevan cambios; el cambio más notorio es la implementación del denominado *evolved packet core* que es una mejora del actual *packet core* para LTE.



# 1. TECNOLOGÍA HSPA+

Con la aparición de las tecnologías 3G, surge una nueva tecnología de alta velocidad para la transmisión de datos: la tecnología HSPA+, también conocida como HSPA mejorada; está definida bajo la norma *release 7* de 3 GPP. Según los lineamientos técnicos de su creación, HSPA+ alcanza velocidades picos de hasta 84 Mbps para el enlace descendente y hasta 22 Mbps para el enlace ascendente.

## 1.1. Historia

Con la introducción de los servicios multimedia y de datos, proporcionados por las tecnologías 2G EDGE y GPRS, se dio inicio al mundo de la transferencia de datos móviles.

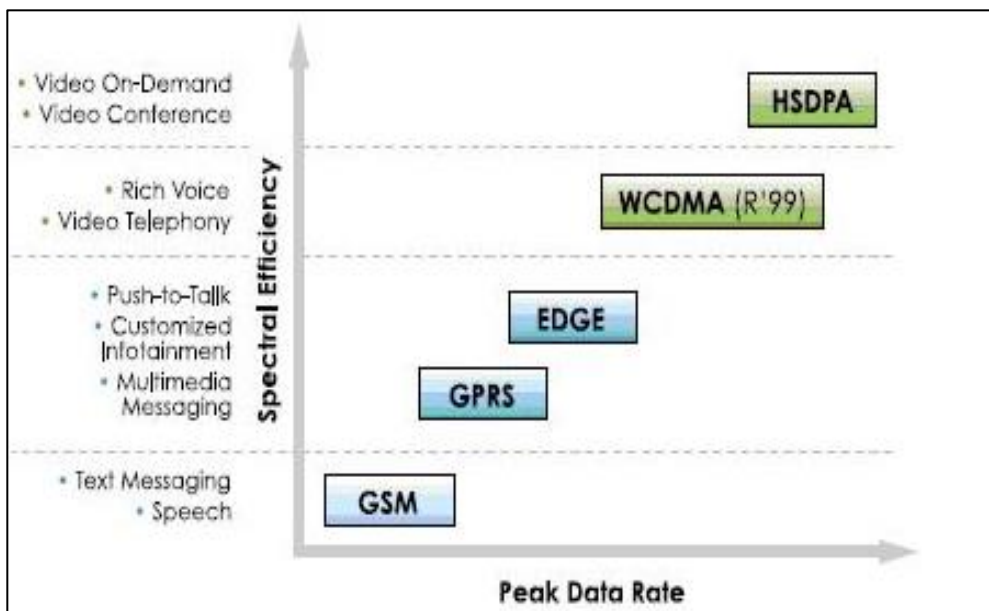
La entidad responsable de autorizar o denegar una tecnología es 3GPP (*3rd generation partnership project*). Dicha entidad se dio a la tarea de iniciar la tercera generación de tecnologías para telecomunicaciones, esto con el objetivo de sustituir a los protocolos EGE y GPRS, debido a sus lentas velocidades de transferencia de datos. Todas las tecnologías 3G se encuentran basadas en la norma IMT-2000, publicada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En comparación con las tecnologías 2G, las 3G presentan mejoras en aspectos de seguridad, calidad en cuanto a la transmisión de voz, velocidades de transferencia mayores.

De las tecnologías 3G, anteriores a HSPA+, se pueden mencionar HSDPA, HSUPA y SHPA. HSDPA (*high speed downlink packet access*)

proporciona velocidades de transferencia pico de hasta 14 Mbps para el enlace descendente y 1 Mbps para el enlace ascendente. Esta tecnología fue publicada en el *release 5* de 3 GPP.

Las principales características de HSDPA son: velocidad para el enlace ascendente mejorada, soporte para transmitir más de 2 códigos de manera simultánea, utilización de una modulación de orden superior, soporte para la utilización compartida de un canal, tiempos de transmisión cortos, soporte para la técnica HARQ (*hybrid automatic repeat request*), adaptabilidad al ambiente del enlace, utilización de 2 tipos de modulación (QPSK y 16 QAM). Con todas las ventajas que trae consigo HSDPA se puede observar fácilmente una mejora en la utilización del espectro y como se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Utilización de espectro – HSDPA**



Fuente: PUCP. <http://www.blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/100/2008/04/hsdpa-5.jpg>. Consulta: 20 de abril de 2016.



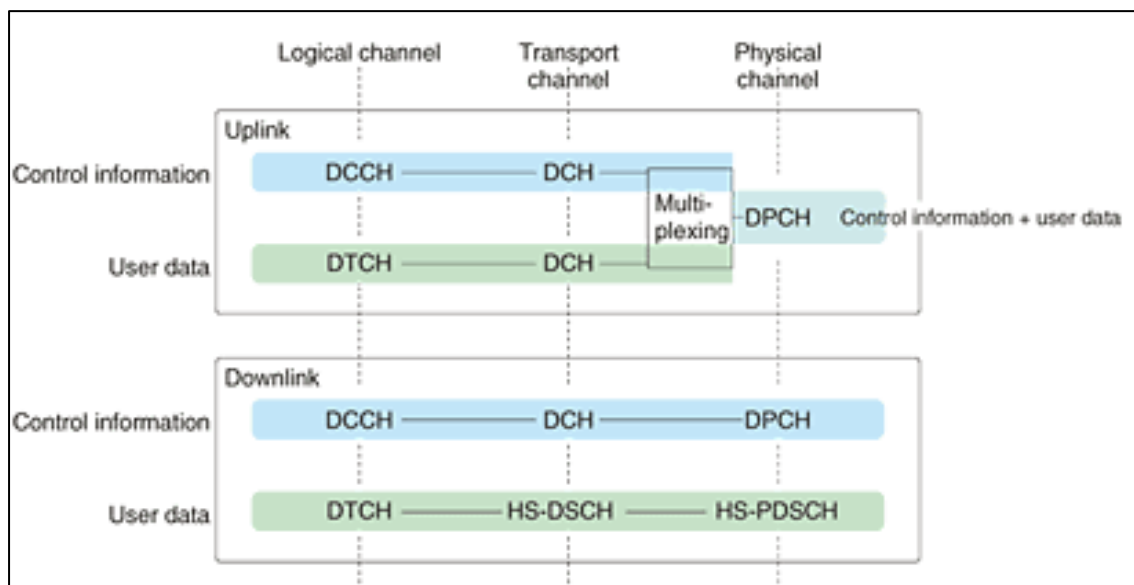
Para conseguir una mejora de la velocidad de transferencia del enlace descendente fue necesaria la implementación de otro tipo de canales, conocidos como HS-PDSCH (*high speed physical downlink shared*), los cuales, hasta un máximo de 15, pueden trabajar de manera simultánea en un mismo canal de radio con un ancho de banda de 5MHz. En cuanto a los tiempos de transmisión más cortos, fue necesario hacer una transferencia más dinámica, por lo cual la transferencia de información se utilizan intervalos de tiempo de 2 ms. Para conseguir la adaptabilidad al medio, se utiliza la técnica AMC (*adaptive modulation and coding*).

La técnica de detección y corrección de errores ARQH es una técnica de redundancia cíclica que incorpora la técnica FEC, con lo cual se consigue una respuesta rápida ante posibles errores. Si se detecta un error en la trama de información, se solicitará su retransmisión, pero sin solicitar la retransmisión de todo el mensaje. Luego, cuando la trama errónea sea retransmitida, se procederá a validarla; si la trama es correcta, se procede a reconstruir el mensaje, en caso contrario se pide, nuevamente, la retransmisión.

ARQH puede funcionar con la técnica CC (*chase combining*), en la cual los datos son transmitidos con el CRC ya incluido en la trama; la otra técnica es IR (*incremental redundancy*), con la cual no se incluye un CRC dentro de la trama, si no que se genera una nueva trama mediante la aplicación de un código convolucional al mensaje. Este nuevo bloque es dividido en bloques más pequeños a los cuales se les agrega un CRC y posteriormente son transmitidos. Al llegar al receptor estos bloques son verificados y si alguno contiene un error es fusionado con el siguiente, de manera que se consiga un bloque sin errores. Adicionalmente, HSDPA también incorpora 3 canales de capa física: HS-SCCH; HS-DPCCH y HS-PDSCH. HS-SCCH es el encargado de informar al usuario que los datos serán enviados sobre HS-DSCH. HS-DPCCH se encarga del

transporte de la información de acuse de recibo y el indicador de calidad del canal del usuario; HS-PDSCH es el encargado del transporte de la información del canal HS-SCH. Entre la información que se transmite se encuentra el tamaño del bloque, tipo de modulación y la codificación utilizada, el tipo de canalización utilizada, el tipo de ARQH utilizado e identificador del equipo móvil. En la figura 2 se observa la combinación de todos los canales utilizados por HSDPA.

Figura 2. **Canales HSDPA**



Fuente: *NTT Review*. [https://www.ntt-review.jp/archive\\_html/200704/images/sf3\\_fig04.gif](https://www.ntt-review.jp/archive_html/200704/images/sf3_fig04.gif).

Consulta: 20 de abril de 2016.

HSDPA fue evolucionando internamente, por esta razón existen 12 categorías HSDPA que varían entre sí por la cantidad máxima de códigos/bits/TTI que pueden recibir, el tamaño máximo de buffer para la técnica HARQ, el tipo de modulación soportada, el TTI necesario para su correcto funcionamiento y, lo más importante, la velocidad pico de transferencia de

datos. En la tabla I se observan las características y diferencias de las 12 categorías HSDPA existentes.

Tabla I. **Categorías HSDPA**

Categoría	Cantidad máxima de códigos recibidos	TTI mínimo	Cantidad máxima de bit/TTI recibidos	Tamaño máximo en buffer de HARQ	Compatibilidad con 16QAM	Velocidad máxima en Mbps
1	5	3	7 298	19 200	Sí	1,2
2	5	3	7 298	28 800	Sí	1,2
3	5	2	7 298	28 800	Sí	1,8
4	5	2	7 298	38 400	Sí	1,8
5	5	1	7 298	57 600	Sí	3,6
6	5	1	7 298	67 200	Sí	3,6
7	10	1	14 411	11 200	Sí	7,2
8	10	1	14 411	134 400	Sí	7,2
9	15	1	20 251	172 800	Sí	10,2
10	15	1	27 952	172 800	Sí	14
11	5	2	3 630	14 400	No	0,9
12	5	1	3 630	28 800	No	1,8

Fuente: elaboración propia.

La contraparte de la tecnología HSDPA es la tecnología HSUPA (*high speed uplink packet access*), introducida bajo el *release 6* de 3GPP. Esta tecnología implementa una mejora en cuanto a la velocidad, de transferencia del canal ascendente, con velocidades pico de hasta 5,76Mbps para conseguir esta mejora en la velocidad de transferencia, fue necesaria la incorporación de un nuevo canal de transporte denominado E-DCH (*enhanced dedicated channel*). Adicional a este canal de transporte, a nivel de capa física se incorporan los siguientes canales:

- E-RGCH (*relative grant channel*)
- E-DPDCH (*E-DCH dedicated physical data channel*)
- E-AGCH (*absolute grant channel*)
- E-HICH (*E-DCH hybrid ARQ channel indicator*)
- E-DPCCH (*E-DCH dedicated physical control channel*)

- F-DPCH (*fractional DPCH*)

El canal E-DCH, se utiliza para transportar los bloques de datos para cada TTI (*transmission time interval*). Este canal puede ser configurado simultáneamente con uno o más DCH. De este modo la transmisión de datos de alta velocidad puede ocurrir al mismo tiempo y en el mismo UE como los servicios que utilizan el estándar DCH. Debido a que uno de los requisitos fundamentales de esta tecnología es la baja latencia, el enlace ascendente utiliza TTI de 2 ms de duración, además de uno de 10 ms. La corta duración de los TTI permite la rápida adaptación de los parámetros de transmisión y reduce los posibles retardos.

La manera de determinar el balance entre los TTI se encuentra en que el procesamiento de la capa física es proporcional a la cantidad de datos a procesar, por lo tanto, entre más corto sea el TTI, menor será el nivel de flujo de datos por cada TTI. Sin embargo, para aplicaciones que requieren velocidades de transmisión de datos relativamente bajas, utilizar TTI de 2 ms puede no ser un gasto innecesario de recursos, para estos casos se utilizan tiempos TTI más largos.

El canal E-DPDCH se utiliza para transportar los datos de usuario del enlace ascendente. Cada UE puede transmitir hasta en cuatro canales E-DPDCH con un factor de ensanchamiento de SF256 a SF2. El número de canales E-DPDCH y sus factores de dispersión varían de acuerdo a la velocidad de transmisión de datos requerida. Por ejemplo, si necesita una velocidad de transmisión de 2 Mbps, entonces, necesitará utilizar dos SF2 E-DPDCH.

El canal E-DPCCH se utiliza para transportar los datos de control requeridos por el nodo B para decodificar los canales de enlace ascendente que incluye el indicador E-DCH que indica el tamaño del bloque, la retransmisión, el número de secuencia, entre otros.

El canal E-AGCH configura el límite absoluto de los recursos de energía, es decir, el máximo gasto de energía permitido por cada UE. El canal se utiliza para enviar planificación de gastos, desde el administrador de recursos hacia la UE, esto con el objetivo de controlar cuándo y qué tipo de datos puede utilizar cada UE. El canal E-AGCH, únicamente es enviado por un solo nodo B sin importar el número de UE que se están comunicando con él. El nodo B utilizado tiene la responsabilidad de planificar los recursos de energía. Este canal es utilizado para transmisiones con grandes cambios en la velocidad de datos.

El canal E-RGCH se utiliza para mover el UE dentro de la planificación de recursos. Este canal se utiliza generalmente para transmisiones con cambios relativamente pequeños durante una transmisión de datos.

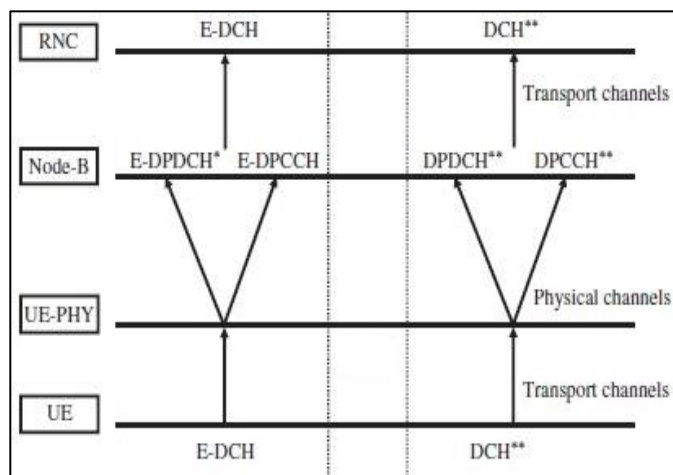
El canal E-HICH se utiliza para proporcionar el acuse de recibo, cuando los datos del UE son recibidos por el nodo B. En la figura 3 se observa el diagrama de los canales HSUPA.

Dentro de las características principales de la tecnología HSUPA se encuentran:

- Incremento de la tasa de transmisión de datos para el enlace ascendente.
- Disminución de latencia.
- Mejora en la capacidad del sistema.

- Soporte para el tipo de modulación BPSK.
- Utilización de un enlace ascendente no-ortogonal.
- Soporte para técnicas de modulación de alto orden.
- Nuevas técnicas de control de acceso al medio.
- Transmisión de código múltiple.
- Soporte para la técnica FHARQ.
- Capacidad, en el canal ascendente, de soportar cierto nivel de interferencia. Este nivel es proporcional a la potencia recibida por la UE.
- Soporte de la técnica *fast scheduling*.
- Utilización de las técnicas de multiplicación TDM y CDM.

Figura 3. **Canales HSUPA**



Fuente: Ceres UGR. <https://www.>

<http://ceres.ugr.es/~alumnos/tutorialcfcm/images/fig35.jpg>. Consulta: 20 de abril de 2016.

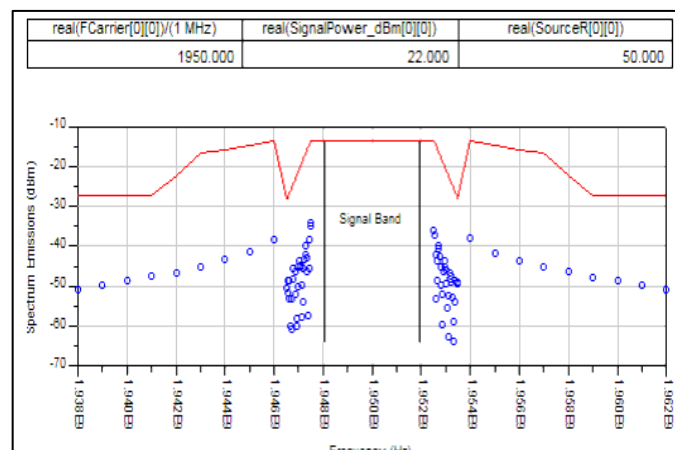
HSUPA puede utilizar dos modos de transmisión: el modo *fast scheduling* y el modo *non-schedule*. El modo de transmisión *fast scheduling* es una técnica dinámica para la asignación de recursos a los usuarios. Por medio de esta



asignación dinámica de recursos se consigue que el HSUPA pueda soportar más usuarios de manera simultánea; con la utilización de esta técnica, también, se consigue una respuesta rápida ante posibles interferencias. El modo *non-schedule*, es un modo de transmisión iniciado automáticamente desde la UE; este modo es utilizado únicamente para los servicios de voz sobre IP, debido a que la tecnología que actualmente manejan los nodos B, no permiten un tiempo de retardo y ancho de banda constantes, y ambos son un requerimiento del modo *non-schedule*. Para el usuario final la utilización de alguno de estos modos de transmisión es transparente ya que las UE ajustan la tasa de transferencia de datos, independiente de cual sea el modo de transmisión utilizado.

En la figura 4 se observa el análisis espectral de la utilización de HSUPA para una frecuencia central de 1900 MHz con una potencia real de 22,00 dBm y una fuente de 50 dB.

Figura 4. **Análisis espectral HSUPA**



Fuente: CP Agilent. <https://www.http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/ads2008/hsupa/3124934/hsupa-6-1-12.gif>. Consulta: 20 de abril de 2016.

En la tabla II se pueden observar las diferentes categorías existentes para la tecnología HSUPA.

Tabla II. **Categorías HSUPA**

Categoría	Cantidad máxima de E-DPDCHS	Factor de dispersión mínimo	Soporte para TTI de 2 ms	Tamaño máximo de bloque (TTI=10 ms)	Tamaño máximo de bloque (TTI=2 ms)	Velocidad máxima en Mbps
1	1	SF4	No	7,110	No	0.7
2	2	SF4	Sí	14,484	2,798	1.4
3	2	SF4	No	14,484	No	1.4
4	2	SF2	Sí	20,000	5,837	2.0 (para TTI=10ms)
						2.9 (para TTI=2ms)
5	2	SF2	No	20,000	No	2
6	2 + 2	2 canales E-DPDCHS para SF2	Si	20,000	11,520	2.0 (para TTI=10ms)
		2 canales E-DPDCHS para SF4				5.74 (para TTI=2ms)

Fuente: elaboración propia.

