

IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA ARQUITECTURA DE LA  
RED DE LONG TERM EVOLUTION Y ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA  
CON LAS TECNOLOGÍAS 2G Y 3G

LEIDY MARCELA RODRIGUEZ MURCIA

Documento final para optar por el título de pregrado en Ingeniería de  
Telecomunicaciones, modalidad de Semilleros de Investigación.

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2012

IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA ARQUITECTURA DE LA  
RED DE LONG TERM EVOLUTION Y ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA  
CON LAS TECNOLOGÍAS 2G Y 3G

LEIDY MARCELA RODRIGUEZ MURCIA

Documento final para optar por el título de pregrado en Ingeniería de  
Telecomunicaciones, modalidad de Semilleros de Investigación.

Tutores del Proyecto de Investigación:

Rafael Leonardo Ochoa, Ingeniero de Sistemas. Guillermo  
Valencia Plata, Ingeniero Electrónico.

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2012

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado lo dedico a mis padres, ya que sin su apoyo constante no habría sido posible el desarrollo de mi profesión, a mis hermanos por darme la motivación de salir adelante con esfuerzo y dedicación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso un agradecimiento inmenso al Ingeniero Rafael Leonardo Ochoa, Ingeniero de Sistemas y Tutor del Semillero de Investigación New Tech, que estuvo apoyándome en el desarrollo de la investigación, también a mis compañeros de estudio que compartieron conmigo sus conocimientos y vivencias.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	7
1. DIFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	8
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	9
2. OBJETIVOS .....	10
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
4. MARCO REFERENCIAL.....	13
4.1. BASES TEÓRICAS .....	13
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DESARROLLADO DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	18

6. PRODUCTOS ACADÉMICOS DESARROLLADOS DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	21
7. CONCLUSIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS.....	26

## INTRODUCCION

En las últimas décadas la tecnología ha avanzado a pasos agigantados ocasionando diversos cambios en la forma de transmisión de datos. Inicialmente se utilizaban técnicas analógicas para la transmisión de datos, posteriormente después de exhaustivas investigaciones se desarrolló el servicio digital, trayendo consigo un mejor funcionamiento y mayor beneficio para los usuarios. Cada uno de los avances que han surgido en el servicio ha incluido asimismo un gran conjunto de protocolos, sin embargo aún no se ha declarado uno generalizado mundialmente.

En este sentido, el avance tecnológico que experimentaron las comunicaciones móviles, llevó a la ejecución de varias fases representadas en generaciones. Cada generación ha sido considerada un puente para el desarrollo de la siguiente, desde la primera hasta la cuarta; siendo esta última, la base central de esta investigación y más específicamente la tecnología denominada “*Long Term Evolution*” (LTE).

Estudiar la cuarta generación, representa poner en boga una tecnología que trae consigo beneficios para prestar servicios multimedia con alta velocidad de transmisión, además que se ha implementado en varios países con excelentes resultados<sup>1</sup>. Actualmente en Colombia se ha puesto en marcha la instalación de algunas radio-bases eNodeB para 4G LTE<sup>2</sup>, por esta razón es trascendental estar en sincronía con los cambios que se aproximan en cuanto a las comunicaciones móviles.

El presente proyecto de investigación, tiene como finalidad presentar el resultado de la exploración de Long Term Evolution desde la perspectiva de la arquitectura de red, para optar por el título de Ingeniero de Telecomunicaciones, y aportar a la comunidad académica la apropiación de la tecnología móvil LTE, al brindar bases teóricas para futuras investigaciones de campo; donde la exploración sería de gran aporte para la innovación.

---

<sup>1</sup> 3rd Generation Partnership Project

<sup>2</sup> UNE EPM Telecomunicaciones

# 1. DIFINICIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Los estudios previos a la investigación son realizados por un conjunto de organizaciones del sector de Telecomunicaciones a nivel mundial, asociadas con la 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Este grupo, creado desde el año 1998, produce especificaciones y reportes técnicos concernientes a las tecnologías de comunicaciones móviles desde la tercera generación. El foco de la formulación del problema de este proyecto de investigación, parte de la arquitectura de red UMTS, la cual representa a la tecnología móvil 3G. Desde el año 2000 esta arquitectura ha venido presentando diferentes modificaciones reflejados en el modo de acceso y la interfaz radio, cada uno de estos cambios han sido determinantes para llegar al desarrollo de LTE Advanced.<sup>3</sup>

El grupo de investigación New Tech pertenece a la línea de investigación de Redes e Interconexión del programa de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia, nace en el primer periodo académico del año 2010, inicialmente integrado por cuatro estudiantes del programa académico de Ingeniería de Telecomunicaciones. Los objetivos iniciales eran conocer la evolución de las generaciones de las comunicaciones móviles, para luego llegar a conocer Long Term Evolution, como resultado de esta investigación se elaboró un artículo titulado “Evolución de las Comunicaciones Móviles, hasta la llegada de Long Term Evolution LTE” y con este producto se tuvo una participación como ponentes en el evento IEEE Workshop Piloto 2010.