Posterior a las tecnologías HSDPA y HSUPA, se creó una nueva tecnología: HSPA (*high speed packet access*), esta fue creada mediante la combinación de las 2 tecnologías anteriores, con el objetivo de tener buenas velocidades de transmisión de datos, tanto para el enlace ascendente como para el descendente, de manera simultánea en una misma tecnología.

Con HSPA se obtienen velocidades de transferencia de hasta 14.4 Mbps para el enlace descendente y 2 Mbps para el enlace ascendente. Los fundamentos de HSPA son: la utilización compartida del canal de transmisión,

intervalos de tiempo de transmisión cortos y utilización de 2 diferentes tipos de modulación: 64 QAM para el enlace descendente y 16 QAM para el enlace ascendente. Las características fundamentales de HSPA son las siguientes:

- Uso de modulaciones de alto orden
- TTI cortos
- Uso compartido del canal de transmisión
- Uso de la técnica *Link Adaptation*
- Uso de la técnica *Fast Node B Scheduling*
- No requiere la implementación de portadoras adicionales
- Utilización de WCDMA
- Ancho de banda de 5 MHz y longitud de trama de 10 ms
- Tasa de transferencia de 3,84 Mcps
- Uso del protocolo AMR
- Control de potencia de lazo cerrado de 1 500 Hz

Para el enlace ascendente se utiliza la modulación 16 QAM en lugar de QPSK que permite una mayor velocidad de transferencia de datos aunque en algunos casos (donde no se requiere una alta velocidad de transferencia) aún se utiliza QPSK.

Mediante el uso de la técnica *fast node B scheduling* para el enlace descendente, se logra que el sistema sea capaz de responder a interferencias en el canal y a diferentes condiciones de radio, y acomodar de mejor manera las ráfagas de datos.

Posteriormente, surgió la tecnología HSPA (*high speed packet access*) la cual ofrece una mejora en las tasas de transferencia tanto para el enlace de bajada como para el enlace de subida; las tasas de transferencia son de hasta

14,4 Mbps para el enlace descendente y 2 Mbps para el enlace ascendente; esto se consigue mediante la combinación de las tecnologías HSDPA y HSUPA. Las características más importantes de la tecnología HSPA son:

- Modulación 64 QAM para el enlace descendente
- Modulación 16 QAM para el enlace ascendente
- Uso compartido del canal de transmisión
- TTI cortos
- No requiere la utilización de portadoras adicionales
- Uso de una única portadora WCDMA
- Utilización del protocolo AMR para la codificación de voz
- Control exhaustivo de la potencia necesaria para el enlace ascendente

HSPA ha ido evolucionando con el tiempo, cada nueva mejora se publica bajo un reléase. En el *release 4* se publicó una mejora en cuanto al uso de la PI, centrada en la tecnología de conmutación de circuitos.

En el *release 5* se incluye el núcleo de la misma HSDPA, el cual proporcionó una mejora en la tasa de transferencia de los paquetes de descarga.

En el *release 6* se incluye el núcleo de HSUPA que mejora la tasa de transferencia para los paquetes en el enlace ascendente; adicional bajo este reléase también se publicó la técnica MBMS (*multimedia broadcast multicast services*) que proporcionan servicios de radiodifusión mejorados, es decir, la televisión móvil.

En el *release 7*, se incluye la implementación de la técnica MIMO para el enlace descendente, así como la modulación de orden superior 64 QAM para el

enlace ascendente y 16 QAM para el enlace descendente. Sin embargo, también se especifica que únicamente se permite la utilización de una de las dos técnicas, es decir, ya sea MIMO o la modulación de orden superior. También se introdujeron mejoras de protocolo para permitir que el soporte para conectividad continua de paquetes (CPC).

En el *release 8*, se define la operación de doble portadora, además de permitir el funcionamiento simultáneo de los esquemas de modulación de orden superior y MIMO. Además de esto, se mejora la latencia para mantenerlo en línea con las que se utilizan los requisitos para muchas aplicaciones nuevas. El *release 9*, incluía implementaciones para HPSA incluyendo 2x2 MIMO en el enlace ascendente y un ancho de banda de 10 MHz para el enlace descendente. Los portadores de enlace ascendente pueden ser de diferentes bandas.

En el *release 10*, se publicó la técnica para utilizar hasta 4 portadoras, es decir, el ancho de banda de 20 MHz que puede ser de dos bandas separadas. Además de esto, se publicó la implementación de MIMO 2x2 para el enlace descendente, con lo cual se consiguen tasas de transferencias de datos de hasta 168 Mbps.

En el *release 11* se publica una mejora en el ancho de banda, este puede ser de hasta 40 MHz para el enlace ascendente; también, se publica la posibilidad de utilizar la técnica MIMO 4x4. Para el enlace descendente se incluye el soporte para la modulación 64 QAM y MIMO.

En la tabla III se observan las mejoras implementadas en el enlace descendente.

Tabla III. **Mejoras canal descendente HSPA**

Cantidad de códigos	Modulación Utilizada	Velocidad de transferencia máxima en Mbps
5 códigos	QPSK	1,8
5 códigos	16 QAM	3,6
10 códigos	16 QAM	7,2
15 códigos	16 QAM	10,1
15 códigos	64 QAM	14,4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV se observan las mejoras implementadas en el enlace ascendente.

Tabla IV. **Mejoras en el canal ascendente HSPA**

Cantidad de códigos	TTI en ms	Velocidad de transferencia máxima en Mbps
2 x SF4	2	1,46
2 x SF2	10	2
2 x SF2	2	2,9
(2 x SF2) + (2 x SF4)	2	5,76

Fuente: elaboración propia.

## 1.2. **Requerimientos técnicos y características**

La tecnología HSPA+ (*evolved HSPA*) fue publicada bajo el reléase 7 de 3 GPP. Con esta técnica se consiguen velocidades de transferencia de hasta 84 Mbps para el enlace descendente y 22 Mbps para el enlace ascendente, esto se logra mediante la utilización de la técnica MIMO y de una modulación 64 QAM. Adicionalmente, se introduce una nueva arquitectura opcional llamada arquitectura IP, redes cuyas estaciones base estén conectadas directamente a



un *backhaul* IP y en seguida al enrutador del ISP; adicional HSPA+ permite un ahorro importante de batería y un acceso más rápido al contenido, ya que mantiene una conexión permanente.

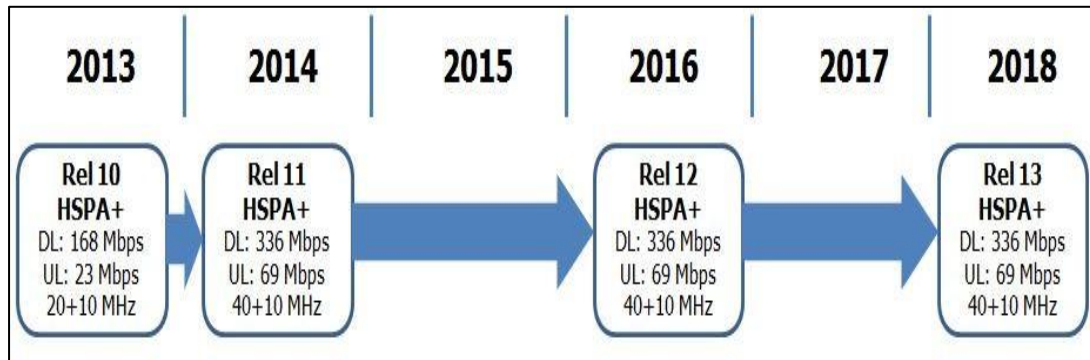
Esta tecnología también ofrece mejoras significativas en cuanto a la duración de la batería. HSPA + es una evolución de HSPA que actualiza la red 3G existente y proporciona un puente a los operadores de telecomunicaciones para migrar hacia la generación 4G, o a LTE, sin la necesidad de implementar una nueva interfaz de radio.

Posteriormente surgió una mejora de HSPA+, denominada *advanced HSPA+*, la cual ofrece velocidades de transferencias de datos de hasta 168 Mbps para el enlace descendente y 22 Mbps para el enlace ascendente. Técnicamente esto se logra mediante el uso de MIMO, y modulación de orden superior (64 QAM) o la combinación de múltiples células en una sola, esta técnica es conocida como *HSDPA dual-cell*. Esta técnica es parte de la especificación 3 GPP release 8. Es la evolución natural de HSPA mediante la agregación de portadoras en el enlace descendente. Las licencias a menudo se publican como 5, 10, o 20 MHz pares de asignaciones espectrales.

La idea básica de la técnica multiportadora es lograr una mejor utilización de recursos y la eficiencia del espectro por medio de la asignación de recursos en conjunto con el equilibrio de carga entre las portadoras del enlace descendente. La utilización de MIMO en combinación con DC-HSDPA permite a los operadores que las células emparejadas pueden operar en dos bandas de frecuencia diferentes.

HSPA+ ha tenido constantes mejoras, en la figura 5 se muestran las diferentes evoluciones de esta tecnología.

Figura 5. Evolución HSPA+



Fuente: 4G Américas. <http://www.4gamericas.org/files/6414/1030/1261/HSPAgraphicWHITE2.JPG>. Consulta: 20 de abril de 2016.

Como se observa en la figura 5, en el *release 10* se incluye la operación de cuatro portadoras y se da la opción de utilizar técnicas MIMO adicionales. Adicional, bajo este *release* también se incluyen optimizaciones para las femto celdas y para las comunicaciones M2M. Con esto se consiguen velocidades de transferencia picos de 168Mbps para en enlace descendente y 23Mbps para el enlace ascendente, con un ancho de banda de 20+10 MHz.

En el *release 11*, se incluye la utilización de ocho portadoras en el enlace descendente, mejoras en temas de latencia, formación de haz para dos antenas y MIMO, optimizaciones en el canal FACH para el manejo de tráfico de tipo smartphone, optimizaciones y transmisiones MIMO de cuatro ramas, modulación 64 QAM para el enlace ascendente y transmisión multi-punto en el enlace descendente. Con esto se consiguen velocidades de transferencia picos de 336 Mbps para el enlace descendente y 69 Mbps para el enlace ascendente, con un ancho de banda de 40+10 MHz. En el *release 12* y *release 13* se tiene estipulado continuar con las mismas velocidades de transferencia de datos con algunas optimizaciones en cuanto al uso del ancho de banda.

Las ventajas más importantes de la utilización de la tecnología HSPA+, son las siguientes:

- Ayuda a explotar todo el potencial de la capa física CDMA antes de pasar a la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de capa física (PHY) de LTE.
- Se logra un rendimiento comparable a LTE en un ancho de banda de canal de 5 MHz.
- Proporciona una interconexión estable con la tecnología LTE.
- Soporte para coexistir en una misma red con la tecnología LTE.
- Permite la operación en modo de conmutación de paquetes para voz y datos, denominado CPC (*continuous packet connectivity*).
- Compatibilidad con dispositivos móviles de tecnologías anteriores.

CPC es una técnica que incluye un conjunto de mejoras que permiten que más usuarios se conecten de forma simultánea a la red y, al mismo tiempo, mejorar la calidad del enlace, especialmente para servicios que requieren velocidades bajas para la transferencia de datos, tales como voz sobre protocolo de internet (VoIP). Para apoyar a CPC, se realizaron las siguientes mejoras en el enlace ascendente y descendente:

- Nuevo formato de ranura DPCCH para el enlace ascendente.
- Nueva compuerta DPCCH para el enlace ascendente.

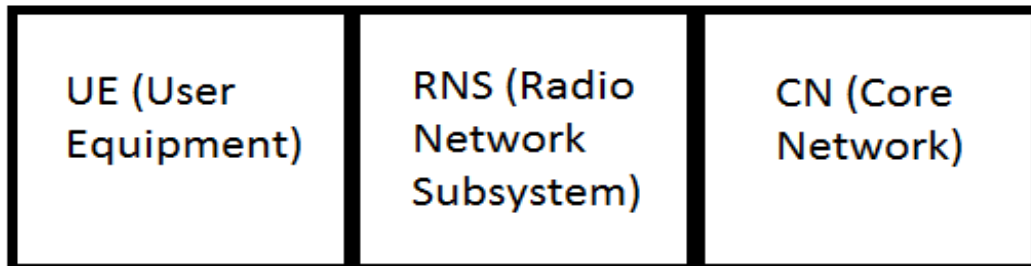
- Modo de transmisión discontinua (DTX) de la UE a la BTS.
- Nueva técnica para la optimización del enlace descendente, llamada *HS-SCCH-less operation*.

*HS-SCCH-less operation* es una técnica utilizada para reducir la sobrecarga de señalización, especialmente para los servicios que utilizan relativamente pequeños paquetes, por ejemplo, VoIP. La primera transmisión HS-DSCH de pequeños bloques de transporte en predefinidas HS-PDSCH se lleva a cabo sin el acompañamiento HS-SCCH. Por consiguiente, el UE tiene cegar-detectar el formato de transporte utilizado en la HS-DSCH. Para ayudar a la UE a identificar si una transmisión HS-DSCH se dirige a él, CRC método de sujeción 2 se define utilizando un CRC de 24 bits en el HS-DSCH enmascarado con el identificador de equipo de usuario (o H-RNTI). Por último, la primera transmisión siempre utiliza QPSK y la redundancia de la versión 0.

### **1.3. Arquitectura de red**

La tecnología HSPA+ basa su arquitectura de red en la arquitectura base de las tecnologías de tercera generación. Es decir, a modo de bloques; su arquitectura está conformada por 3 bloques como se observa en la figura 6.

Figura 6. **Arquitectura de bloques red HSPA+**



Fuente: elaboración propia.

El primer bloque es el UE (*user equipment*), se refiere al equipo con que el usuario se está intercomunicando con la red móvil. El segundo bloque es el conocido como RNS (*radio network subsystem*), es el bloque que permite el acceso al medio a la UE, entre sus principales miembros se encuentran la RNC, nodos B y la interfaz IU. El tercer bloque es el CN (*core network*) o núcleo de red, es el que se encarga de toda la gestión de los servicios para el usuario, entre sus principales componentes se encuentran la MSC, SGSN, GGSN y HLR.

### **1.3.1. UE, *user equipment***

El equipo de usuario o UE es un elemento de la arquitectura HSPA+ 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. El UE se compone de una variedad de diferentes elementos que incluyen circuitos de RF, procesamiento de señales de banda base, antena, batería, etc. 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 IMEI consiste en 15 dígitos agrupados en 4 bloques. El primer bloque es el TAC (*type approval code*) el cual consiste en 6 dígitos, este código es determinado por la red. El segundo bloque es el FAC (*final assembly code*), el cual consiste en dos dígitos, los cuales identifican al fabricante del equipo. El tercer bloque es el SNR (*serial number*), el cual consiste en 6 dígitos, los cuales identifican el número de serie del UE y el cuarto bloque es el SP (*supplementary number*), el cual consiste en un solo dígito, el cual es generado de manera aleatoria a la hora de cargar el número de IMEI en un UE.

El UE también contiene un componente adicional denominada tarjeta SIM (*subscriber identity module*) que contiene información adicional que ayuda a la red a identificar al usuario y a conocer que servicios tienen autorizados así como el estado de UE. Entre esta información se encuentre el IMSI (*international mobile subscriber identity*), así como MSISDN (*mobile station international isdn number*). IMSI es asignado de manera única para cada tarjeta SIM; producida, la estructura de IMSI está dividida en 3 bloques: el primer bloque es el MCC (*mobile country code*) que consiste en un código de 2 o 3 dígitos que sirve para identificar al país al que pertenece la tarjeta SIM, el segundo bloque es el MNC (*mobile network code*) que consiste en 2 dígitos que se utilizan para identifica a la red de telefonía local y el tercer bloque es el MSIN (*mobile station identification number*) que consiste hasta en 13 dígitos y se utiliza para identificar a la EU. MSISDN es el número telefónico asignado al usuario por medio de MSISDN se realiza el enrutamiento de llamadas.

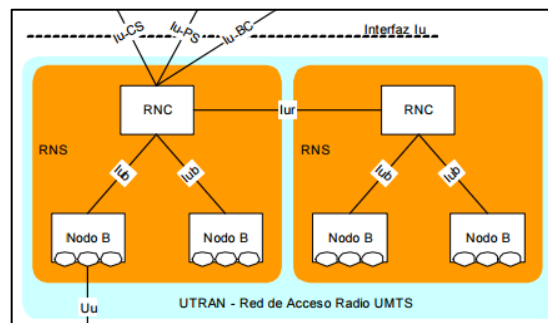
### 1.3.2. RNS, *radio network subsystem*

Este bloque es el encargado de brindar el acceso a la red a todos los UE que estén autorizados para hacerlo. Dentro de este subsistema se encuentran los siguientes elementos e interfaces:

- Nodos B
- RNC (*radio network controller*)
- Interfaz Iu
- Interfaz IuB
- Interfaz Iur
- Interfaz Uu
- Interfaz Iu-CS
- Interfaz Iu-PS
- Interfaz Iu-BC

En la figura 7 se observa la estructura del bloque RNS.

Figura 7. Estructura bloque RNS



Fuente: 4G Américas. <http://www.4gamericas.org/files/6414/RNS.jpg>. Consulta: 20 de abril de 2016.

Esta arquitectura tiene la facilidad de poder trabajar en dos diferentes modos de operación: el FDD y el TDD; difieren únicamente en su forma de transmisión. El modo FDD emplea distintas portadoras para los enlaces ascendente y descendente. El modo TDD emplea una única portadora para el enlace ascendente y descendente, pero con la facilidad de usar esta misma portadora en breves segmentos de tiempo. Por esta razón, el modo TDD, únicamente funciona correctamente en pequeñas distancias, pero con la ventaja de proporcionar velocidades superiores al modo FDD.

#### **1.3.2.1. Nodo B**

El nodo B es el elemento de la red HSPA+ que está conectado directamente al UE. Estos utilizan las técnicas WCDMA/TD-SCDMA como las tecnologías de interfaz aérea. El nodo B consiste en transmisores y receptores, los transmisores manejan las frecuencias de radio y los receptores se utilizan para comunicarse directamente con los UE que se mueven libremente a su alrededor. Los bloques de transmisión y recepción son los encargados de la transmisión y recepción de esta información, esto se realiza mediante un modulador y un demodulador que se encargan de adecuar las señales para su transmisión; las modulaciones utilizadas son QPSK, Dual QPSK y 16 QAM. En este tipo de red celular, los UE no se pueden comunicar directamente entre sí, sino que tienen que comunicarse a través de un nodo B. Normalmente, los nodos B son controlados por la RNC. Sin embargo, también pueden ser manejados de manera lógica.