---

<sup>3</sup> BOLAÑOS GUERRERO, Camilo. Evolución de la arquitectura UMTS. Centro de Investigación de las Telecomunicaciones CINTEL [en línea] No. 02 Año 02 – P. 1. Disponible en: <<http://www.interactic.org.co/articulos-de-interes/2017-evoluciondelaarquitecturaumtsv3>>



## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La sociedad de la información, día a día proclama la necesidad de mayor velocidad de transmisión, debido al alto índice de datos de información. Los avances en términos de comunicación móvil han respondido a estas necesidades, sin embargo no ha sido suficiente. Como respuesta a estas exigencias, la evolución de la tecnología móvil está representada en varias generaciones, comenzando con servicios básicos de telefonía, y luego pasando a ofrecer servicios multimedia con redes de alta velocidad. La motivación para trabajar en nuevas generaciones de tecnología móvil, se debe a la necesidad de ofrecer mayor velocidad de transmisión y capacidad de servicios.

El marco histórico para esta investigación es la Tercera Generación (3G), la cual representa un gran avance con respecto a las anteriores generaciones, puesto que ofrece mayor velocidad, servicios de multimedia, video en tiempo real, televisión, videoconferencia y transmisión de datos y voz. *Long Term Evolution* es un nuevo estándar que presenta mejoras referentes a la arquitectura de red, como lo son la tasa de transferencia de datos y baja latencia con respecto a la tecnología 3G. Con la investigación se pretende profundizar en aspectos teóricos de la Arquitectura de la red de *Long Term Evolution*, asimismo analizar e identificar en detalle que aportes trae los posibles cambios frente a los últimos desarrollos tecnológicos en materia de comunicaciones móviles.

El presente estudio se circunscribe a los parámetros más importantes de la arquitectura de la red de *Long Term Evolution*, y como cada uno de los componentes representan cambios y constituyen posibles mejoras con respecto a las actuales tecnologías implementadas, incluyendo las funciones de cada uno de los elementos modificados de la red.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar los elementos de la arquitectura de red de la tecnología móvil de cuarta generación Long Term Evolution, y analizar sus funciones e interacción en el sistema, con el fin de establecer un punto de comparación con las últimas tecnologías móviles 2G y 3G.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar cada uno de los componentes de la nueva arquitectura de la red de *Long Term Evolution*.
- Detectar cuales son los cambios más representativos que adopta *Long Term Evolution* frente al estado del arte de las comunicaciones móviles.
- Elaborar un material académico que sirva de instrumento de consulta para los estudiantes, con el fin de difundir el conocimiento en la Universidad Piloto de Colombia.
- Socializar los resultados de la investigación con una ponencia en un evento científico o académico.
- Publicar un artículo de carácter académico en una revista científica indexada o no indexada.

### 3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La telefonía móvil, se ha visto envuelta en muchas etapas, pasando por varias generaciones de tecnologías. GSM se utiliza desde la Segunda generación (2G), tiene compatibilidad con RDSI (Red digital de Servicios Integrados), su desventaja es que solo transmite voz y datos a baja velocidad<sup>4</sup>. La tercera generación 3G fue una gran evolución puesto que ofrecía mayor velocidad comparada con las anteriores tecnologías como GSM<sup>5</sup>. LTE corresponde a la Cuarta Generación, que apunta a transmisiones de mayor velocidad, puesto que presenta mayor aprovechamiento del espectro, simplificación de elementos en la arquitectura, redistribución de las funciones y consecuentemente reducción de los costes de operación<sup>6</sup>.