Básicamente, se puede decir que el nodo B trabaja en el nivel de capa física y sus funciones principales son interconectar los UE con la red de telefonía e interconectarse con varias celdas de manera simultánea para ejecutar tareas como la adaptación de las tasas de transferencia de datos y codificación del canal de transmisión. Adicionalmente, un nodo B puede ser



configurado para realizar tareas como la implementación lógica del esquema de operación y mantenimiento, asignación de códigos de acceso a la red, división de las tramas de datos, generación de estadísticas y reporte de las mediciones de la interferencia, retransmisión de mensajes de información propios del sistema, mapeo de los recursos lógicos y de *hardware* propios del nodo. Existen los siguientes tipos de nodo B:

- UTRA FDD
- UTRA TDD
- Dual Mode

Los nodos B UTRA FDD utilizan diferentes frecuencias, separadas entre sí por 190 MHz, tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente. Las portadoras utilizan un ancho de banda de 5 MHz con una tasa de códigos de 3,84 Mcps, que están divididas en tramas de 10 ms de duración y con 15 intervalos de tiempo cada una. Este tipo de nodo B utiliza la modulación QPSK.

Los nodos B UTRA TDD utilizan la misma frecuencia para el enlace ascendente y el enlace descendente, pero en intervalos temporales diferentes. Dichos intervalos de tiempo pueden ser combinados para funcionar como un enlace ascendente o un enlace descendente, según sea el requerimiento. Existen dos tipos: el HCR (*high chip rate*) y el LCR (*low chip rate*). El tipo HCR utiliza una portadora con un ancho de banda de 5 MHz y una tasa de código de 3,84 Mcps; el tipo LCR utiliza una portadora de 1,6 MHz con una tasa de código de 1,28 Mcps que está dividida en una trama de 10 ms, y está a la vez, se encuentra dividida en 2 tramas de 5 ms cada una, con 7 intervalos temporales cada una. Este tipo de nodos B son capaces de realizar la administración del

control de potencia de lazo cerrado para el enlace de subida y la información de potencia en el enlace de bajada.

Los nodos B *dual mode* son capaces de soportar ambos modos FDD y TDD; esta configuración dependerá de la configuración de red local y de los requerimientos del administrador de red.

Los nodos B están formados por dos entidades lógicas: la primera es la entidad de transporte común, que realiza el transporte común por medio de los canales de transporte comunes, este tipo de transporte es utilizado por los Ue para solicitar el acceso a la red, también, se encarga del transporte de la información de operación y mantenimiento. La segunda entidad lógica es la TTP.

### **1.3.2.2. RNC, *radio network controller***

El controlador de red de radio, (RNC) es un elemento del bloque RNS que se encarga de controlar todos los nodos B que se encuentre conectados a él. Además, una RNC lleva a cabo funciones de gestión de movilidad, gestión de recursos de radio y es el punto donde el cifrado se realiza antes de que los datos de usuario se envíen desde el móvil.

El controlador RNC establece las distintas frecuencias que deberán utilizar los nodos B en sus celdas correspondientes. El CRNC asigna y programa los canales comunes y configura qué códigos serán usados por el canal HS-DSCH y la máxima potencia a utilizar. Además, el CRNC decide si un usuario que está solicitando acceso a una RAN está autorizado, o no, para utilizar los recursos radio de una celda que pertenece a uno de sus nodos B.

Desde el punto de vista de usuario, la RNC, en este caso, fungirá las funciones de un *serving* RNC (SRNC), que realiza la evaluación de los informes sobre las mediciones del UE y con base en los datos obtenidos, decide cual celda será parte del conjunto activo. Adicional, forma la calidad del terminal, la conexión de los usuarios al núcleo de red y la configuración del terminal con lo que se permite los diferentes servicios que el usuario desee utilizar.

Durante la conexión con el UE, este puede moverse y, por ende, cambiar su ubicación geográfica drásticamente; por lo que en algún momento puede necesitar conectarse a una celda que pertenezca a otro RNC. En este caso, el UE necesita ponerse en contacto con la RNC propietaria de las celdas que el UE desea utilizar. En la comunicación, el UE debe mandar un mensaje pidiendo permiso para añadir la nueva celda para el conjunto activo de celdas. Si la CRNC propietaria acepta, el SRNC manda autoriza al UE para que añada la celda a su conjunto de celdas activo; este método convierte al CRNC en un *drift* RNC (DRNC). Un DRNC puede ser utilizado como un SRNC por otro UE al mismo tiempo.

Adicional a todos los tipos de roles anteriores, la RNC para el servicio MBMS (*multimedia de broadcast y multicast*), tiene un rol especial cuya función consiste en decidir si para una celda en específico se utilizan los canales broadcast o los canales unicast. Si se decide utilizar los canales unicast, el funcionamiento de la RNC es normal (tráfico normal); mientras que cuando se utiliza el canal broadcast, la RNC tiene la opción de asegurarse de que los mismos datos sean transmitidos en el entorno de sus celdas (es decir, a todas las celdas adheridas a ella).

Con esto se consigue que el UE pueda realizar la llamada macro diversidad de celdas, que consiste en combinar flujos desde las diferentes

celdas, y con esto el rendimiento del sistema puede ser incrementado. La decisión de utilizar el canal broadcast o unicast es influenciada por el número de UE a la recepción del similar contenido al mismo tiempo en la misma celda. Si hay pocos usuarios pegados a una celda, utilizar un canal unicast es más eficiente; caso contrario si hay muchos usuarios (o en los alrededores de la celda), es más eficiente con el uso de canales broadcast.

Independiente del tipo de RNC configurada, las funciones de las RNC son las siguientes:

- Administración de uno o más nodo B
- Administración de las tramas de datos transferidas
- Intercomunicación entre RNC
- Administración de recursos de transporte de las interfaces lu
- Administración de tráfico sobre canal común
- Administración de la información y horarios del sistema
- *Handover*
- Administración de códigos de canalización
- Generación de los reportes estadísticos
- Control de potencia para los enlaces descendente y ascendente

Para realizar un *handover*, la RNC debe realizar tres tareas: la primera es tomar mediciones que son tomadas por el UE y posteriormente enviadas la RNC. Esas mediciones están basadas en el QoS de la conexión del UE; la segunda tarea consiste, con base en las mediciones, tomar decisiones, si el QoS es muy bajo, es decir el usuario se encuentra en el límite de cobertura de una célula, entonces se toma la decisión de hacer un *handover* a una celda más cercana; la tercera tarea consiste en llevar a cabo el *handover*.

La RNC es la encargada de la administración de los códigos de canalización que son los encargados de identificar a los usuarios de cada célula, con esto facilitar el *handover* de un UE, por medio del cambio del código de aleatorización. La RNC puede utilizar códigos ortogonales o códigos de aleatorización. Cuando los códigos no tienen ninguna relación entre sí, es necesaria la utilización de códigos ortogonales; si los códigos tienen alguna relación entre sí, entonces se utilizan códigos de aleatorización. Es necesaria una administración adecuada de estos códigos ya que una mala administración de los códigos puede generar inestabilidad del sistema, esto debido a que la cantidad de códigos de canalización son limitados. Para un enlace descendente se tienen un total de 2 códigos de aleatorización y 256 códigos de canalización, mientras que para un enlace ascendente se tienen códigos de aleatorización.

En base a las mediciones del QoS de la conexión, la RNC puede ajustar el nivel de potencia del transmisor a un nivel adecuado con el cual se pueda satisfacer el QoS solicitado. La RNC puede gestionar el control de potencia de bucle cerrado el cual se utiliza para compensar las fluctuaciones de la intensidad del canal de radio, y el control de potencia de bucle abierto, el cual se utiliza para ajustar la potencia del enlace descendente.

### **1.3.2.3. Interfaz Iu**

La interfaz Iu, es el medio de enlace para la conexión lógica entre la RNC y el bloque CN, ya sea el sub-bloque de conmutación de circuitos, el sub-bloque de conmutación de paquetes o el sub-bloque de difusión. Esta interfaz es considerada como un punto de referencia lógico, que puede tener varios tipos de implementaciones lógicas, y estos son UTRAN y BRAN, el cual no es más que una implementación física generalizada del concepto UTRAN. Otras de las funciones de la interfaz Iu son:

- La interconexión de las RNC con los puntos de acceso del bloque CN dentro de un mismo PLMN.
- La interconexión de las RNC con los puntos de acceso del bloque CN sin importar el fabricante de alguno de los elementos.
- Facilitar el uso de las mismas RNC, MSC o SGSN dentro de un mismo PLMN.
- Facilitar el intercambio de tecnología de transporte entre las interfaces Iu-PS e Iu-BC.
- Facilitar la evolución independiente de las tecnologías de los bloques CN, RNS y de redes de transporte.
- Facilitar la evolución independiente de las funcionalidades de operación y mantenimiento.
- Soporte para establecer, mantener y liberar las portadoras de acceso de radio.
- Soporte para el servicio *cell broadcast*.
- Soporte para un conjunto de procedimientos generales que no se encuentran relacionados con un UE específico.
- Soporte para la administración de cada UE a nivel de protocolo de señalización de usuario.

- Soporte para la transferencia de mensajes de señalización NAS entre el CN y el UE.
- Soporte para el acceso simultáneo a múltiples CN de un mismo UE.
- Soporte para mecanismos de reserva de paquetes de datos.
- Soporte de varios protocolos de señalización independientes del usado por la interfaz.
- Soporte para función de mensajes de alerta de temprana, SAE.

#### **1.3.2.4. Interfaz lu-CS**

La interfaz lu-CS es una derivación de la interfaz lu que tiene como propósito fundamental servir de enlace lógico para la comunicación entre la RNC y el bloque CN, específicamente con el subbloque de conmutación por circuitos.

Mediante el enlace establecido por la interfaz lu-CS es posible que cada punto de acceso del subbloque de conmutación por circuitos pueda ser conectado a uno o puntos de acceso RNS.

#### **1.3.2.5. Interfaz lu-PS**

La interfaz lu-PS, es una derivación de la interfaz lu que tiene como propósito fundamental servir de enlace lógico para la comunicación entre la RNC y el bloque CN, específicamente con el sub-bloque de conmutación por paquetes.

Mediante el enlace establecido por la interfaz lu-PS es posible que cada punto de acceso UTRAN no deberá estar conectado a más de un punto de acceso CN por cada dominio CN.

#### **1.3.2.6. Interfaz lu-BC**

La interfaz lu-BC es una derivación de la interfaz lu, que tiene como propósito fundamental servir de enlace lógico para la comunicación entre la RNC y el bloque CN, específicamente con el subbloque de mensajes de difusión.

Mediante el enlace establecido por la interfaz lu-PS es posible que, para el dominio de mensajes de difusión, cada punto de acceso UTRAN pueda ser conectado a uno o puntos de acceso CN.

#### **1.3.2.7. Interfaz luB**

La interfaz luB tiene como funciones principales: el soporte de los servicios ofrecidos al usuario final, permitir el transporte de las tramas radio desde el UE hacia la RNC, permitir el control del equipo de radio y la asignación de las frecuencias de radio del nodo B. La interfaz luB se encuentra ubicada entre un nodo B y la RNC. La interfaz luB para la ejecución de sus funciones utiliza el protocolo de señalización NBAP.

#### **1.3.2.8. Interfaz luR**

La interfaz luR tiene como funciones básicas: el soporte para la gestión de los servicios de radio, soporte para el intercambio bidireccional de información del usuario, soporte del servicio *paging* sobre DNRS, reubicación de SRN,



transferencia de la señalización de los enlaces ascendentes y descendentes y el reporte de las medidas sobre recursos dedicados en DRNS. Adicional a lo anterior, la IuR tiene como función primordial el soporte de la comunicación entre dos RNC, esto ayuda a realizar los llamados *soft handover*.

#### **1.3.2.9. Interfaz Uu**

La interfaz Uu se encuentra ubicada entre el bloque RNS y el UE. Básicamente la interfaz Uu es la encargada de transferir el tráfico de usuario proveniente desde los nodos B. El tráfico que transfiere puede ser de voz, datos o de control. Esta interfaz basa su funcionamiento en la tecnología WCDMA.

#### **1.3.3. CN, core network**

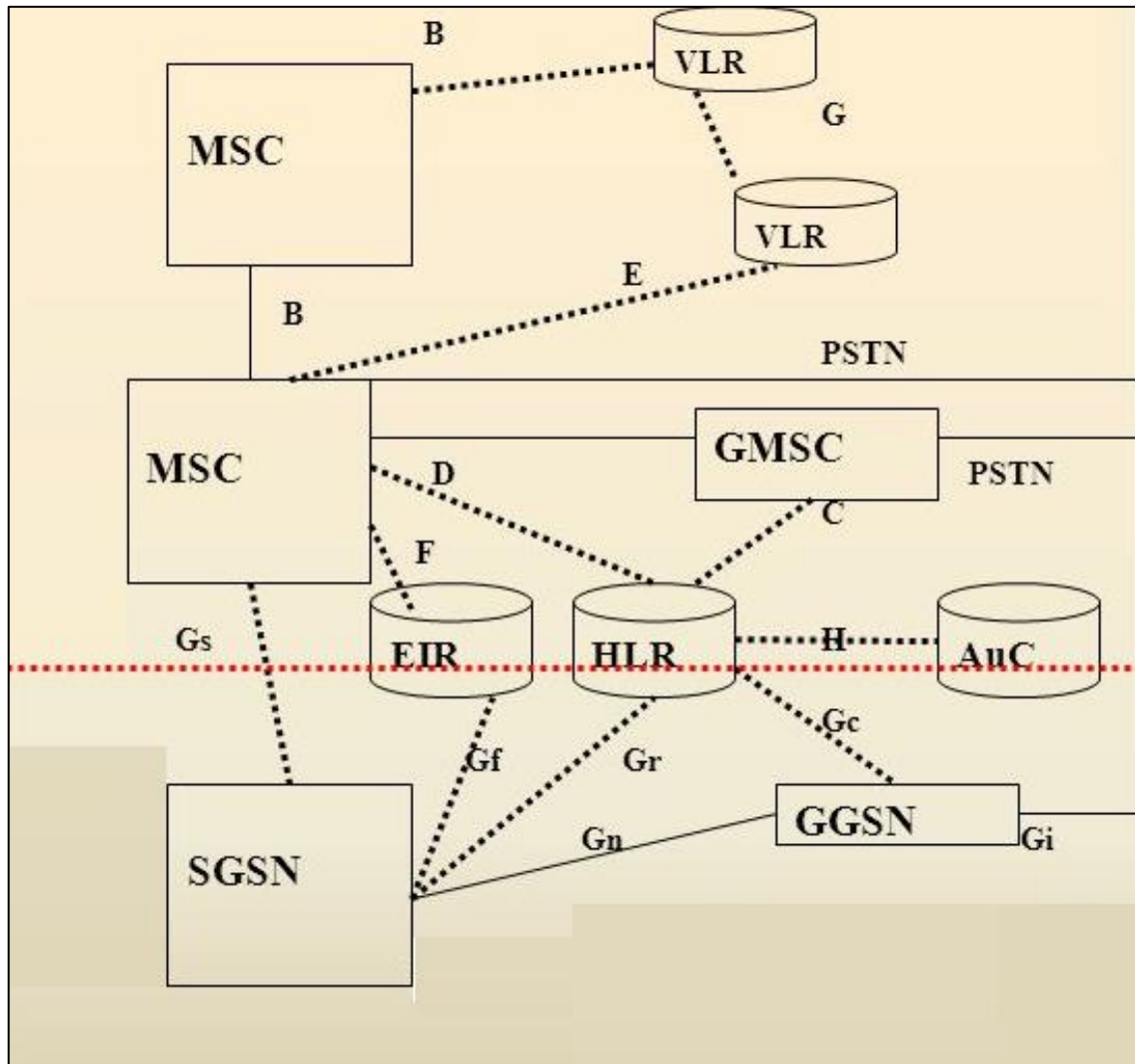
El bloque CN es el encargado de proporcionar los servicios al usuario, así mismo contiene información sobre el abonado: servicios que tiene autorizados, servicios denegados, estado del IMEI, APN válidos, velocidad de transferencia máxima, entre otros. Este bloque es la última línea antes que el usuario pueda acceder al servicio solicitado. Entre los elementos más importantes del bloque CN se encuentra los siguientes elementos:

- MSC (*mobile switching center*)
- SGSN (*serving GPRS support node*)
- GGSN (*gateway GPRS support node*)
- HLR (*home location register*)
- VLR (*visitor location register*)
- EIR (*equipment identity register*)
- AuC (*authentication center*)
- SMSC (*short message service center*)

- MMSC (*multimedia message service center*)
- Interfaz B
- Interfaz C
- Interfaz D
- Interfaz E
- Interfaz F
- Interfaz G
- Interfaz H
- Interfaz Gc
- Interfaz Gf
- Interfaz Gi
- Interfaz Gn
- Interfaz Gr
- Interfaz Gs

En la figura 8 se puede observar la estructura del bloque CN para una red HSPA+.

Figura 8. Estructura bloque CN



Fuente: SlidePlayer. <http://slideplayer.es/slide/1676064/>. Consulta: 20 de abril de 2016.

### 1.3.3.1. MSC, *mobile switching center*

La MSC es el elemento central del sub-bloque de conmutación por circuitos. Una sola MSC puede estar conectada a más de una RNC, es decir, la MSC constituye una interfaz física entre la red fija y los sistemas de radio, es

decir, la MSC puede interconectar a los usuarios de la red móvil con la red fija. Esto mediante la correcta administración de todos los servicios de conmutación de circuitos desde y hacia la radio base. Con base en lo anterior, la MSC está asociada a funciones de conmutación: enrutamientos, establecimiento y finalización de una llamada. Sin embargo, una MSC también puede realizar las siguientes funciones:

- Control de los *handover* de un UE.
- Asignación de un canal de frecuencia.
- Servicio de *paging*.
- Intercambio de señales entre varias interfaces.
- Interconexión con redes ajenas a la red donde se encuentra ubicada.
- Enrutamiento de SMS y MMS.
- Servicio de fax.
- Servicios de llamada de voz, tales como llamada en espera, desvío de llamada, llamada tripartita y conferencias.

Dependiendo de la función que realiza una MSC en un instante determinado, dentro el bloque CN de la red HSPA, esta puede recibir los nombres de GMSC (*gateway mobile switching center*), VMSC (*visited mobile switching center*), AMSC (*anchor mobile switching center*), TMSC (*target mobile switching center*) y MSCS (*mobile switching center server*).

La GMSC es la interfaz en la red conmutada de telefónica pública. Este tipo de MSC es la encargada de determinar cuál es la MSC en la que se encuentra registrado el UE que está siendo llamado. Adicional, también es la encargada de enrutar todas las llamadas de teléfono móvil a teléfono móvil y de PSTN a un teléfono móvil.

La VMSC es el tipo de MSC en donde el usuario se encuentra registrado, su función principal es compartir información del abonado al VLR.

La AMSC es la última MSC en la cual se encuentra registrado un usuario, antes de iniciar un *handover*, en otras palabras, este tipo de MSC es la encargada de iniciar el proceso de *handover*.

La TMSC es la próxima MSC en la cual el usuario se registrará, durante el proceso de *handover*.

#### **1.3.3.2. SGSN, *servicing GPRS support node***

El SGSN es el elemento principal del subbloque de conmutación de paquetes dentro del bloque CN. El SGSN es responsable de la entrega de los paquetes de datos desde y hacia las UE dentro de su área geográfica de servicio. El SGSN trabaja en conjunto con la MSC y el GGSN. La función realizada con la MSC consiste en obtener información sobre el abonado, adicional es el encargado de brindar la autorización al usuario para que pueda navegar a través del GGSN. El registro de localización del SGSN almacena información de ubicación (por ejemplo, célula y VLR actual) y perfiles de usuario (por ejemplo, IMSI, dirección utilizada en la red de datos por paquetes) de todos los usuarios GPRS registrados. Las funciones que realiza un SGSN son:

- Realizar enrutamientos de los UE hacia los GGSN.
- Autenticación de UE.
- Control de la ubicación geográfica de los UE.
- Transferencia de paquetes de información.
- Control de información del abonado.
- Función de túnel entre RNS y GGSN.

- Administración de enlaces lógicos.
- Administración de movilidad.
- Soporte para los procesos de facturación. Esta función depende de la configuración propia del operador de red. Ya que puede ser configurada una facturación unitaria, global o por paquetes de datos.
- Soporte para los procesos de tarificación de servicios.
- Interconexión con el HLR para la actualización de datos del abonado.
- Brindar registro a un UE a la parte de datos.
- Verificación de paquetes de datos activos.
- Validación de direcciones IP asignadas a la UE para la navegación por internet.

Dependiendo de la configuración propia de la red donde se encuentra ubicado el SGSN, este puede tener configurado una serie de servicios auxiliares, tales como *MAP service*, *SGTP service*, *GTPP service* y *SGSN service*.

*MAP service* es el servicio utilizado para el establecimiento de la conexión entre el SGSN y el HLR.

*SGTP service* es el servicio utilizado para el establecimiento de la conexión entre el SGSN y el GGSN. Esta conexión es de vital importancia para el servicio de navegación del UE, debido a que el GGSN antes de permitir la navegación del UE, espera una confirmación de autenticación éxitos de parte del SGSN; sin este mensaje de confirmación, el UE nunca se registrará en el GGSN.

*GTPP service* es el servicio utilizado para soportar todos los procesos relacionados con facturación y tarificación de servicios.

SGSN *service* se utiliza para establecer una conexión hacia la RNC.

#### **1.3.3.3. GGSN, Gateway GPRS support node**

El GGSN es responsable de la interconexión entre la red GPRS y la red externa de paquetes conmutados como Internet y las redes X.25. El GGSN es el elemento final del sub-bloque de conmutación por paquetes, por este motivo es el encargado de brindar el acceso a internet | UE, es decir, realiza las tareas de router y de seguridad.

El GGSN puede brindar diferentes tipos de salida a internet a diferentes UE, dependiendo de la configuración que estos posean y de los permisos de red asignados. Esto se realiza mediante la validación de archivos de configuraciones denominados APN (*access point name*).

Los APN son archivos de configuración precargados en el teléfono mediante archivos denominados *apns-conf.xml*, estos archivos contienen información de todas las compañías de telefonía de varios países. Entonces, al momento de ser ingresada una tarjeta SIM, el móvil verifica el PLMN de la misma y con base en esto configura el APN genérico de dicha compañía telefónica en el país determinado; en algunos casos, se requieren de APN específicos (APN corporativos o de tráfico de información) entonces, la configuración del APN debe ser proporcionada por la compañía telefónica y configurada de forma manual en el UE. Las configuraciones que contiene un APN son el tipo de usuario, nombre de usuario, contraseña de usuario, punto de conexión, tipo de autenticación, Servidor Proxy, puerto del proxy, MCC (*mobile country code*), MNC (*mobile network code*), tasa de transferencia máxima, tipo de protocolo IP local y tipo de protocolo IP en *roaming*.

El tipo de usuario se refiere a la configuración de tarificación del usuario; este puede ser prepago (pago por adelantado), postpago (cobro al final de un periodo de tiempo definido) e híbrido (puede utilizar los servicios de manera prepago o postpago). El nombre de usuario y contraseña son datos asignados por la configuración de la red local. El punto de conexión hace referencia al enlace de salida al cual deberán establecer la conexión. El tipo de autenticación hace referencias al tipo de seguridad que deberá ser autenticada, los más comunes son PAP y STL. El servidor y puerto proxy son configuraciones opcionales, estos campos están determinado por la configuración de red.

El MCC es el campo que identifica al país donde se encuentra el UE y el MNC es el identificador de la red a la que se registró el usuario, estos datos son leídos directamente de la tarjeta SIM. El PLMN resulta de la unión del MCC y MNC. La tasa de transferencia máxima está ligada al punto de red; dependiendo del punto de red, así será la tasa de transferencia máxima que el administrador de red le asignará a un UE. El tipo de protocolo IP local y en *roaming* hace referencia a si el UE está utilizando un protocolo IPv4 o IPv6.

#### **1.3.3.4. HLR, *home location register***

El HLR, es el elemento del bloque CN que almacena la mayor parte de información sobre el abonado y sus suscripciones. Básicamente, el HLR es una base de datos de la información de los abonados activos y registrados en una red. Para una arquitectura HSPA+ se recomienda tener más de un HLR, esto para realizar búsquedas más rápidas y tener una mejor ruta del tráfico de solicitud de información. Para efectuar una búsqueda de la información de un usuario, el HLR utiliza dos identificadores que son IMSI y MSISDN.



La información que el HLR almacena sobre el abonado incluye los siguientes datos: Identificador internacional del usuario, servicios activos, suscripciones activas, servicios restringidos, suscripciones restringidas, información sobre ubicación geográfica, número de estación móvil, servicios suplementarios, MSC activa y VLR activo.

#### **1.3.3.5. VLR, *visitor location register***

El VLR es el elemento del bloque CN que contiene datos temporales sobre un usuario registrado en la red. Adicional, el VLR se encarga de compartir información con la MSC, sobre un usuario visitante (incluso, si el abonado no pertenece a la red local).

La información más importante que almacena el VLR es la ubicación temporal del abonado, esta información le es enviada directamente por la MSC. En caso de que un UE realice un *handover*, la nueva MSC se pondrá en contacto con el VLR para realizar una actualización de posición. El VLR también almacena los siguientes datos: MSISDN, IMSI, MSRN, TMSI y LAI

#### **1.3.3.6. SMSC, *short message service center***

El SMSC es el elemento del bloque CN que tiene por objetivo almacenar, reenviar, convertir y ofrecer el servicio de mensajería de texto corta o SMS. En las especificaciones 3GPP se denomina al SMSC como SMS-SC pero para usos prácticos en las arquitecturas se acordó el nombre de SMSC. El SMSC trabaja bajo el protocolo de mensajería SMPP.

El SMSC está en constante comunicación con la MSC para la entrega y recepción de SMS y con el HLR para conocer si el abonado puede recibir SMS.

Un SMSC puede ser configurado para entregar SMS, SMS de difusión, SMS de información, SMS de publicidad y SMS de alerta. El tipo de SMS de red que puede administrar un SMSC son los siguientes:

- MO-MT (*mobile origen – mobile terminated*). Este tipo de SMS es originado por un usuario y tienen como destino otro usuario de la red de telefonía.
- MO-AT (*mobile origen – application terminated*). Este tipo de SMS es originado por un usuario, pero el destino final es una cuenta del tipo ESME, este tipo de cuentas son administradas por agregadores de contenido.
- AO-MT (*application origen – mobile terminated*). Este tipo de SMS son originados por un agregador de contenidos (cuenta ESME) y tiene como destino final un usuario de la red móvil.

#### **1.3.3.7. MMSC, *multimedia message service center***

El MMSC es el elemento del bloque CN que tiene por objetivo almacenar, reenviar, convertir y ofrecer el servicio de mensajería multimedia. Para que el MMS sea entregado satisfactoriamente, el abonado de destino debe soportar esta característica, sino el MMS será enviado a un servidor externo y el usuario podrá revisarlo mediante el uso de un usuario y contraseña que le serán compartidos vía SMS. El MMSC también puede enrutar los mensajes multimedia hacia una dirección de correo electrónico. Para la entrega de los MMS, es necesario que el UE tenga configurado un APN específico para mensajes multimedia, de lo contrario el MMS nunca saldrá del UE.

Tanto para enviar como para recibir un MMS, es necesario que los abonados tengan una conexión de datos activa y activo el servicio de MMS. Por esta razón el MMSC basa su funcionamiento en la estructura WAP, aunque no el protocolo WAP, es decir, los MMS tienen una estructura de mensajes WAP, pero no se utilizarán mensajes WAP para el envío y la recepción de MMS; existe también la posibilidad de enviar MMS por medio de GPRS, aunque esto afectará en la tarificación del usuario. Debido a que el MMSC está conectado a una red IP (a través del GGSN), para disminuir la posibilidad de sufrir un ataque externo, el MMSC se encuentra ubicado en el bloque conocido como zona desmilitarizada (DMZ por sus siglas en inglés). DMZ consiste en firewalls y routers configurados con direccionamiento estático, para impedir que intruso a la red pueda acceder a los nodos fuera de esta zona.

#### **1.3.3.8. AuC, *authentication center***

El AuC es el elemento del bloque CN cuya función principal es realizar los procesos de autenticación de la UE este proceso es de vital importancia ya que ayuda a evitar robos o fraudes, por medio de la clonación de las tarjetas SIM. Si el AuC determina que la autenticación no es exitosa, el UE nunca tendrá acceso a los servicios de la red. El proceso de autenticación es realizado mediante la validación de una clave de identificación denominada KI que es única para cada usuario registrado en la red.

KI se utiliza para verificar la IMSI, esto es posible ya que cada tarjeta SIM tiene incluida su propia clave KI desde el momento de su fabricación. Adicional, se realiza un proceso de combinación entre la clave KI y la IMSI para genera una segunda clave es utilizada para cifrar todo el contenido que sea transmitido hacia y desde el UE

### **1.3.3.9. EIR, *equipment identity register***

El EIR es el elemento del bloque CN que se encarga de almacenar el estado de cada uno de los UE registrados a la red mediante el número de IMEI. EIR básicamente es una base de datos que almacena el IMEI de las UE y los asocia con lista de acceso. El EIR realiza una función importante ya que es el elemento que decide si brinda el acceso a la red.

Las listas de acceso son bases de datos que contienen cada una, los números de IMIE de los UE de los usuarios de la red. Estas listas se utilizan para brindar, denegar o monitorear el acceso de todos los UE que los soliciten. Las posibles listas de acceso son las siguientes:

- Lista blanca: contiene los números de IMEI que no se encuentran con ningún tipo de problema, por tal motivo los UE que se encuentren en esta lista tendrán acceso libre para registrarse en la red del operador.
- Lista gris: contiene los números de IMEI que tiene algún tipo de problema menor, por ejemplo, usuarios que han sido reportados por envío de mensajes basuras. Los UE que se encuentren dentro de esta lista de acceso tendrán acceso a la red, pero el mismo estará siendo monitoreado constantemente.
- Lista negra: contiene los números de IMEI que han sido reportados como robados y/o perdidos, números que han sido utilizados para crímenes, extorsiones, fraudes, robos, o que la marca o el modelo del teléfono no es admitido por la red local. Es decir que los UE que se encuentren dentro de esta lista nunca tendrán acceso a la red del operador.

#### **1.3.3.10. Interfaz B**

La interfaz B se encuentra ubicada entre una MSC y su VLR asociado. Esta interfaz tiene como función principal transportar solicitudes de ubicación geográfica de un UE desde la MSC hacia el VLR, y posteriormente transportar la respuesta desde el VLR hacia la MSC. Adicional, por medio de la interfaz B, también se envía la siguiente información desde la MSC al VLR: actualización geográfica, activación de servicios suplementarios y modificación y atributos; las dos últimas se envían al VLR para que este a su vez lo comparta con el HLR.

#### **1.3.3.11. Interfaz C**

La interfaz C se encuentra ubicada entre la MSC y el HLR. La función principal de la interfaz c es transmitir solicitudes de información desde la MSC hacia el HLR; este proceso se realiza siempre que existe una llamada o un mensaje de texto corto que tenga como destino un suscriptor registrado a la red del operador local.

#### **1.3.3.12. Interfaz D**

La interfaz D se encuentra ubicada entre el HLR y el VLR. La función principal de la interfaz D es la transferencia de solicitudes y respuestas de información del UE; las solicitudes transmitidas son para conocer la ubicación y la información de administración del usuario. Para una llamada de voz, el VLR enviar la localización del UE al HLR y este a su vez le contesta con toda la información necesaria para que soporte al UE.

#### **1.3.3.13. Interfaz E**

La interfaz E se encuentra ubicada entre 2 MSC. La función principal de esta interfaz es soportar toda la comunicación entre varias MSC dentro de la misma arquitectura de red. Esta interfaz desempeña un papel importante para la correcta ejecución de proceso de *handover* ya que transmite toda la información del UE entre la actual y la próxima MSC. Para realizar esta función, la interfaz E utiliza los protocolos MAP e ISUP.

#### **1.3.3.14. Interfaz F**

La interfaz F se encuentra ubicada entre la MSC y el EIR. La función principal de esta interfaz es transportar información sobre el estado actual de un numero de IMEI, es decir, la MSC envía una solicitud de información al EIR y este le devuelve si el UE puede tener acceso a la red debe ser monitoreado o si tiene negado el acceso.

#### **1.3.3.15. Interfaz G**

La interfaz G se encuentra ubicada entre 2 VLR. La función principal de esta interfaz es compartir información del suscriptor entre 2 VLR. La información transmitida consiste en datos del suscriptor y ubicación del UE. La interfaz G utiliza el protocolo MAP/G.

#### **1.3.3.16. Interfaz H**

La interfaz H se encuentra ubicada entre el HLR y el AuC. La función principal de la interfaz H es transferir la información necesaria para realizar el proceso de autenticación. El AuC envía una solicitud de información de IMSI, y

el HLR le responde esta información y al mismo tiempo solicita la clave de cifrado al AuC; posteriormente, este se la envía por medio de la interfaz H.

#### **1.3.3.17. Interfaz Gc**

La interfaz Gc se encuentra ubicada entre el GGSN y el HLR. La función principal de la interfaz Gc consiste en ser una ruta de señalización por medio de la cual el GGSN, pueda solicitar información de ubicación y servicios de suscripción del usuario al HLR. La información que se transmite con más frecuencia, es información sobre paquetes de navegación; el GGSN envía una solicitud para conocer el estado actual del paquete de navegación del usuario, es decir, cuánto lleva consumido para asignarle una dirección para navegación o finalizar el servicio. A la interfaz Gc también se le conoce como interfaz de contexto.

#### **1.3.3.18. Interfaz Gf**

La interfaz Gf se encuentra ubicada entre el SGSN y el EIR. El objetivo principal de la interfaz Gf es brindar el soporte para la comunicación entre el SGSN y el EIR; dicha comunicación sirve para que el SGSN pueda conocer el estado actual del número de IMEI asociado a UE para brindar acceso al subbloque de conmutación por paquetes. A la interfaz Gf también se le denomina interfaz de fraudes.

#### **1.3.3.19. Interfaz Gi**

La interfaz Gi se encuentra ubicada entre el GGSN y la nube. El objetivo principal de la interfaz Gi, es servir de enlace entre la nube y el GGSN, es decir,

por esta interfaz deberá pasar todo el tráfico generado por el usuario. A la interfaz Gi también se le conoce con el nombre de interfaz de Internet.

#### **1.3.3.20. Interfaz Gn**

La interfaz Gn se encuentra ubicada entre el SGSN y el GGSN. Su función principal es compartir información del usuario entre el SGSN y el GGSN, siempre y cuando estos dos elementos pertenezcan a la misma red del operador de telefonía local, es decir, el mismo PLMN. A la interfaz Gn también se le denomina interfaz de nodo.

#### **1.3.3.21. Interfaz Gp**

La interfaz Gp se encuentra ubicada entre el SGSN y el GGSN. Su función principal es compartir información del usuario entre el SGSN y el GGSN, siempre y cuando estos dos elementos pertenezcan a una red del operador de telefonía local, diferente; es decir, a diferente PLMN. A la interfaz Gp también se le denomina interfaz de PLMN.

#### **1.3.3.22. Interfaz Gs**

La interfaz Gs se puede encontrar ubicada entre el SGSN y la MSC o entre el SGSN y el VLR. La función principal de la interfaz Gs es enviar información de localización desde el SGSN hacia la MSC o VLR y posteriormente enviar la respuesta hacia el SGSN.



## 2. TECNOLOGÍA LTE

La tecnología LTE (*long term evolution*), es una tecnología conocida como el inicio de la era de 4G o cuarta generación de redes móviles. Aunque en aspectos teóricos, la tecnología LTE no puede ser considerada como una tecnología 4G ya que no cumple con los requisitos de velocidad de transferencia mínimas para los enlaces ascendentes y descendentes.

Las características principales de LTE son la utilización de OFDMA como interfaz de aire para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente. A nivel de arquitecturas, el cambio más notorio es en cuanto al bloque de conmutación de paquetes ya que incluye nuevos elementos en cuanto a la transmisión de datos y tráfico de usuario.

### 2.1. Historia

Debido a la constante evolución de los servicios que utiliza internet para su correcto funcionamiento, las velocidades de transmisión de datos máximas proporcionadas por HSPA+ fueron quedando cortas, por lo cual surgió la necesidad de implementar una nueva tecnología móvil, la cual proporcionará mejores velocidades de transmisión de datos para los enlaces ascendente y descendente.

Otros aspectos que influyeron en la urgencia de una nueva tecnología de redes móviles fueron: la necesidad de garantizar la continuidad de la competitividad del sistema 3G, optimización del bloque de conmutación de paquetes, la continua demanda de reducción de costos (CAPEX y OPEX),

disminución de la complejidad de implementación y de operación y mantenimiento y evitar una fragmentación innecesaria de tecnologías para bandas de operación apareadas y no apareadas.

Por estas razones el comité 3GPP se dio a la tarea de iniciar con la creación de una nueva tecnología. En el año 2004, en Japón, el comité NTT DoCoMo, propuso por primera vez la tecnología LTE como un estándar internacional. En septiembre del año 2006, la compañía Siemens en colaboración con la compañía *Nomor Research* demostraron la primera emulación de una red móvil LTE; la demostración incluyó pruebas de *streaming* de datos y pruebas de juegos en línea. Luego, 5 meses después, en febrero del 2007 realizó pruebas con sus equipos compatibles con LTE y por primera vez se logró alcanzar una velocidad pico de 144Mbps, esto fue importante, aunque seguía sin ser una velocidad como la requerida para LTE.

Ese mismo año, en septiembre, nuevamente NTT DoCoMo volvió a hacer mención de LTE; esta vez en sus pruebas alcanzaron velocidades picos de 200 Mbps y adicional demostraron que con LTE se puede consumir una menor cantidad de potencia ya que 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, que recibió el nombre de *SMARTi LTE*.