Hoy por hoy muchas empresas dedicadas al comercio de servicios de telecomunicaciones, trabajan en el área investigativa para implementar mejores sistemas y ofrecer mayores ventajas a los usuarios, lo que significa un negocio mucho más lucrativo. El constante cambio en la sociedad de la información, nos pone en un contexto acérrimo de actualización. Desde el punto de vista de la Innovación Tecnológica, según el Manual de Frascati<sup>7</sup> el investigar nuevos conocimientos da lugar a la implementación de nuevos desarrollos tecnológicos, por esta razón es trascendental caracterizar y conocer los cambios de la Arquitectura de la red de Long Term Evolution con respecto al estado del arte. En este sentido el proyecto de investigación busca aportar al Programa de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia, bases teóricas para contribuir al desarrollo investigativo y en este sentido mantener la comunidad

---

<sup>4</sup> CARMONA MURILLO, Javier D. GONZALEZ, José Luis. GAZO CERVERO, Alfonso. MARTINEZ BRAVO, Lorenzo. "MOVICUO: Comunicaciones móviles de última generación y software libre para la ubicuidad". En: Universidad de Extremadura. [En línea - Consultado 24/05/2011]. Disponible en:

<[http://gitaca.es/javiercg/uploads/ES/2005\\_MOVICUO\\_II\\_Free\\_Sw\\_World\\_Conference.pdf](http://gitaca.es/javiercg/uploads/ES/2005_MOVICUO_II_Free_Sw_World_Conference.pdf)>

<sup>5</sup> UNIVERSIDAD ICESI. Sistemas & Telemática. Evolución de los sistemas móviles celulares GSM. [en línea] Disponible en

<<http://dSPACE.icesi.edu.co/dSPACE/bitstream/item/889/1/sistele4.pdf>>.

<sup>6</sup> LEO, Vivian. "LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges". [En línea – Consultado 15/06/2011]. Disponible en:

<<http://books.google.com.co/books?id=boePryvxxRAC&printsec=frontcover&dq=lte&cd=5#v=onepage&q&f=false>>

<sup>7</sup> ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), Paris. "Manual de Frascati -Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental". 2003. Página 17.

académica a la vanguardia para suplir las exigencias de las nuevas tecnologías del mercado.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. BASES TEÓRICAS

La Primera Generación 1G tenía como principal deficiencia el hecho de ser restringida en cuanto a la cobertura; así mismo se usaba para comunicación de voz únicamente, además el número de llamadas era limitado en cada estación ya que cada una de las llamadas utilizaba una frecuencia distinta, imposibilitando procesar una gran cantidad de llamadas simultáneas. Esta generación usaba la superposición de estaciones con FDMA, lo que significaba que dividía el ancho de banda entre los canales disponibles, dando como resultado un sistema no muy eficiente. Entre los estándares correspondientes a esta generación se pueden encontrar los Europeos NMT (Nordic Mobile Telecommunications) y TACS (Total Access Communications System), el Norteamericano AMPS (Advanced Mobile Phone System) y el Japonés NAMTS (Nippon Advanced Mobile Telephone).<sup>8</sup>

En 2G el servicio se expandió adicionando el servicio de mensajería (SMS) e introduciendo estándares norteamericanos como TDMA y CDMA. Utilizando CDMA se digitalizan los canales aumentando directamente la capacidad de transferencia. GSM en 2G se utiliza para telefonía móvil dando soporte de voz, datos, mensajes de texto y ROAMMING; recurriendo a la conmutación de circuitos para la conexión de muchos usuarios al mismo tiempo.<sup>9</sup>

La generación 2.5G fue el enlace entre la segunda y tercera generación, sobresale por la velocidad de información y transmisión la cual promediaba los 100Kpbs; de igual manera se desarrollaron los estándares europeos como HSCSD<sup>10</sup>, GPRS<sup>11</sup> y

---

<sup>8</sup> HERRERA SANCHEZ, José Vladimir. "Aplicación de radio cognitivo para Técnicas de Codificación y Control de Error". Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México D.F., 2008. [En línea - Consultado 28/03/2011]. Disponible en:

<<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5238/1/APLICACIONRADIO.pdf>>

<sup>9</sup> SANCHEZ GARCIA, Jaime. MEZA MUGICA, Myriam. "Redes celulares de Tercera Generación: CDMA2000 y WCDMA". Universidad de Guadalajara. Guadalajara, 2005. [En línea - Consultado 15/04/2011]. Disponible en:

<<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/730/73000304.pdf>>

<sup>10</sup> HSCSD: High-Speed Circuit-Switched Data, Circuitos de Alta Velocidad de Conmutación de Datos

<sup>11</sup> GPRS: General Packet Radio Service

el estándar norteamericano EDGE<sup>12</sup> que permitieron una mejor transferencia de datos en comparación y complementación con GSM, facilitando el envío y recepción de paquetes de datos. Como GPRS utiliza los mismos métodos de acceso al medio que GSM, FDMA y TDMA, los recursos del interfaz aéreo son compartidos entre las dos tecnologías.<sup>13</sup>

Como todo avance brindó una mejora en conexión y velocidad de transmisión, este fue el punto de partida para el desarrollo de una serie de adelantos dando pie a la Tercera Generación. La tercera Generación (3G) implementa HSDPA, que generó una optimización de la tecnología UMTS/WCDMA. Ésta básicamente utiliza FDD, mejorando la capacidad máxima de referencia con tasas de hasta 14Mbps, lo cual permite que el servicio de video en tiempo real. UMTS utiliza el protocolo IP en sus dos versiones IPv4 e IPv6 para la transmisión de datos y también para encaminar el tráfico de GPRS; este protocolo facilita la transferencia de datos y voz eficientemente, asimismo se utiliza CDMA, con el cual se comparte el espectro. Con la implementación del estándar Europeo WCDMA se prestan los servicios de multimedia, videoconferencia y televisión entre otros.<sup>14</sup>

En las tecnologías de 2G y 3G existen varios componentes que conforman la arquitectura de la red, distribuidos en tres partes: la celda, la red central, y el data center. Por otro lado, habitualmente en las comunicaciones móviles, se utiliza dos alternativas dúplex, las cuales son: FDD y TDD. La primera, trabaja con duplexación por división de frecuencia, y la segunda duplexación por división de tiempo. Ambos protocolos, trabajan sobre UMTS, siendo FDD la preferida; la única diferencia entre estos dos tipos de duplexación, está a nivel de la capa física, además del tiempo de sincronización.

---

<sup>12</sup> EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution, Tarifas de Datos Mejorada para la Evolución de GSM

<sup>13</sup> PACHON DE LA CRUZ, Álvaro. "Evolución de los sistemas móviles celulares GSM". En: Universidad Icesi-I2T. Cali, Colombia, 2004. [En línea - Consultado 24/06/2011]. Disponible en:

<<http://dSPACE.icesi.edu.co/dSPACE/bitstream/item/889/1/sistele4.pdf>>

<sup>14</sup> GOFFARD MOLINA, Pablo Felipe. "Descarga de datos a alta velocidad con HSDPA sobre UMTS". Universidad de Chile, Santiago de Chile, Enero 2007. [En línea - Consultado 23/04/2011]. Disponible en:

<[http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/goffard\\_p/sources/goffard\\_p.pdf](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/goffard_p/sources/goffard_p.pdf)>

En 3G, se utiliza la duplexación por división de frecuencia para voz y el esquema de transmisión CDMA; para la transmisión de datos se utiliza la Duplexación por División de Tiempo. El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) está basado en los servicios por capas, es miembro de la tercera generación 3G, por la norma global IMT-2000 de la UIT, permite transmisión de datos e información avanzada, soporta velocidades de hasta 2Mbps y se combina con el protocolo IP para permitir servicios de multimedia.<sup>15</sup>

Long Term Evolution (LTE) es un nuevo estándar, el cual evoluciona la tecnología móvil de Cuarta Generación 4G. Está basado en el adelanto con respecto a las tecnologías WCDMA y HSDPA, asentadas en el estándar UMTS. LTE es la proyección para la transmisión de datos a más de 100MB<sup>16</sup>. En las últimas décadas las redes móviles han avanzado considerable, aunque la velocidad que ofrecía 3G fue mucho mayor con respecto a antiguas tecnologías, en la actualidad los usuarios demandan mayor velocidad de transmisión ya que los servicios multimedia así lo requieren, esta necesidad la suplirá la próxima generación LTE.

Dentro de los aspectos de medición del buen rendimiento de una red, se destaca la baja latencia que representa el bajo retardo y mayor velocidad de transmisión. En las comunicaciones móviles es importante la movilidad que permite la eficiencia del equipo de usuario en las células.

LTE se basa en protocolos de internet, simplificando los núcleos de la arquitectura de red y proporcionando soporte a diferentes tipos de acceso radio. El diseño EPS (Evolved Packet System) se asienta en LTE y SAE<sup>17</sup>, SAE se dedica a la evolución del CORE por medio de la arquitectura EPC, ofrece la optimización de handover entre diferentes tecnologías de acceso, proporciona conectividad entre los equipos de usuario (UE) y los paquetes de datos externos a la red; explotando E-UTRAN<sup>18</sup>. LTE se enfoca en la evolución de la interfaz radio con la arquitectura E-UTRAN.