A principios del año 2008, se realizó una convención para fabricantes de equipo para LTE; en esta convención se dio a conocer mundialmente los aspectos más importantes de LTE. Dicha convención fue denominada como *mobile world congress*, realizada en Barcelona; muchas fábricas presentaron sus equipos compatibles con LTE, pero fue Ericsson quien realizó su prueba de una llamada punto a punto mediante LTE. En la misma convención, Motorola demostró su núcleo RAN para LTE, sus nodos B LTE, denominados eNode B

(*evolved node B*). Adicionalmente, en esta convención se demostraron los siguientes aspectos:

- 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 Smartphones que podía ser utilizado como base para los sistemas de radio definidos por software.
- Las compañías picoChip and Mimoon, en conjunto, desarrollaron una referencia para el diseño de una radio base que funciona sobre una plataforma WiMAX.

Para finales del primer trimestre del año 2008 ya se tenían complemente claras las especificaciones de la tecnología LTE, pero aún seguía existiendo el problema de las velocidades de transferencia cuando el usuario se encuentra en movimiento, por esta razón 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, nuevamente Motorola realizó pruebas con sus equipos; 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 febrero del 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 que soportaba la interoperabilidad de las tecnologías 2G, 3G y LTE, y Motorola hizo un *drive test* sobre una banda de 700 MHz.

En julio del 2009, 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, otorgo 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 cúspide 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.

El 14 de diciembre de 2009, 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 el enlace descendente y hasta 25 Mbps para el enlace ascendente. A esta red erróneamente se le denominó 4G, de allí surge el mito que LTE es una red 4G, lo cual es totalmente falso. Posteriormente, en mayo del 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 una 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 el enlace descendente y 35 Mbps para el enlace ascendente, pero el proyecto se quedó estancado hasta 2012. El 6 de mayo de 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.

## **2.2. Requerimientos técnicos y características**

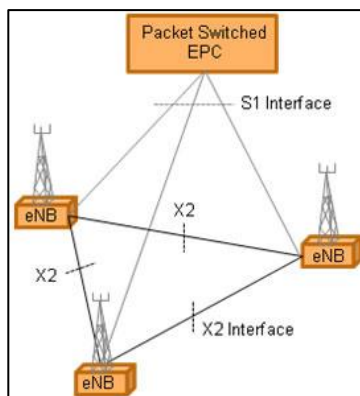
Oficialmente, la tecnología LTE fue introducida en el release 8 de 3GPP, incluida en la parte de EPS (*evolved packet system*). Los principales requisitos para esta nueva red de acceso son: alta eficiencia espectral, altas velocidades de transferencia de datos para ambos enlaces (ascendente y descendente), así como flexibilidad en la utilización de bandas de frecuencia y ancho de banda.

ESP se basa puramente 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. En LTE, el acceso a red se basa en OFDMA (*orthogonal frequency division multiple access*) y en combinación con una modulación de orden

superior (hasta 64 QAM), 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 enodo B, con lo cual se consigue una arquitectura plana, tal como se muestra en la figura 9. 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. La razón para la distribución de la inteligencia entre las estaciones base en LTE es para 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.

Figura 9. **Red de acceso LTE**



Fuente: 3GPP. <http://www.3gpp.org/local/cache-vignettes/L270xH296/fig02-e5500.jpg>. Consulta: 20 de abril de 2016.

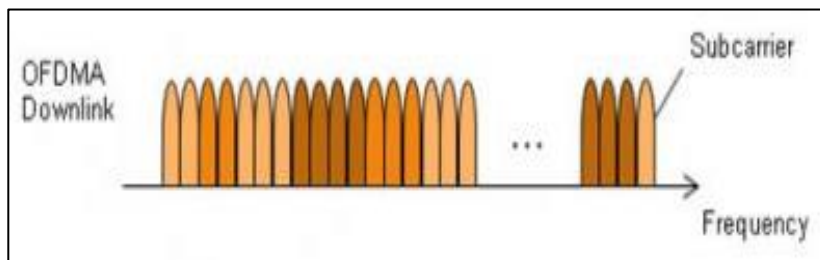
Otra ventaja de la red de acceso simplificada de LTE consiste en que la capa de protocolo MAC, que es responsable de la programación, está representado únicamente en el UE y en la estación base, esto permite mejora la velocidad de la comunicación y la toma de decisiones entre el enodo B y el UE. El *scheduler* es un componente clave para alcanzar un rápido ajuste y eficiencia en la utilización del recurso e radio, por esta razón el TTI únicamente puede ser configurado como 1 ms. Durante cada TTI el planificador de un enodo B deberá realizar las siguientes tareas:

- Considerar el entorno de radio físico por cada UE. 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.
- Dar prioridad a los requerimientos de QoS entre los UE. 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.
- Informar a los UE de los recursos de radio asignados y los planes de los eNodos B tanto en el enlace descendente como para el enlace ascendente. 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 enviado en el canal, por lo tanto, 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*), en la figura 10 se puede observar el espectro en el dominio de la frecuencia de esta tecnología. Para el enlace ascendente se seleccionó la técnica SC-FDMA (*single carrier - frequency division multiple access*); también se le conoce como DFT (*discrete fourier transform*), en la figura 21 se observa el espectro en el dominio de la frecuencia.

Figura 10. **Espectro OFDMA**

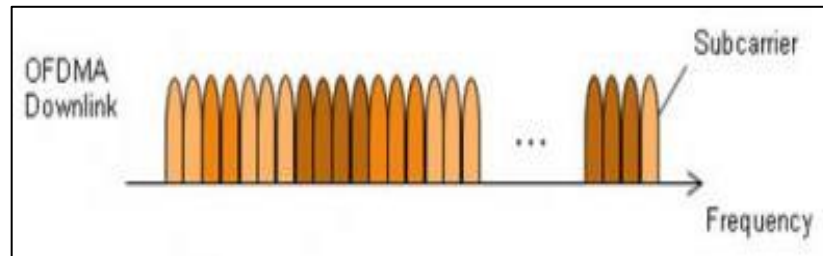


Fuente: 3GPP. [http://www.3gpp.org/local/cache-vignettes/L270xH296/OFDMA\\_Es .jpg](http://www.3gpp.org/local/cache-vignettes/L270xH296/OFDMA_Es.jpg).

Consulta: 20 de abril de 2016.



Figura 11. Espectro SC-FDMA



Fuente: 3GPP. <http://www.3gpp.org/local/cache-vignettes/L270xH296/SCFDMA% .jpg>.

Consulta: 20 de abril de 2016.

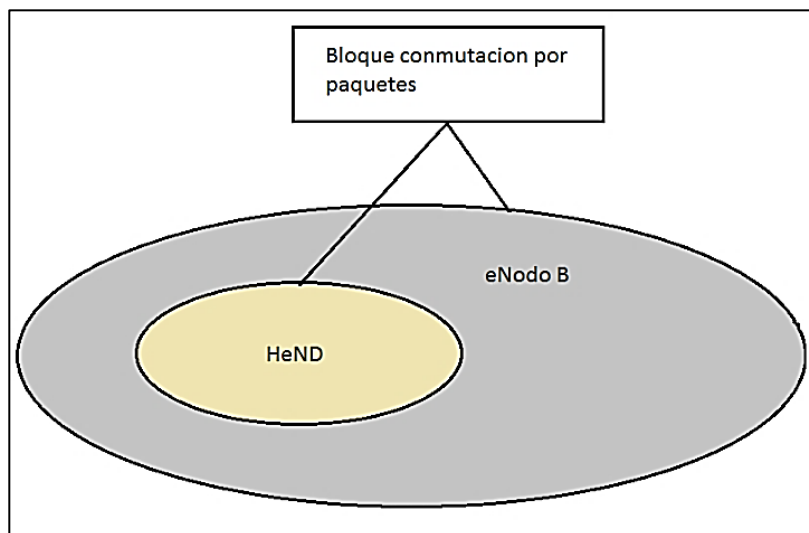
OFDM es una tecnología multiportadora, que divide el ancho de banda disponible en varias subportadoras ortogonales de banda estrecha mutuas entre sí. En OFDMA estas subportadoras pueden ser compartidas entre varios usuarios. La utilización de OFDMA conduce a un alto PAPR (*peak-to-average power ratio*) que requieren la utilización de costos amplificadores con altos requisitos de linealidad; 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 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 Enode B*. 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, hogares, edificios u oficinas. HeNB es un eNode B de

baja potencia que se utiliza en pequeñas células. En la figura 12 se observa el funcionamiento de los HeNB.

Como se observa en la figura, un enodo B y un HeNB pueden funcionar y existir bajo una misma zona de cobertura sin interferirse. Aunque no tienen comunicación directa, pueden intercomunicarse por medio del bloque de conmutación por paquetes. Adicional, si el usuario ingresa al área de cobertura de un HeNB, el UE envía una notificación que 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.

Figura 12. **Funcionamiento HeNB**



Fuente: elaboración propia.

## 2.3. Arquitectura de red

La arquitectura de red LTE está basada en su mayoría en una red 3G, manteniendo así los bloques básicos; la mayor parte de los cambios se encuentra en el bloque de conmutación por paquetes ya que se incorporan varios nuevos elementos que conllevan el mejoramiento en las tasas de transferencia de datos. LTE se encuentra dividido en los siguientes 3 bloques:

- Bloque UE (*user terminal*)
- Bloque EUTRAN (*evolved umts terrestrial radio access network*)
- Bloque EPC (*evolved packet core*)

### 2.3.1. Bloque UE

La arquitectura interna del bloque UE en LTE es idéntica a la utilizada por UMTS y GSM. En LTE el bloque UE se encuentra compuesto por los siguientes módulos importantes:

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

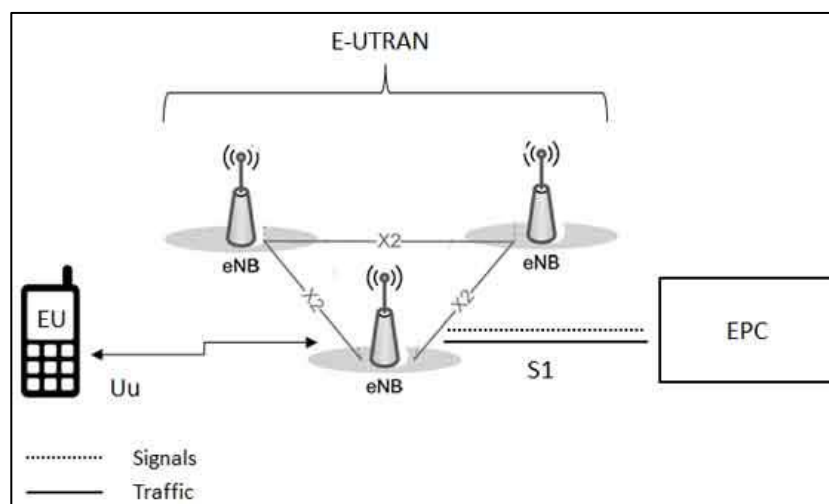
Respecto a la UICC, mejor conocida como tarjeta SIM, sigue siendo el mismo esquema de funcionamiento que en HSPA+; la única diferencia es que con la introducción de LTE, también, se introdujeron tarjetas SIM más pequeñas en tamaño, conocidas como Micro SIM y Nano SIM; técnicamente hablando, se les conoce como tarjeta SIM 3FF (Micro SIM) y tarjeta SIM 4FF (Nano SIM).

### 2.3.2. Bloque EUTRAN

El cambio más significativo en este bloque, con respecto a HSPA+, es la sustitución de los nodos B por los eNodos B. El bloque EUTRAN es responsable de la completa gestión de radio. El bloque EUTRAN se encuentra compuesto por eNodos B y la interfaz X2.

La función básica del bloque EUTRAN es compartir información y tráfico de datos entre el bloque UE y el bloque EPC. En la figura 13 se observa la estructura del bloque EUTRAN.

Figura 13. Bloque EUTRAN



Fuente: Tutorial Points. [https://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte\\_e\\_utran.jpg](https://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte_e_utran.jpg). Consulta: 20 de abril de 2016.

### **2.3.2.1. eNodo B (eNB, *evolved node B*)**

Un eNodo B es la evolución de un Nodo B en HSPA+. Cada eNB puede soportar varios usuarios conectados en más de una celda. Los eNB pueden compartir información entre sí, por esta razón los eNB dentro de una misma arquitectura se encuentran interconectados mediante la interfaz X2. Adicionalmente, se encuentra conectados al MME mediante la interfaz S1-MME y al SGW por medio de la interfaz S1-U, aunque para fines de simplificación se dice que los eNB se conectan al bloque EPC mediante la interfaz S1.

Para la comunicación entre los eNB y los UE se utilizan los protocolos denominados Protocolos AS. Cuando el UE se encuentra registrado a la red, los eNB son los responsables de la gestión de recursos de radio, control de admisión a los recursos de radio, asignación de la ruta para los enlaces ascendentes y descendentes al UE. Cuando un paquete llega desde el UE al eNB deberá comprimir el encabezado IP y encriptar el flujo de datos. También es responsable de añadir una cabecera de GTP-U a la carga útil y de enviarlo al SGW. eNB es responsable de la elección de una función de selección utilizando MME. Adicionalmente, un eNB cumple con las siguientes funciones:

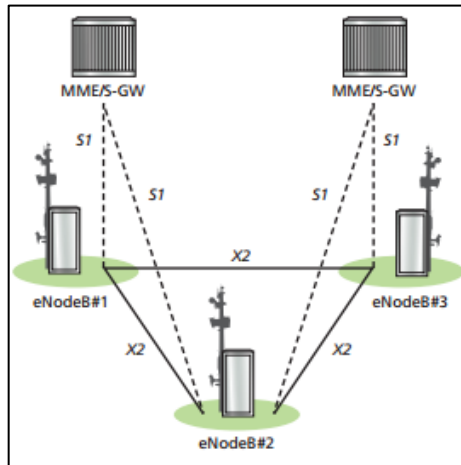
- Conectividad con el bloque EPC. Esta función básicamente es la señalización hacia la MME y la ruta portadora hacia el S-GW.
- Programación y transmisión de mensajes de búsqueda.
- Programación y transmisión de mensajes de difusión.
- Asignación eficiente del tipo y nivel de la portadora.
- Seguridad en la transmisión de datos.
- Cifrado de los datos transmitidos así como información de usuario.

LTE integra la función de controlador de radio en todos sus eNB. Esto permite una ajustada interacción entre las diferentes capas de protocolo de la red de acceso radio, reduciendo así la latencia y mejorando la eficiencia. Con esto se logra eliminar la necesidad de una alta disponibilidad, un controlador de procesamiento intensivo, adicionalmente se consigue una reducción de costos y reducción de los puntos únicos de fallo. Por otra parte, como LTE no es compatible con la función *soft handover*, entonces, no hay necesidad de implementar una función centralizada de datos combinados en la red.

Una de las consecuencias de no contar con un controlador centralizado es que, al momento que los UE se muevan, la red deberá transmitir toda la información relacionada con el UE, es decir, los contextos UE conjuntamente con los datos temporales almacenados en sus Buffer, de un eNB a otro eNB; por lo tanto, LTE necesita un mecanismo adicional para evitar la pérdida de datos durante este traspaso de información, dicho mecanismo es implementado en la interfaz X2.

Una de las principales características de la interfaz S1 es la denominada S1 *Flex*, por medio de esta característica, varios nodos EPC (pueden ser MME o SGW) puede servir a un área geográfica común, siempre y cuando sean conectados por una red de malla, configurada por el conjunto de eNB situados en esa zona. Un eNB puede entonces, ser atendido por varios MME / SGW; esto se muestra en la figura 14.

Figura 14. **Interconexión eNB – MME/S-GW**



Fuente: CSE Education [http://www.cse.unt.edu/rdantu/FALL\\_2013\\_WIRELESS\\_NETWORKS/LTE\\_Alcatel\\_WhitePaper](http://www.cse.unt.edu/rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_WhitePaper). Consulta: 20 de abril de 2016.

El conjunto de nodos MME/S-GW que funcionan en un área común se denominan como *pool* MME/S-GW, y el área cubierta por un grupo de nodos MME/S-GW se denomina *pool area*. Estos conceptos permiten a los UE en la célula o células controladas por un eNB, ser compartidos entre múltiples nodos CN, proporcionando la posibilidad de compartir la carga y también la eliminación de puntos únicos de fallo de los nodos CN. El contexto del UE normalmente permanece con el misma MME siempre y cuando se encuentre dentro del mismo *pool area*.

### 2.3.3. Bloque ECP

El bloque ECP (*evolved packet core*) es la evolución del CN de HPSA+. ECP proporciona al usuario conectividad IP a un PDN para acceder a Internet, así como para el funcionamiento de servicios como voz sobre IP (VoIP). Un portador ECP se asocia típicamente con un QoS. Múltiples portadores se

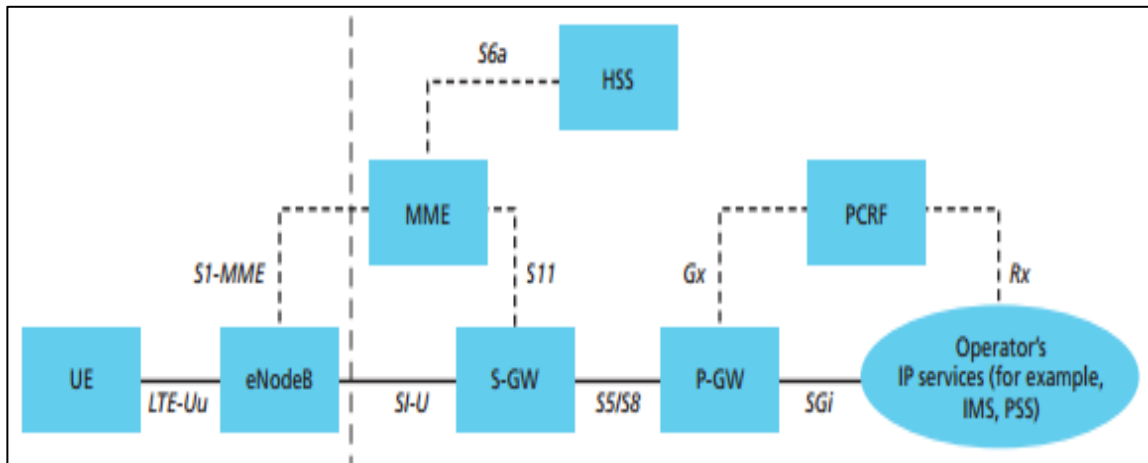
pueden establecer para un usuario con el fin de proporcionar diferentes flujos de QoS o conectividad a diferentes PDN. Por ejemplo, un usuario podría estar realizando una llamada de voz sobre IP (VoIP) y al mismo tiempo estar navegando en internet; para este caso un portador VoIP proporcionaría el QoS necesario para la llamada de voz sobre IP, mientras que otro portador QoS sería utilizado por la navegación en internet. El bloque EPC se encuentra conformado por los siguientes elementos:

- 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
- Interfaz SGi

En la figura 15 se observa la estructura del bloque EPC para una red LTE.