---

<sup>15</sup> WILEY. SESIA, Stefania. TOUKIF, Issam. BAKER, Matthew. LTE The UMTS Long Term Evolution. [en línea] Disponible en: <[http://www.wiley.com//legacy/wileychi/sesia\\_theumts/supp/LTE-A\\_Pocket\\_Dictionary\\_of\\_Acronyms.pdf](http://www.wiley.com//legacy/wileychi/sesia_theumts/supp/LTE-A_Pocket_Dictionary_of_Acronyms.pdf)>

<sup>16</sup> LTE Mobile Broadband Ecosystem: The Global Opportunity Report 42 UMTS Forum.

<sup>17</sup> J.P. Bienaimé. LTE Mobile Broadband Ecosystem: the Global Opportunity. UMTS FORUM [En línea – Consultado 06/05/2011]. Report 42, P. 14 Disponible en <<http://www.umts-forum.org>>

<sup>18</sup> D. Flore,. "LTE RAN architecture aspects. QUALCOMM INC. – 3GPP, Rev 090005", P. 3-5 (2009, Diciembre), [En línea – Consultado 05/08/2011]. Disponible en: <[http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17-ITU-R-IMT-Adv\\_eval/docs/pdf/REV-090005%20LTE%20RAN%20Architecture%20aspects.pdf](http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17-ITU-R-IMT-Adv_eval/docs/pdf/REV-090005%20LTE%20RAN%20Architecture%20aspects.pdf)>

Para el caso específico la arquitectura de LTE RAN esta se basa en la tecnología E-UTRAN, la cual es la evolución de la arquitectura UMTS, esta interfaz basada en aire opera bajo la conmutación de paquetes y ofrece conectividad bajo IP, ofrecerá QoS extremo a extremo; se fundamenta en nodos B Evolucionados (eNBs), los cuales se comunican por la interfaz S1 y se interconectan por la interfaz X2.

Unas de las funcionalidades de estos nodos son interconectar, aportar mayor movilidad, prevenir la interferencia entre células y envío de mensajes PAGING. Este tipo de mensajes son avisos a nivel IP en la red de acceso radio, los cuales imponen al móvil el control de la movilidad.

La interfaz S1 se encuentra ubicada entre el eNodeB y la MME, utilizando el protocolo de aplicación S1-AP. Principalmente sus funciones son suministrar la red y enrutamiento, originar la conexión mediante la creación, modificación o liberación de las portadoras activadas por el MME, controlar el tráfico y congestión y brindar redundancia. La interfaz X2 interconecta los eNBs y utiliza el protocolo de aplicación X2-AP; el cual se desempeña como gestor de movilidad, permitiendo a los eNBs asegurarse de transmitir de cualquier UE a otro eNB, además de generar informes de error de los UE.

MME (Mobility Management Entity) es quien gestiona la movilidad y ejecuta la identificación y autenticación del Equipo de usuario, es decir, determina si el equipo se encuentra inactivo. Por otro lado define los parámetros de seguridad como las claves, genera identidades temporales y las asigna a los equipos de usuario.

Dentro de las finalidades del S-GW (Serving Gateway) se encuentran prestarle movilidad al plano de usuario, además de servir como frontera entre la red principal y la Red de Acceso Radio; igualmente almacena las rutas de acceso entre los eNBs y los PDN. Este último elemento PDN GW especifica las políticas y filtrado de paquetes, asigna las direcciones IP a los UE, así mismo suministra la conexión entre las señales externas y el UE.

Haciendo referencia a la capa física, para lograr una comunicación por un mismo canal en dos direcciones es necesario implementar alguna técnica de duplexación, por otro lado para transportar la información en cualquier medio de transmisión es necesario implementar alguna técnica de modulación. Estos parámetros son muy importantes, puesto que de esto depende una mejor explotación del canal de



comunicación. Para la interfaz de aire E-UTRAN es factible utilizar como técnica de duplexación FDD y TDD<sup>19</sup>, sin embargo FDD es complementada por la tecnología TDD por que proporciona mayor velocidad<sup>20</sup> y disponibilidad del espectro, es decir, al compararlo con FDD en escenarios de interferencia enfrenta mejor la situación<sup>21</sup>.