Figura 15. Estructura bloque EPC



Fuente: CSE Education [http://www.cse.unt.edu/rdantu/FALL\\_2013\\_WIRELESS\\_NETWORKS/LTE\\_Alcatel\\_White\\_Paper](http://www.cse.unt.edu/rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper). Consulta: 20 de abril de 2016.

### 2.3.3.1. MME, *mobility management entity*

El MME es el nodo de control que 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 HSS y el S-GW, se utilizan protocolos 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 en EPS, se 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. El almacenamiento local de datos de suscripción en el MME permite una ejecución más rápida de procedimientos como establecimiento del portador, ya que elimina la necesidad de consultar el HSS cada vez que se desea obtener una información determinada. Además, el contexto UE también mantiene información dinámica, como la lista de los portadores que se encuentran establecidos y las capacidades de la terminal.

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 liberada durante largos períodos de inactividad de datos. Este es el estado ECM-IDLE. El MME retiene el contexto del UE y la información sobre los portadores establecidos durante estos períodos de inactividad.

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.

### **2.3.3.2. P-GW, *packet data network – gateway***

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. 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 con base en plantillas de flujo de tráfico (TFT). El P-GW lleva a cabo la aplicación de QoS para la tasa de bits garantizada portadores (GBR). 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+.

### **2.3.3.3. S-GW, *servicing – gateway***

Todos los paquetes IP de usuario son transferidos por medio del S-GW. La función principal del S-GW es servir como un ancla local para la movilidad de la información del usuario, cuando el UE se encuentra moviéndose entre diferentes eNB. Otra función del S-GW es retener información sobre los

portadores cuando el UE está en estado inactivo; a este estado se le conoce como *EPS connection management – IDLE*, así como almacenar datos del enlace descendente mientras el MME inicia la paginación del UE para restablecer los portadores

El S-GW es el encargado de realizar algunas funciones administrativas en la red visitada como recopilar información para la tarificación y el cobro por la utilización de algún servicio en específico (por ejemplo, el volumen de datos enviados o recibidos) e interceptación legal. También, sirve como el ancla de la movilidad para el interfuncionamiento con otras tecnologías de tercera generación GPRS y UMTS.

#### **2.3.3.4. HSS, *home subscriber server***

El HSS, consiste en una base de datos que 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). Además, el HSS contiene información dinámica tal como la identidad del MME al que el usuario está actualmente conectado o registrado. El HSS también puede integrar las funciones del centro de autenticación (AUC) que son específicamente para generar vectores y claves de seguridad.

### **2.3.3.5. PCRF, *policy control and charging rules function***

El PCRF es el elemento responsable de la toma de decisiones y el control de políticas, así como de controlar las tarifas y planes basados en la carga de flujo de información; esto lo realiza mediante el apoyo del PCEF (*policy control enforcement function*), que se encuentra ubicado en el P-GW. El PCRF proporciona la autorización del tipo de QoS, esto incluye velocidades de transmisión y el identificador de clase 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 siguientes dos nodos:

- El nodo PDF (*policy decision function*)
- El nodo CRF (*charging rules function*)

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, que 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 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 aplicables 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.

### **2.3.3.6. Interfaces**

Las interfaces que utiliza la tecnología LTE en su arquitectura son la interfaz S6a, interfaz S11, interfaz Gx, interfaz Rx, interfaz SI-U, interfaz S5/S8 e interfaz SGi.

La interfaz S6a se encuentra ubicada entre el MME y el HSS y sirve para transferir datos de información del abonado entre el MMS y el HSS. La interfaz S11 se encuentra ubicada entre el MME y el S-GW y se utiliza para compartir información de y tráfico de usuario. La interfaz Gx se encuentra ubicada entre el P-GW y el PCRF y se utiliza para transportar información sobre las políticas y el control de QoS de un abonado que se encuentre activo. La interfaz Rx se encuentra ubicada entre el PCRF y la nube, se utiliza para el control del flujo de datos. La interfaz SI-U se encuentra ubicada entre los eNB y el S-GW, se utiliza para el transporte de datos y el tráfico de usuario. La interfaz S5/S8 se utiliza para la transferencia de datos y el tráfico de usuario entre el S-GW y el P-GW. La interfaz SGi se localiza entre el P-GW y la nube y se utiliza para transportar tráfico de usuario.

## **2.4. Ventajas y desventajas entre LTE y HSPA+**

Con la evolución de las redes de telecomunicaciones de HSPA+ a LTE, se consiguen las siguientes ventajas:

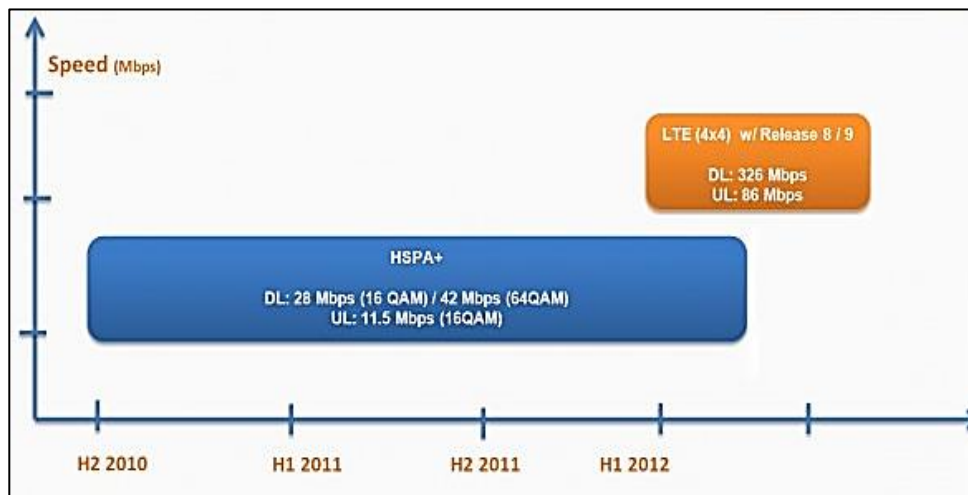
- Mejora de la velocidad de transmisión de datos para el enlace ascendente, de 11,5 Mbps en HSPA+ a 86 Mbps en LTE.

- Mejora de la velocidad de transmisión de datos para el enlace descendente, de 42 Mbps en HSPA+ a 326 Mbps en LTE.
- LTE consigue una mejor eficiencia en cuanto a la utilización del ancho de banda.
- LTE incrementa la seguridad mediante la implementación de políticas de seguridad más estrictas y reglas de verificación de usuario.
- Con LTE se consigue una mejor cobertura, ya que es posible la utilización de femto celdas, con lo que se consigue mejorar la cobertura y la calidad de la señal en la misma.
- Con la tecnología LTE se consigue una mejora en la reducción del tiempo de latencia.
- Las desventajas de la tecnología LTE contra la tecnología HSPA+ son las siguientes:
- Facilidad de implementación. Las tecnologías HSPA+ son de fácil implementación a partir de un Core HSPA ya que no requiera la implementación de muchos elementos de red. La tecnología LTE, por su parte, requiere la implementación total de un nuevo bloque EPC.
- Disponibilidad de terminales móviles. Cuando se inició con el lanzamiento de la tecnología, los dispositivos móviles vendidos no eran, en su mayoría, compatibles con LTE; por esta razón, los usuarios debían cambiar sus teléfonos móviles para poder utilizar las velocidades LTE.

- Los servicios LTE son limitados y en su mayoría requieren la utilización de una gran cantidad de datos de usuario.
- Los radios y modem que utilizan los teléfonos móviles LTE son elementos que consumen una gran cantidad de energía, por esta razón, la duración de la batería del teléfono móvil es menor en comparación con un teléfono diseñado para HSPA+.

En la figura 16 se observa una comparación entre las tasas de transferencia en HSPA+ y LTE.

Figura 16. **Comparación velocidades de transmisión HSPA+ y LTE**



Fuente: Android Authority. <http://cdn01.androidauthority.net/wp-content/uploads/2012/05/HSPA-vs-LTE.jpg>. Consulta: 20 de abril de 2016.



### 3. TECNOLOGÍA LTE-A

La tecnología LTE-A (*LTE – advanced*) es una evolución de la tecnología LTE. LTE-A tiene como objetivo principal proporcionar una mayor capacidad. Según 3GPP en su publicación *release 10*, en la parte de LTE, la evolución de LTE debería proporcionar velocidades de transmisión más altas de una manera rentable y cumplir al mismo tiempo los requisitos establecidos por ITU para una tecnología IMT avanzada; es decir, debe cumplir con los requisitos mínimos de una tecnología 4G.

#### 3.1. Historia

Con la implementación de la tecnología LTE-A se pretende borrar la idea de que la tecnología LTE es 4G ya que, por sus velocidades de transmisión máximas, no cumple con los requisitos mínimos de una tecnología 4 G ya que no alcanza velocidades de transmisión máxima de 1 Gbps. Por esta razón, se inició con el desarrollo para las bases de una nueva tecnología, que se le conoce con el nombre de LTE Advanced que debe ser compatible con todas las bandas de frecuencia LTE ya existentes, así como la arquitectura de red deberá tomar como base la arquitectura LTE existente. Con LTE-A se consiguen velocidades de transmisión de datos teóricas de 3 Gbps para en enlace descendente y 1.5 Bbps para el enlace ascendente, adicional se consigue una mejora en la eficiencia espectral de 16 bps/Hz a 30 bps/Hz.

Durante la investigación de LTE-A, se analizaron varios temas con los cuales se podía mejorar su funcionamiento o los cuales debería de cumplir de manera obligatoria. Dichos temas fueron agrupados en los siguientes grupos:

repetidoras, antenas, redes no estáticas de área local, soluciones para la movilidad y escalabilidad, sistemas de ancho de banda escalables los cuales pueden superar los 20 MHz, flexibilidad en la utilización del espectro, configuración de red automática, operación de red autónoma, optimización del área de cobertura de la interfaz de aire, mejora en la función de precodificación, utilización de las técnicas MIMO, OFDMA y SC-FDMA, ancho de banda asíncrono para FDD.

En 2013, la compañía de telecomunicaciones SK Telecom de Corea probó su versión de LTE-A, pero sus velocidades de transmisión de datos no superaron los 150 Mbps. Ese mismo año en Rusia, la compañía de telecomunicaciones realiza pruebas en su red LTE-A, pero sus velocidades de transmisión pico fueron e 300 Mbps. Varias compañías de telefonía alrededor del mundo realizaron pruebas de sus versiones pilotos de LTE, pero todas fallaron. A finales del 2013 SK Telecom volvió a realizar pruebas, solo que esta vez cambió la UE Samsung por una Nokia; adicional, realizó una combinación de 10 diferentes espectros de frecuencia, esta prueba fue la primera en demostrar la correcta funcionabilidad de LTE-A como una tecnología 4G, ya que se alcanzó una velocidad de transferencia de datos pico de 3,7 Gbps.

En cuanto a las características requeridas por las normas ITU-R M14.57, se tienen: la agregación de portadores (CA, *carrier aggregation*), el uso mejorado de técnicas de antenas múltiples y soporte para nodos de retransmisión (RN, *relay nodes*). Todas estas características están diseñadas para aumentar la estabilidad, el ancho de banda y la velocidad de las redes y conexiones de la tecnología LTE. Lo anterior indica que LTE-A está conformada por una serie de técnicas y tecnologías, pero existen temas que son comunes entre estas como la capacidad de exprimir más bits en cada MHz de frecuencia, unir bandas de frecuencias que se encuentran separadas, hacer un mejor uso

de antenas múltiples y hacer un mejor uso de las estaciones radio base y las células para proporcionar una cobertura más amplia.

### **3.2. Requerimientos técnicos y características**

Acorde a las normas ITU-R M14.57, para una red 4G, se tiene que LTE-A debe cumplir con los siguientes requerimientos:

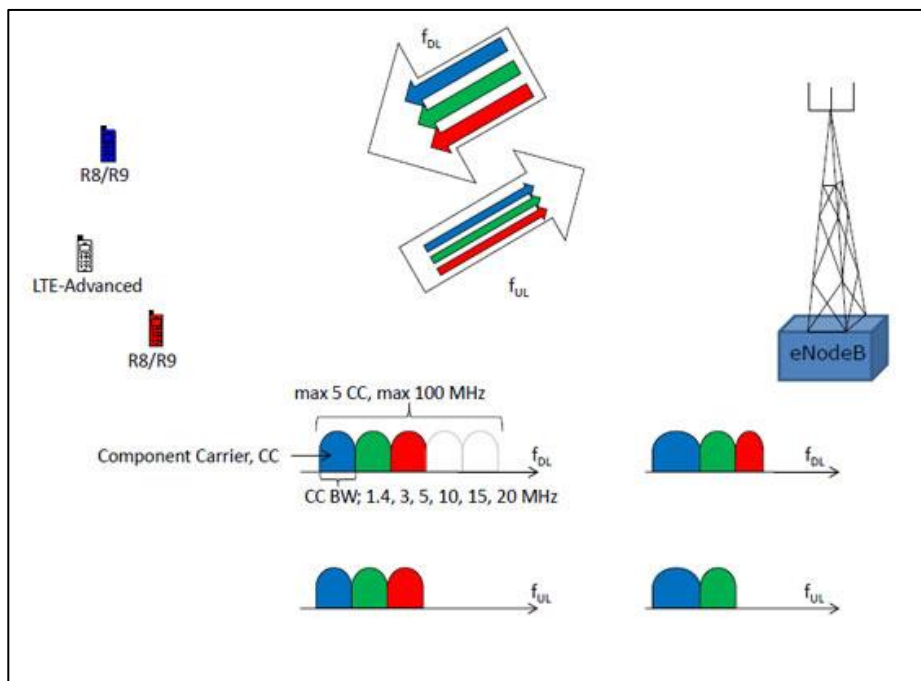
- Velocidades de transferencia de datos mínimas de 1Gbps.
- Aumentar la capacidad mediante el soporte para la tecnología CA (*carrier aggregation*).
- Soporte para el uso de técnicas de acceso múltiple.
- Soporte para utilización de múltiples antenas.
- Soporte para la tecnología RN (*relay node*).
- Escalabilidad en cuanto al uso del ancho de banda.
- Flexibilidad en la utilización del espectro.
- Configuración automática de la red.
- Autonomía de red.
- Soporte para las técnicas OFDMA y SC-FDMA.
- Soporte para la técnica CoMP (*coordinated multi point operation*)

En cuanto a los requisitos de velocidad de transmisión, estos fueron alcanzados mediante técnicas de combinación de bandas de frecuencia.

La forma más sencilla de aumentar la capacidad es añadir más ancho de banda. Dado que uno de los requerimientos de la ITU para LTE-A es mantener la compatibilidad con los dispositivos publicados en los *release 8* y *release 9*, el aumento del ancho de banda se proporciona mediante la agregación de portadores *release8/release9*. La agregación de portadores puede usarse tanto

para FDD como para TDD. Cada portador agregado se denomina portador de componente. El portador de componentes puede tener un ancho de banda de 1, 4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz y puede agregarse un máximo de cinco portadores de componentes. Por lo tanto, el ancho de banda máximo es de 100 MHz. El número de portadores agregados puede ser diferente para los enlaces descendente y ascendente, sin embargo, el número de portadores de componentes en el enlace ascendente nunca puede ser mayor que el número de portadores de componentes en el enlace descendente. Los portadores de componentes individuales también pueden tener anchos de banda diferentes como se observa en la figura 17.

Figura 17. **Técnica CA (*carrier aggregation*)**



Fuente: Android Authority. <http://cdn01.androidauthority.net/wp-content/uploads/2012/05/LTEA.jpg>. Consulta: 20 de abril de 2016.

Como se observa en la figura 17, por medio de la técnica CA, en el modo FDD *release 10*, el UE puede tener asignados hasta cinco portadores de componentes, todos pueden tener un diferente ancho de banda; mientras que los UE bajo *release 8* o *release* pueden asignar recursos a cualquier de los portadores de componentes.

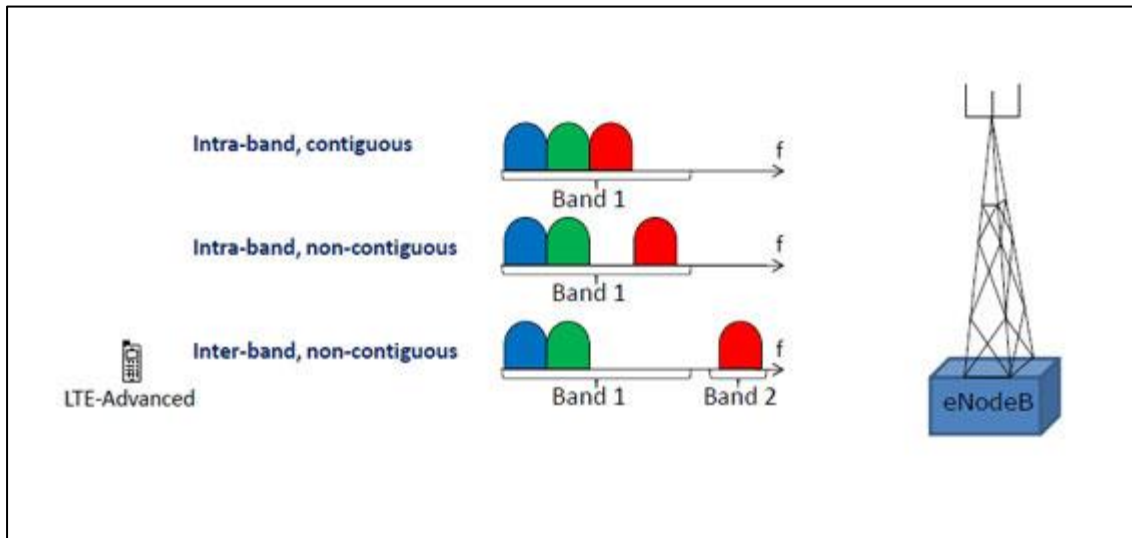
Por razones prácticas, las diferentes configuraciones de agregación de portadores se introducen en pasos. En el *release 10* hay dos portadores de componentes en el enlace descendente y sólo uno en el enlace ascendente, en el *release 11* hay dos portadores de componentes en el enlace descendente y uno o dos portadores de componentes en el enlace ascendente.

La forma más fácil de organizar la agregación de componentes consiste en utilizar portadores de componentes contiguos dentro de la misma banda de frecuencia de operación, denominada intrabanda contigua, aunque debido a los diferentes modos de asignación de frecuencias, esto no siempre se puede realizar. Para los casos donde no es posible, se utiliza entonces la asignación no contigua de bandas que podrían no ser intrabanda, es decir, los portadores de componentes pertenecen a la misma banda de frecuencia de funcionamiento, pero están separados por un intervalo de frecuencia, o podrían ser interbandas, en cuyo caso los portadores de componentes pertenecen a diferentes bandas de frecuencia. En la figura 18 se observan los diferentes tipos de asignación de contigua de bandas tanto para intrabandas como para interbandas.