El esquema de transmisión en la arquitectura E-UTRAN, utilizada es<sup>22</sup>:

- Para enlace descendente se usa OFDMA para dividir el canal RF en varias sub-portadoras normalmente de 15KHz utilizando como esquema de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM. La configuración de la antena MIMO es de dos antenas de transmisión en la célula, y dos antenas de recepción en la UE.
- Para enlace ascendente se usa SC-FDMA con el fin de obtener ortogonalidad entre usuarios y mejor dominio de la frecuencia en el receptor. Comprende los esquemas de modulación BPSK, QPSK, 8PSK y 16QAM. La configuración de la antena MIMO es de dos antenas de transmisión en el UE y dos antenas de recepción en la célula.

---

<sup>19</sup> 3GPP TR 25.814 V7.1.0 Technical Report 3rd Generation Partnership Project, Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA). 3GPP. P. 14-31-71-82-94. (2006, Septiembre). [En línea - Consultado 20/07/2011]. Disponible:

<[http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25\\_series/25.814](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.814)>

<sup>20</sup> B. Malunov. The LTE / LTE-Advance Guide. LTE Portal. P. 44-45. . (2010, Mayo). Disponible en: <<http://lteportal.com/members/4glterresources.php>>

<sup>21</sup> 3GPP TR 25.814 V7.1.0 Technical Report 3rd Generation Partnership Project, Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA). 3GPP. P. 14-31-71-82-94. (2006, Septiembre). Disponible en: <[http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25\\_series/25.814](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.814)>

<sup>22</sup> UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution (SAE). 3GPP. P. 3-6. (2004, Noviembre). Disponible en: <[http://ftp.3gpp.org/Inbox/2008\\_web\\_files/LTA\\_Paper.pdf](http://ftp.3gpp.org/Inbox/2008_web_files/LTA_Paper.pdf)>

## **5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DESARROLLADO DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En la primera etapa establecida durante el primer periodo del año 2010, nació el Semillero de Investigación New Tech, lo cual fue propiciado por el Ingeniero Rafael Leonardo Ochoa para cumplir con compromisos académicos de dos materias las cuales fueron: Comunicaciones Móviles y Software de Comunicación.

El proceso de certificación de Investigadores Junior I, comenzó con la investigación sobre cada una de las modalidades de las Tecnologías Móviles Celulares como son 1G, 2G, 2.5G y 3G. Se elaboró un artículo titulado “Evolución de las Comunicaciones Móviles, hasta la llegada de Long Term Evolution LTE”, el cual fue evaluado por los Pares delegados para el proceso de acreditación del programa Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia, la calificación expedida fue por encima de 4. En ese mismo periodo el semillero participó en el evento INNOVATIC (Innovación en Tecnologías de Información y Comunicación) en calidad de ponentes.

El semillero de investigación New Tech tuvo un semestre de inactividad, por lo tanto volvió a presentar resultados para la certificación de Investigadores Junior II, durante el primer periodo del año 2011, en donde los integrantes desarrollaron en conjunto un documento sobre la arquitectura de red de Mobile IP RAN; esta red de acceso correspondió en su momento a una contraparte hacia la propuesta de LTE. Al finalizar el documento la arquitectura de la red Long Term Evolution ya estaba oficializada como el estándar que se desarrollaría para 4G, la inversión de tiempo en la elaboración de dicho producto sirvió de refuerzo para el desarrollo del proyecto de investigación. Adicionalmente, de manera individual se elaboró un documento en donde se introducía a la Arquitectura de Long Term Evolution, con el fin de determinar los subtemas que el grupo tomaría para delimitar los objetivos del grupo de investigación.

Durante el segundo periodo (Inter-semestral) del año 2011, se desarrollo el tercer nivel de Semillero de Investigación Senior I por medio del Campus Virtual de la universidad, en donde se incorporó metodologías de investigación desarrollando el Semillero Central. Paralelamente se implementó un sitio web para alojar información referente a las actividades del grupo; el sitio está alojado en el link <https://sites.google.com/site/lteupc/>. Adicionalmente se presentó la oportunidad de participar como ponentes en la IV Conferencia científica de telecomunicaciones, tecnologías de la información y comunicaciones en el marco del IV congreso internacional, un evento producido en Quito-Ecuador. Para ello se perfeccionó el

documento introductorio a la Arquitectura de LTE, con el fin de presentarlo como artículo en el nombrado evento, sin embargo por algunos contratiempos en los trámites de inscripción no fue posible participar como ponentes en dicha conferencia científica.