Cuando se utiliza CA se debe incluir un número de celda de servicio, una para cada portador de componente. La cobertura de las celda de servicio puede diferir debido a las frecuencias de los portadores de componentes. La conexión RRC es administrada por la celda de servicio primaria, servida por el portador

de componente primario. Los otros portadores de componentes se denominan portador de componente secundario y estos sirven a las celdas secundarias de servicio.

Figura 18. **Asignación de CA para intrabandas e interbandas**



Fuente: Android Authority. [http://cdn01.androidauthority.net/wp-content/uploads/2013/01/CA\\_Bands.jpg](http://cdn01.androidauthority.net/wp-content/uploads/2013/01/CA_Bands.jpg). Consulta: 20 de abril de 2016.

Otra de las características de LTE-A es la utilización de la técnica MIMO (*multiple input multiple output*) que se utiliza para aumentar la tasa de bits global a través de la transmisión de dos (o más) flujos de datos diferentes en dos (o más) antenas diferentes, utilizando los mismos recursos en frecuencia y tiempo, separados únicamente mediante el uso de diferentes señales de referencia, recibidas por dos o más antenas.

Por cada TTI se pueden transmitir uno o dos bloques de transporte. Un cambio importante en LTE-Advanced es la introducción de la técnica MIMO 8x8 MIMO para el enlace descendente y MIMO 4x4 para el enlace ascendente. En

LTE-A, la técnica MIMO puede utilizarse incluso cuando el factor señal/ruido es alto, es decir, la calidad del canal de radio es alta. Para situaciones con un factor señal/ruido bajo, es mejor utilizar otros tipos de técnicas de antena múltiple para mejorar dicho factor. Para poder ajustar el tipo de esquema de transmisión de múltiples antenas, se han definido varios modos de transmisión diferentes (TM, *transmission mode*). A través de la señalización RRC, el UE será informado del modo de transmisión a utilizar. En el enlace descendente se tienen los siguientes nueve modos de transmisión:

- TM1, el cual fue introducido en el *release 8*
- TM2, el cual fue introducido en el *release 8*
- TM3, el cual fue introducido en el *release 8*
- TM4, el cual fue introducido en el *release 8*
- TM5, el cual fue introducido en el *release 8*
- TM6, el cual fue introducido en el *release 8*
- TM7, el cual fue introducido en el *release 8*
- TM8, el cual fue introducido en el *release 9*
- TM9, el cual fue introducido en el *release 10*

Para el enlace ascendente se tienen los modos TM1 y TM2 que fueron introducidos en los *release 8* y *release 10*, respectivamente. Los modos de transmisión difieren entre sí, por el número de capas, los puestos de antena utilizados, el tipo de señal de referencia, el tipo de CRS (*cell-specific reference signal*), el DM-RS (*demodulation reference signal*) o el tipo de pre-codificación utilizado.

Por medio del modo de transmisión TM9, el enlace descendente es compatible con la técnica MIMO 8x8; por medio del modo de transmisión TM2 el enlace ascendente puede soportar la técnica MIMO 4x4, esto siempre y cuando el UE soporte estas técnicas. En el *release 10*, se incluye la categoría UE 8, la

cual soporta el número máximo de multiplexación espacial CC y la técnica MIMO 8x8.

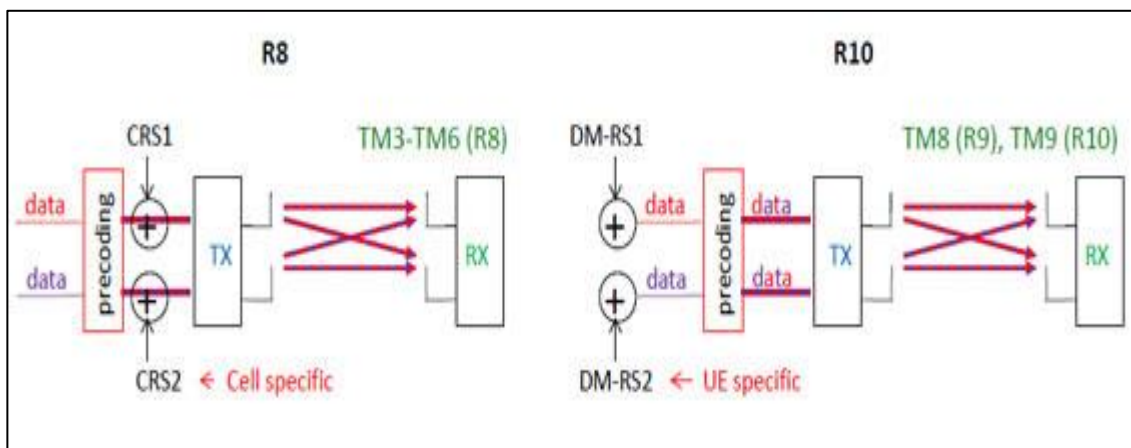
La técnica de precodificación es utilizada para asignar los símbolos de modulación a las diferentes antenas. El tipo de precodificación a utilizar depende de la técnica de antenas múltiples utilizada, así como del número de capas y del número de puertos de antena, gracias a la utilización de la precodificación se consigue una mejor recepción de datos posible en el receptor.

La señal transmitida estará afectada por varios tipos de desvanecimiento que también pueden ser visto como un tipo de codificación causado por el canal de radio. Para poder contrarrestar estos efectos, se transmitirán señales de referencia conocidas, conjuntamente con los datos y que serán utilizadas por el receptor para la correcta demodulación de la señal recibida.

En el *release 8*, se indica que la señal de referencia debe ser añadida a la señal de información, después del proceso de pre-decodificación. A partir de la señal CRS recibida, el UE puede estimar el nivel de interferencia del canal de radio en la señal e información. En el *release 10*, se indica que la señal DM-RS debe ser añadida a la señal de información antes del proceso de precodificación. Los dos tipos de adición de señales de referencia son mostrados en la figura 19.



Figura 19. Adición de señales de referencia en *release 8 y 10*



Fuente: 3GPP. <http://www.3gpp.org/images/lte-a06.jpg>. Consulta: 20 de abril de 2016.

La introducción de la técnica RN (*relay nodes*), permite la posibilidad de planificar una red heterogénea eficiente, mediante la combinación de celdas grandes y pequeñas. Los nodos de retransmisión son estaciones base de baja potencia que proporcionan una mayor cobertura y capacidad en las fronteras de cobertura de las celdas y zonas de alta demanda de tráfico, y también se pueden utilizar para conectar áreas distantes que no tiene una conexión de fibra óptica.

El nodo de retransmisión se conecta al DeNB (*Donor eNB*), mediante la interfaz de radio Un, que la evolución de la interfaz Uu utilizada por EUTRAN. Por lo tanto, en la celda donante, los recursos de radio se comparten entre los UE directamente por el DeNB y los nodos de retransmisión.

Cuando Uu y Un utilizan diferentes frecuencias, el NR se denomina RN 1a, para este tipo de NR existe un alto riesgo de autointerferencia en el NR, provocada por la recepción simultánea de datos por parte de Uu y Un; para

evitar esto, se programa tiempos de transmisión compartido, o la utilización de diferentes ubicaciones de transmisión y recepción. El RN apoyará en gran medida las mismas funcionalidades que el eNB. Sin embargo, el DeNB será responsable de la selección del MME.

En el *release 11*, se introdujo la técnica CoMP (*coordinated multi point*), su objetivo principal es mejorar el rendimiento de la red en las fronteras de cobertura de cada una de las celdas. Con la técnica CoMP, un conjunto de puntos de transmisión TX proporcionan una transmisión coordinada para el enlace descendente y un conjunto de puntos de recepción RX, proporcionan una recepción coordinada para el enlace ascendente. Un punto TX/RX constituye un conjunto de antenas TX/RX co-localizadas que proporcionan cobertura en el mismo sector.

El conjunto de puntos TX/RX utilizados por CoMP puede estar en diferentes ubicaciones o estar ubicados conjuntamente (incluso también puede pertenecer al mismo eNB), pero cada uno de estos proporcionan cobertura a diferentes sectores. La coordinación de los puntos CoMP, puede realizarse tanto para redes homogéneas como para redes heterogéneas.

Cuando dos, o más, puntos TX, transmiten en la misma frecuencia y en la misma subtrama, se denomina transmisión conjunta. Cuando los datos están disponibles para transmisión en dos o más puntos TX, pero sólo se programan desde un punto TX en cada subtrama, se denomina selección dinámica de puntos. Para el enlace ascendente, en CoMP una serie de puntos RX reciben los datos desde un UE y los datos recibidos se combinan para mejorar la calidad. Cuando los puntos TX / RX son controlados por diferentes eNB se puede añadir un retardo adicional, ya que los eNB deben comunicarse para tomar decisiones de programación. Cuando se utiliza CoMP se necesitan

recursos de radio adicionales para la señalización, para proporcionar información de programación de UE para los diferentes recursos de los enlaces ascendentes y descendentes.

### **3.3. Arquitectura de red LTE-A**

A nivel de arquitectura de red, la tecnología LTE-A se basa fielmente en la arquitectura de red de la tecnología LTE. La red LTE-A, al igual que HSPA+ y LTE, se encuentra compuesta por los siguientes bloques:

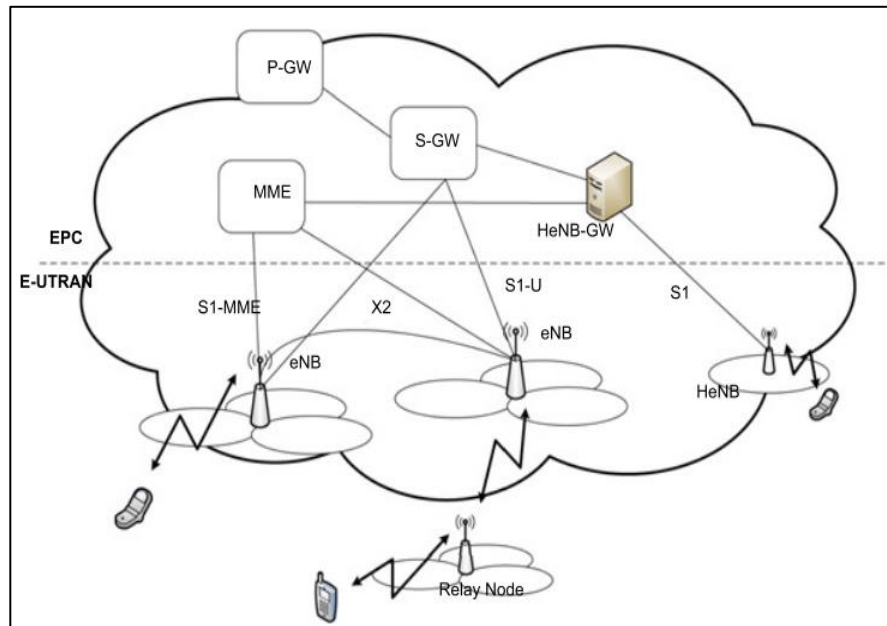
- Bloque UE
- Bloque EUTRAN
- Bloque ECP

Como se observa, los bloques UE: bloque EUTRAN (RNS para HSPA+) y ECP (CN para HSPA+) siguen siendo la estructura base de las redes LTE-A.

En lo que respecta al bloque UE, el único cambio significativo a nivel de red. El único cambio con respecto a LTE consiste en que las terminales móviles deben soportar la tecnología LTE-A como requisito mínimo; es decir, las terminales móviles deben ser categoría UE 6 y para alcanzar velocidades de transmisión óptimas, deben soportar MIMO 8x8 para el enlace descendente y MIMO 4x4 para el enlace ascendente; es decir, las terminales móviles deben ser categoría UE 8.

En la figura 20 se observa la arquitectura de red LTE-A.

Figura 20. **Arquitectura de red LTE-A**



Fuente: BWN Gatech. <http://bwn.ece.gatech.edu/surveys/ltea.pdf>. Consulta: 20 de abril de 2016.

### 3.3.1. **Bloque EUTRAN**

Para el bloque EUTRAN, LTE-A con respecto a LTE, únicamente mantiene los eNB. Las diferencias radican en la inclusión de los RN (*relay node*), HeNB, las interfaces X2 y la modificación de la interfaz S1.

#### 3.3.1.1. **RN, relay node**

Los nodos de retransmisión RN son eNB de baja potencia que proporcionan una mayor cobertura y capacidad en las fronteras de las celdas. Uno de los principales beneficios de la retransmisión es proporcionar una cobertura extendida en áreas específicas a bajo costo.

### 3.3.1.2. HeNB, home eNB

Un HeNB realiza la misma función de un eNB en LTE, con la única diferencia que los HeNB se encuentran optimizados para dar una cobertura menor a la que brinda un eNB; esto es de bastante utilidad en la expansión de LTE-A, ya que los usuarios nunca estarán conectados a una celda distante, al contrario, siempre tendrán acceso a una celda cercana. 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: el HeNB y el SeGW (*security gateway*), adicional en el bloque ECP se incorpora el HeNB-GW.

El SeGW tiene como objetivo fundamental el establecimiento de túneles IPsec (*IP security*) que 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.

Para una red LTE-A con HeNB, existen tres tipos posibles de arquitecturas según las normas 3GPP TR23.830. Dichas variaciones son las siguientes:

- El HeNB-GW se encuentra instalado dentro de la red y las se agregan las interfaces S1-MME y S1-U. En este caso la interfaz S1-MME conecta al HeNB-GW con el MME y la interfaz S1-U conecta al HeNB-GW con el S-GW.
- El HeNB-GW se encuentra instalado dentro de la red y la red únicamente tiene implementada la interfaz S1-MME. Para este caso la interfaz S1-

MME conecta al HeNB-GW con el MME y la interfaz S1-U conecta al HeNB directamente con el S-GW.

- El HeNB-GW no se encuentra instalado dentro de la red. En este caso los HeNB se conectan directamente al MME y S-GW.

### **3.3.1.3. Interfaces**

En cuanto a las interfaces, en el bloque EUTRAN se tiene las interfaces S1, S1-U, S1-MME y X2.

- La interfaz S1 se utiliza para interconectar los bloques EUTRAN y ECP, más específicamente el HeNB con el HeNB-GW.
- La interfaz S1-U se utiliza para interconectar los bloques EUTRAN y ECP, más específicamente el eNB y el S-GW.
- La interfaz S1-MME se utiliza para interconectar los bloques EUTRAN y ECP, más específicamente el eNB y el MME.
- La interfaz X2 se utiliza para interconectar los diferentes eNB que componen la red.

### **3.3.2. Bloque ECP**

En lo que respecta al bloque ECP en una red LTE-A, este se encuentra conformado por los siguientes elementos:

- P-GW

- S-PW
- MME
- HeNB-GW
- HSS
- PCRF
- Interfaz S1-MME
- Interfaz S1-U

Como se observa, LTE-A cumple con el requisito de IMT *advanced* que establece que debe basar su funcionamiento en la red LTE existente. Los elementos P-GW, S-GW, HSS, PCRF y MME continúan funcionando de la misma forma en que lo hacen en una red LTE. LA única diferencia radica en que, para una red LTE-A, el MME y el S-GW deberán tener interconexión con un nuevo elemento de red, conocido como HeNB-GW, esto mediante las interfaces S1-MME y S1-U, respectivamente.

### **3.3.2.1. HeNB-GW, *home eNB- gateway***

El HeNB-GW tiene como objetivo principal proporcionar y soportar grandes capacidades de control que son necesarias para administrar grandes conjuntos de femto celdas. Su función principal es permitir un acceso simple sin fisuras y altamente seguro a los usuarios mientras se mueven entre redes móviles de confianza y redes públicas no confiables. El HeNB-GW proporciona una funcionalidad de agregación o concentración para un grupo de puntos de acceso FAP (*femtoCell gateway*). Esto preserva la arquitectura jerárquica requerida para una red 4G ya que no expone un gran número de estaciones base eNB a los elementos de la red básica. Un HeNB-GW puede proporcionar interfaces de red basadas en estándares S1-MME y S1-U, mecanismos de seguridad mediante su función de Se-GW. Adicional el HeNB-GE proporciona

un mecanismo para filtrar mensajes de paginación con el fin de evitar la distribución de paginación a celdas HeNB donde el UE no se encuentre registrado, así como una función de selección de nodo NAS, por medio de la cual se consigue soportar S1-Flex o múltiples conexiones S1-MME hacia el EPC desde cualquier HeNB.

### **3.4. Ventajas y desventajas entre LTE-A y LTE**

Entre las ventajas de LTE-A frente a LTE se tienen:

- Mejora de la velocidad de transmisión de datos para el enlace descendente de 86 Mbps en LTE a 3,5 Gbps (teóricos) en LTE-A.
- Mejora de la velocidad de transmisión de datos para el enlace ascendente de 326 Mbps en LTE a 1,5 Gbps (teóricos) en LTE-A.
- Facilidad de implementación a partir de una red LTE, ya que no se necesitan cambios radicales a nivel de arquitectura de red y protocolos de señalización.
- Implementación de nuevos servicios multimedia que requieren mejores tasas de transferencia que las proporcionadas por LTE.
- Aumento de la técnica CA (*carrier aggregation*).
- Mejora en cuanto al soporte de técnicas de acceso múltiple y utilización múltiple de celdas.
- Mejora en las zonas de cobertura de red.



- Mejora en el rendimiento de las fronteras de cobertura de una celda.
- Soporte para la tecnología RN (*relay node*).
- Escalabilidad para la utilización del ancho de banda, en LTE-A se puede tener hasta 100 MHz de ancho de banda, comparados con los 20 MHz máximos en LTE.
- Soporte para la técnica CoMP (*coordinated multi point operation*).
- Seguridad mejorada mediante la introducción de nuevas políticas de pre-codificación.
- Reducción del tiempo de latencia en las conexiones.
- Aumento de la duración de la batería, mediante técnicas de reducción de consumo, para dispositivos en estado idle.

Las desventajas de la tecnología LTE-A contra la tecnología LTE son las siguientes:

- Dependencia de arquitectura de red LTE. Mientras que LTE no depende de gran manera de una arquitectura de red previamente instalada. LTE-A depende de una arquitectura LTE previa.
- Dispositivos móviles no compatibles. Actualmente, la cantidad de dispositivos móviles compatibles con LTE-A es reducida, y se limitan a modelos de gama alta, por lo que el usuario normal, tiene limitado el acceso a una red LTE-A.

- Rápido consumo de plan de datos. Debido a que los servicios LTE-A disponen de una alta tasa de transferencia de datos, el usuario puede percibir que su plan de datos se consume muy rápidamente.
- Poca credibilidad de usuario. Debido al engaño que sufrieron los usuarios con las redes LTE, al confundirlas con una red 4G, muchos usuarios aún siguen escépticos sobre los alcances reales de una red LTE-A.
- Desconocimiento técnico. Debido a que la tecnología LTE-A es relativamente nueva, las personas que laboran en las diferentes compañías telefónicas, aun no cuentan con la preparación necesaria para realizar la evolución de su red LTE a una red LTE-A.