El cuarto nivel de Semilleros de Investigación Senior II, fue puesto en marcha durante el tercer periodo del año 2011, en donde se perfeccionó el artículo y hubo participación de dos estudiantes en una ponencia local promovida por el Programa Ingeniería de Telecomunicaciones. El artículo fue presentado en el mes de diciembre a la revista Interfase de la Universidad Piloto de Colombia, sin embargo por ausencia de pares para la evaluación del documento, éste fue retirado para presentarlo a otra revista científica. Durante el principio del año 2012, se perfeccionan algunos aspectos del artículo, para presentarlo a la revista científica de un Centro de Investigaciones de Telecomunicaciones en el mes de abril del mismo año, de donde se recibe respuesta de aprobación para la publicación del documento.

Para dar comienzo con la investigación, se estableció como objetivo principal entender como ha venido funcionando las comunicaciones móviles en cuanto a la arquitectura de la red. Para ello se enmarcó la investigación en comprender la interacción que cada uno de los componentes tienen y el roll que cada uno desempeña. Luego del fortalecimiento del primer enfoque, se continuó con la exploración de los elementos de red de la arquitectura de Long Term Evolution, apuntando siempre al roll e interacción de cada uno de los componentes. Una vez establecidas las bases teóricas, se estableció un punto de comparación entre generaciones, fundamentado en relación con las Capas: Física, de Enlace y de Transporte del modelo de referencia OSI.

El modo de recolección de información a utilizar en este proyecto de investigación, consistió en contactar a empresas que están desarrollando pruebas y demostraciones con LTE tales como Anritsu y Metricom, de los cuales se recibió información en Brochures y White papers. Además de la consulta vía web en la base de datos Proquest de la Universidad Piloto de Colombia, en motores de búsqueda como lo son Scholar Google y SciELO; y por último en el portal de la 3GPP, entidad que empalma todas las normas de telecomunicaciones.

Para el procesamiento de los datos, se tuvo en cuenta la aclaración de términos sobre las anteriores tecnologías de comunicaciones móviles por parte de algunos profesores de la Universidad Piloto de Colombia. Por otro lado se relacionó contenidos de diferentes fuentes para lograr así una síntesis más clara del tema,

además de la identificación de palabras o frases clave que permitieran interpretar mejor el contenido. No fue necesaria la recolección de datos para análisis, sino la interpretación para comprender la convergencia que hay entre las tecnologías de comunicaciones móviles.

Durante la formación como investigadora, se puso en práctica técnicas de procesamiento de la información, y en consecuencia lograr un punto de madurez en el área de investigación. Gracias al apoyo de la universidad se fortaleció la habilidad en la redacción y socialización de los resultados académicos.

## 6. PRODUCTOS ACADÉMICOS DESARROLLADOS DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La ejecución del proyecto de investigación, dio como resultado los siguientes productos académicos, todos avalados por la Escuela de Semilleros de la Dirección de Investigaciones y el Comité Académico del Programa Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia:

- Ponencia en el V Seminario de Comunicaciones Piloto con el trabajo titulado "Arquitectura y Convergencia de la red de Long Term Evolution". Evento realizado el 26 de octubre del año 2011.
- Aprobación y publicación del artículo "Arquitectura y Convergencia de la red de Long Term Evolution", en Edición No. 61 de la revista RCT repositado en el enlace <http://www.interactic.org.co/rctonline/061/>; respaldada por el Centro de Investigación de las Telecomunicaciones (CINTEL) y especializada del sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Cuenta con más de 15 años en el sector y se convierte en un documento de referencia sobre tendencias, avances tecnológicos, normatividad, negocio y política del sector TIC.<sup>23</sup>
- Producción de un video académico en donde se aclara la arquitectura de la red de las tecnologías 2G y 3G, con el fin de establecer las diferencias con respecto a la propuesta de Long Term Evolution para 4G. En el video se refleja el progreso obtenido en el artículo científico publicado en la revista, y servirá como material de consulta para los estudiantes que requieran inferir sobre el tema central del presente proyecto de investigación y está alojado en el enlace <http://www.youtube.com/watch?v=9fnZ3g9KAH0&feature=youtu.be>

---

<sup>23</sup> INTERACTIC. [en línea] Disponible en:  
<[http://www.interactic.org.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=91&Itemid=47](http://www.interactic.org.co/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=47)>

## 7. CONCLUSIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS

Tras haber llevado a cabo el proyecto de investigación, se obtuvo varios resultados académicos, reflejados en publicaciones y socializaciones a la comunidad académica. El haber expuesto el análisis sobre las diferentes arquitecturas de red de tecnologías de comunicaciones móviles es enriquecedor, puesto que al transmitir un conocimiento adquirido en base a una investigación científica, se adquiere capacidad de comunicación y desenvolvimiento en el tema.