## **4. MIGRACION DE LA TECNOLOGÍA HSPA+ A LA TECNOLOGÍA LTE-A**

Como es estudio en los 3 capítulos previos, realizar una migración directa desde la tecnología HSPA+ hacia la tecnología LTE-A, es un muy complicada, ya que se requieren de muchos cambios tanto a nivel de arquitectura como de señalización, ya que sin estos cambios no se logra cumplir con los requisitos dictados por la normas ITU-R M14.57 para una tecnología 4G. Debido a esto la migración se debe realizar en dos fases, la primera fase es la migración de la tecnología HSPA+ a la tecnología LTE, la segunda fase es la migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A.

### **4.1. Migración de la tecnología HSPA+ a la tecnología LTE**

En esta primera fase, se tomará como base la arquitectura HSPA+ fundamental, así como las interfaces de señalización fundamentales; para posteriormente migrarlas a una arquitectura fundamental LTE y con esto poder analizar las mejoras perceptibles para el usuario final.

#### **4.1.1. Cambios a nivel de arquitectura de red**

Analizando ambas estructuras de red, se observa que las dos se encuentran divididas en tres bloques: el bloque UE, el bloque de acceso a red (RNS para HSPA+ y EUTRAN para LTE) y el bloque de conmutación por paquetes y conmutación por paquetes.

En el bloque UE no es necesario ningún cambio a nivel de arquitectura. Únicamente es necesario que los clientes cambien sus teléfonos celulares 3G por teléfonos celulares que soporten la tecnología LTE.

En el bloque de acceso a la red, el cambio más drástico es la evolución de la técnica de acceso a red ya que HSPA+ utiliza la técnica RNS; por su parte LTE utiliza la técnica EUTRAN. A nivel de elementos de red en este bloque, los nodos B (NB) fueron reemplazados por los nodos B mejorados (eNB); los eNB ya son capaces de comunicarse con los UE; entre más nodos B dentro de la misma red y con el siguiente bloque de red, por esta razón también se elimina la necesidad de tener un elemento central como lo es la RNC.

En el bloque de núcleo de red se nota el cambio más significativo de todos durante la migración. Ya que el bloque en HSPA+ se utiliza un bloque CP (conmutación por paquetes), y para LTE se utiliza el ECP (conmutación por paquetes mejorado). A nivel de elementos de red se reemplazan los siguientes elementos:

- El SGSN es reemplazado por el S-GW.
- El GGSN es reemplazado por el P-GW.
- La MSC es reemplazada por el MME.
- El AuC es reemplazado por el PCRF, el cual cuenta con las mismas funciones que un AuC, y adicional incorpora funciones de tarificación y medición de utilización de servicios.
- El HLR se mantiene, pero únicamente sirve de apoyo al HSS.
- El VLR se mantiene, pero al igual que el HLR, únicamente sirve de apoyo al HSS.

Cabe resaltar que los elementos necesarios que permanecen, pese a la migración, son: EIR, MMSC y SMSC. En la tabla V se muestra un resumen de los cambios a nivel de arquitectura de red para la evolución de la tecnología HSPA+ a la tecnología LTE.

Tabla V. **Cambios a nivel de arquitectura en la migración de la tecnología HSPA+ a LTE**

BLOQUE	ELEMENTO DE RED	TECNOLOGIA HSPA +	TECNOLOGIA LTE	NOTA
UE	Dispositivo móvil	SI	Sí	El usuario debe cambiar su dispositivo móvil 3G, por uno que soporte LTE
Acceso a red	Nodo B	SI	NO	Reemplazado por el eNB
	ENodo B	NO	Sí	
	RNC	Sí	NO	
Núcleo de red	MSC	Sí	NO	
	SGSN	Sí	NO	Reemplazado por el S-GW
	GGSN	Sí	NO	Reemplazado por el P-GW
	HLR	Sí	Sí	Apoyo al HSS
	VLR	Sí	Sí	Apoyo al HSS
	EIR	Sí	Sí	
	SMSC	Sí	Sí	
	MMSC	Sí	Sí	
	AuC	Sí	NO	Reemplazado por el PCRF
	MME	NO	Sí	
	S-GW	NO	Sí	
	P-GW	NO	Sí	
	PCRF	NO	Sí	
HSS	NO	Sí		

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Cambios a nivel de señalización

A nivel de señalización, se sigue manteniendo el mismo esquema de protocolo por capa basado en el modelo OSI de 7 capas; el cambio más notorio es en las interfaces de comunicaciones ya que cambian en su mayoría.

De las interfaces implementadas en el bloque de acceso de radio, la interfaz que comunica al bloque UE con el bloque de acceso de radio aún continúa siendo la interfaz Uu. Debido a que en LTE ya no es necesaria la implementación de una RNC, la interfaz Iub es eliminada, de igual manera la interfaz Iur. Adicional, se tiene la implementación de una nueva interfaz llamada X2 que se encarga de intercomunicar los eNB.

De las interfaces implementadas en el bloque de núcleo de red, las interfaces que se mantienen son: la interfaz Iu-CS que conecta el bloque de acceso de red con el bloque de conmutación de circuitos, la interfaz Iu-BC que conecta el bloque de acceso a red con el bloque de mensajes de difusión, la interfaz G que conecta VLRs. La interfaz Iu-PS es eliminada debido a que el bloque CP evoluciona por EPC. En LTE no es necesaria la utilización de una MSC, por esta razón las interfaces B, C, D, E, F, Gs que interconectan a la MSC con otros elementos del bloque CP son eliminadas; del mismo modo, debido a la eliminación del SGSN y GGSN, las interfaces Gc, Gf, Gi, Gn y Gr son eliminadas.

La interfaz H es eliminada debido a la eliminación del AuC. Las nuevas interfaces implementadas son la interfaz S6a se encuentra ubicada entre el MME y el HSS, la interfaz S11 se encuentra ubicada entre el MME y el S-GW, la interfaz Gx se encuentra ubicada entre el P-GW y el PCRF, la interfaz Rx se encuentra ubicada entre el PCRF y la nube, la interfaz SI-U se encuentra ubicada entre los eNB y el S-GW, la interfaz S5/S8 se utiliza para la transferencia de datos y tráfico de usuario entre el S-GW y el P-GW, y la interfaz SGI se localiza entre el P-GW y la nube. En la tabla VI se muestra un resumen de los cambios a nivel de señalización e interfaces necesarios para la migración de la tecnología HSPA+ a la tecnología LTE.

Tabla VI. **Cambios a nivel de señalización e interfaces en la migración de la tecnología HSPA+ a LTE**

BLOQUE	ELEMENTO DE RED	TECNOLOGIA HSPA +	TECNOLOGIA LTE
<b>Acceso a red</b>	Uu	Sí	SI
	Iub	Sí	NO
	Iur	Sí	NO
	X2	NO	Sí
<b>Núcleo de red</b>	Iu-CS	Sí	Sí
	Iu-BC	Sí	Sí
	Iu-PS	Sí	NO
	B	Sí	NO
	C	Sí	NO
	D	Sí	NO
	E	Sí	NO
	F	Sí	NO
	G	Sí	Sí
	H	Sí	NO
	Gc	Sí	NO
	Gf	Si	NO
	Gi	Sí	NO
	Gn	Sí	NO
	Gr	Sí	NO
	Gs	Sí	NO
	S6a	NO	Sí
	S11	NO	Sí
	Gx	NO	Sí
	Rx	NO	Sí
SI-U	NO	Sí	
S5/S8	NO	Sí	
SGi	NO	Sí	

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. Mejoras a nivel de percepción de usuario final

En cuanto a la percepción del usuario final, las mejoras que representa la migración de la tecnología HSPA+ a la tecnología LTE son las siguientes:

- Velocidad de descarga de datos mejorada, la nueva velocidad les permite velocidades teóricas de hasta 326 Mbps. En la práctica, la velocidad promedio es de 25 Mbps.
- Velocidad de carga de datos mejorada, la nueva velocidad les permite velocidades teóricas de hasta 86 Mbps. En la práctica la velocidad promedio es de 15 Mbps.
- Mejora en las políticas de seguridad, lo que le permite al usuario estar más protegido frente a intentos de estafa y fraude en su contra.
- Mejor cobertura de red, el usuario final podrá notar que con la nueva red LTE tiene una mayor y mejor cobertura para datos móviles.
- Para usuarios más avanzados, notarán que el tiempo de latencia para servicios *online*, como *streaming* o juegos online, es mucho menor.
- Servicios de VoIP mejorados.
- Mejores dispositivos móviles a su elección.

#### **4.2. Migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A**

En la segunda fase, se tomará como base la arquitectura LTE fundamental, así como las interfaces de señalización fundamentales; para posteriormente migrarlas a una arquitectura fundamental LTE-A y para poder analizar las mejoras perceptibles para el usuario final.



#### 4.2.1. Cambios a nivel de arquitectura de red

Al igual que como sucede en la fase I, al analizar ambas estructuras de red se observa que las dos se encuentran divididas en tres bloques: el bloque UE, el bloque de acceso a red (EUTRAN para ambas arquitecturas) y el núcleo de red. En el bloque UE no es necesario ningún cambio a nivel de arquitectura. Únicamente es necesario que los usuarios finales hagan una migración de sus terminales móviles LTE a terminales móviles LTE-A.

En el bloque de acceso a la red, se mantiene la técnica EUTRAN como la técnica de acceso a la red. A nivel de elementos de red los ENodos B (eNB) se mantienen funcionando de la misma forma como la hacían en LTE. Adicionalmente, la arquitectura de red LTE-A implementa dos nuevos elementos de red, el *relay node* y el HeNB.

En el bloque de núcleo de red, se mantiene la conformación básica del bloque EPC, es decir, se mantienen el S-GW, P-GW, MME, HSS, PCRF, EIR, HLR, VLR, SMSC y MMSC. Adicionalmente, la tecnología LTE-A implementa un nuevo dispositivo que es el HeNB-GW.

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

En la figura VII se muestra un resumen de los cambios a nivel de arquitectura de red para la evolución de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A.

Tabla VII. **Cambios a nivel de arquitectura en la migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A**

BLOQUE	ELEMENTO DE RED	Tecnología LTE	Tecnología LTE-A	NOTA
UE	Dispositivo móvil	Sí	Sí	El usuario debe cambiar su dispositivo móvil LTE, por uno que soporte LTE-A
Acceso a red	ENodo B	Sí	Sí	
	<i>Relay Node</i>	NO	Sí	
	HeNB	NO	NO	
Núcleo de red	HLR	Sí	Sí	Apoyo al HSS
	VLR	Sí	Sí	Apoyo al HSS
	EIR	Sí	Sí	
	SMSC	Sí	Sí	
	MMSC	Sí	Sí	
	MME	Sí	Sí	
	S-GW	Sí	Sí	
	P-GW	Sí	Sí	
	PCRF	Sí	Sí	
	HSS	Sí	Sí	
HeNB-GW	NO	Sí		

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Cambios a nivel de señalización

A nivel de señalización se sigue manteniendo el mismo esquema de protocolo por capa basado en el modelo OSI de 7 capas.

De las interfaces implementadas en el bloque EUTRAN, la interfaz que comunica al bloque UE con el bloque de EUTRAN aún continúa siendo la interfaz Uu. La interfaz X2 continúa siendo la interfaz de intercomunicación para los eNB. Para este bloque, debido a la implementación del HeNB, se tiene la implementación de la interfaz S1.

De las interfaces implementadas en el bloque de núcleo de red, las interfaces que se mantienen son todas las interfaces utilizadas por la

arquitectura de red LTE, la única diferencia radica en la implementación de 2 nuevas interfaces, esto debido a la implementación del HeNB-GW, dichas interfaces son: la S1-MME y la S1-U. En la tabla VIII se muestra un resumen de los cambios a nivel de señalización e interfaces necesarios para la migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A

Tabla VIII. **Cambios a nivel de señalización e interfaces en la migración de la tecnología LTE a LTE-A**

BLOQUE	ELEMENTO DE RED	TECNOLOGÍA LTE	TECNOLOGÍA LTE-A
Acceso a red	Uu	Sí	Sí
	X2	Sí	Sí
	S1	NO	Sí
Núcleo de red	Iu-CS	Sí	Sí
	Iu-BC	Sí	Sí
	G	Sí	Sí
	S6a	Sí	Sí
	S11	Sí	Sí
	Gx	Sí	Sí
	Rx	Sí	Sí
	S1-U	Sí	Sí
	S5/S8	Sí	Sí
	SGi	Sí	Sí
	S1-MME	NO	Sí
S1-U	NO	Sí	

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3. Mejoras a nivel de percepción de usuario final

En cuanto a la percepción del usuario final, las mejoras que representa la migración de la tecnología LTE a la tecnología LTE-A son las siguientes:

- Velocidad de descarga de datos mejorada, la nueva velocidad les permite velocidades teóricas de hasta 3,5 Gbps.

- Velocidad de carga de datos mejorada, la nueva velocidad les permite velocidades teóricas de hasta 1.5 Gbps.
- Implementación de nuevos servicios online, los cuales requieren una gran cantidad de ancho de banda.
- Mejora en la cobertura y calidad del servicio incluso en lugares cerrados, o lugares de difícil acceso, tales como edificios, estadios, sótanos.
- Mejora mucho grande en la reducción de los tiempos de latencia.
- *Handover* mucho más transparentes, es decir, el usuario no notara cuando su teléfono haga un *handover*.
- Mejores dispositivos móviles a su elección.
- Implementación total de servicios basados en VoIP.
- Soporte total para protocolo IPv6.
- Seguridad mejorada mediante la introducción de nuevas políticas de pre-codificación.
- Aumento de la duración de la batería, mediante técnicas de reducción de consumo, para dispositivos en estado idle.

## CONCLUSIONES

1. La tecnología HSPA+ fue la primera tecnología de la tercera generación de redes móviles que presentó una mejora en las tasas de transferencia de datos móviles para los enlaces ascendentes y descendentes, esto mediante la combinación de las tecnologías HSDPA y HSUPA. La implementación de esta tecnología a partir de una red GSM es bastante compleja ya que requiere la implementación del nuevo bloque de conmutación por paquetes.
2. La tecnología LTE, debido a sus tasas de transferencia máximas, no puede ser tomada como una tecnología de cuarta generación ya que no cumple con las tasas de transferencia mínimas impuestas por la ITU. La migración de una red HSPA+ a una red LTE conlleva grandes cambios en el bloque de conmutación por paquetes ya que se debe cambiar el 90 % de la arquitectura existente.
3. Con respecto a la tecnología HSPA+, la tecnología LTE presenta mejoras perceptibles en cuanto a la cobertura de red y calidad del servicio, ya que LTE utiliza femtoceldas, que proveen mejores coberturas en espacios pequeños.
4. La tecnología LTE-A es considerada por la ITU y 3GPP como la primera tecnología 4G ya que cumple con los estándares mínimos de tasas de transmisión de datos para los enlaces ascendente y descendentes publicados bajo la norma ITU-R M14.57; también, cumple con el requisito de basar su arquitectura de red en una arquitectura de red LTE.

5. En comparación con la tecnología LTE, la tecnología LTE-A presenta un aumento de hasta un 600 % en las tasas de transferencia de datos máximas, esto para ambos enlaces, ascendentes y descendentes. Esto, a nivel de usuario final, representa una mejora bastante significativa para los servicios de *streaming*, juegos en línea y nuevos servicios de VoIP.
  
6. La implementación de la tecnología LTE-A basada en una arquitectura de red LTE es, en términos generales, relativamente fácil ya que no requiere la eliminación de elementos de red, únicamente requiere la incorporación de 3 nuevos elementos de red y sus respectivas interfaces de comunicación. Con esto se logra implementar una red LTE siguiendo a detalle los requerimientos impuestos por 3 GPP para una red 4 G y las normas ITU-R M14.57.

## RECOMENDACIONES

1. Al momento de hacer una migración de una red GSM a una red HSPA+, se debe tener la visión de crear una arquitectura de red básica y sencilla, no agregar muchos elementos de redundancia que puedan complicar el diagrama de red ya que para un futuro esto influirá en los cambios necesarios para la migración hacia la tecnología LTE.
2. Para la implementación de una red LTE, se puede tomar como base una red GSM, HSPA o HSPA+. La mejor de las 3 opciones es tomar como base una red HSPA+ ya que la técnica de acceso a radio, aunque no es igual en su totalidad, los fundamentos básicos son los mismos.
3. Si la migración a la tecnología LTE se hace desde una red GSM se debe tomar en cuenta, que a nivel del núcleo de red se debe incorporar totalmente el bloque ECP; adicionalmente se deben hacer cambios en todo el bloque de acceso a radio.
4. Si la migración a la tecnología LTE se hace desde una red HSPA, se debe tomar en cuenta que el bloque CP debe ser eliminado en su totalidad y luego incorporar un nuevo bloque ECP. También, la técnica de acceso de radio debe cambiar a EUTRAN.
5. La implementación de la red LTE-A puede ser basada en tecnologías anteriores, como HSPA o HSPA+, pero no es recomendable ya que no se estarían cumpliendo con las normas establecidas por la ITU. Adicionalmente, migrar de una red HSPA o HSPA+ es un gasto de

recursos ya que LTE-A es en su mayoría una red LTE, por esta razón el diseño de red sería migrado de HSPA/HSPA+ a un LTE y luego a una red LTE-A.

6. La tecnología LTE no debe ser confundida con una tecnología 4G ya que no cumple con los requisitos de una tecnología 4G. Cuando se realice esta migración, se debe aclarar al usuario final que LTE es una tecnología 3,9 G.



## BIBLIOGRAFIA

1. 3GPP. *GSM History*. [En línea]. <<http://www.3gpp.org/specifications/gsm-history>>. [Consulta: 25 de abril de 2016].
2. 3GPP. *GSM Specifications*. [En línea]. <<http://www.3gpp.org/specifications>>. [Consulta: 01 de mayo de 2016].
3. 3GPP. *UMTS* [En línea]. < <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/103-umts>>. [Consulta: 20 de abril de 2016].
4. HARTMANN, Christian. *GSM architecture, protocols and services*. Inglaterra: Wiley, 2009. 325 p.
5. HOLMA, Harri. *HSDPA / HSUPA For UMTS*. Inglaterra: WILEY, 2006. 245 p.
6. LAITINEN, Lauri. *Redes UMTS. Arquitectura, movilidad y servicios*. España: Ra-ma Editorial, 2006. 584 p.
7. MOULY, Michel. *The GSM system for mobile communications*. Inglaterra: &Sys, 2008. 280 p.
8. OPEN SS7. *Map desing*. [En línea]. <[http://www.openss7.org/map\\_design.html](http://www.openss7.org/map_design.html)>. [Consulta: 17 de mayo de 2016].

9. OPEN SS7. *Mobile application part interface specification*. [En línea]. <<http://www.openss7.org/specs/mapi.pdf>>. [Consulta: 15 de mayo de 2016].
10. SAUTER, Martin. *From GSM to LTE-Advanced*. Inglaterra: Wiley, 2015. 441 p.