Una de las principales conclusiones del proyecto de investigación, es que los Nodos B en las anteriores tecnologías cumplían únicamente con las funciones de comunicación entre el teléfono celular y la estación base, ahora los Nodos B evolucionados (eNodeB), tienen la función de movilidad, interconexión, prevenir interferencia, control de conexión móvil, disminuir la latencia, entre otras funciones.

En la Red Central, los elementos de la arquitectura de red de 2G y 3G, serían reemplazados para: cumplir funciones de gestión de la movilidad en el plano de usuario, conectividad del teléfono celular a las redes externas de paquetes de datos, identificación y autenticación del teléfono celular, medidas de seguridad, entre otras funciones. En el Data Center, están presentes los elementos de la arquitectura de red de 2G y 3G pero las funciones principales son ejecutadas por el SGW (Serving Gateway) y el MME (Mobility Management Entity).

Unos de los beneficios de LTE son: la disminución de ralentización, lo que quiere decir que garantiza menor retardo, mayor velocidad de transmisión móvil y simplificación de arquitectura gracias a E-UTRAN, trayendo consigo menor costo en la transmisión por bit, integración con otros estándares, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

3GPP TR 25.814 V7.1.0 Technical Report 3rd Generation Partnership Project, Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA). 3GPP. P. 14-31-71-82-94. (2006, Septiembre). [En línea - Consultado 20/07/2011]. Disponible: <[http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25\\_series/25.814](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.814)>

B. Malunov. The LTE / LTE-Advance Guide. LTE Portal. P. 44-45. . (2010, Mayo). Disponible en: <<http://lteportal.com/members/4glteresources.php>>

BOLAÑOS GUERRERO, Camilo. Evolución de la arquitectura UMTS. Centro de Investigación de las Telecomunicaciones CINTEL [en línea] No. 02 Año 02 – P. 8-9. Disponible en: <<http://www.interactic.org.co/articulos-de-interes/2017-evoluciondelaarquitecturaumtsv3>>

CARMONA MURILLO, Javier D. GONZALEZ, José Luis. GAZO CERVERO, Alfonso. MARTINEZ BRAVO, Lorenzo. "MOVICUO: Comunicaciones móviles de última generación y software libre para la ubicuidad". En: Universidad de Extremadura. [En línea - Consultado 24/05/2011]. Disponible en: <<http://gitaca.es/javiercg/uploads/ES/2005 MOVICUO II Free Sw World Conference.pdf>>

D. Flore,. "LTE RAN architecture aspects. QUALCOMM INC. – 3GPP, Rev 090005", P. 3-5 (2009, Diciembre), [En línea – Consultado 05/08/2011]. Disponible en: <[http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17\\_ITU-R\\_IMT-Adv\\_eval/docs/pdf/REV-090005%20LTE%20RAN%20Architecture%20aspects.pdf](http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17_ITU-R_IMT-Adv_eval/docs/pdf/REV-090005%20LTE%20RAN%20Architecture%20aspects.pdf)>

GOFFARD MOLINA, Pablo Felipe. "Descarga de datos a alta velocidad con HSDPA sobre UMTS", En: Universidad de Chile. Santiago de Chile, enero 2007. [En línea - Consultado 24/04/2011]. Disponible en: <[http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/goffard\\_p/sources/goffard\\_p.pdf](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/goffard_p/sources/goffard_p.pdf)>

HERRERA SANCHEZ, José Vladimir. "Aplicación de radio cognitivo para Técnicas de Codificación y Control de Error". Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México D.F., 2008. [En línea - Consultado 28/03/2011]. Disponible en: <[http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5238/1/APLICACION\\_RADIO.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5238/1/APLICACION_RADIO.pdf)>

J.P. Bienaimé. LTE Mobile Broadband Ecosystem: the Global Opportunity. UMTS FORUM [En línea – Consultado 06/05/2011]. Report 42, P. 14 Disponible en <<http://www.ums-forum.org>>

LI, Patricia. "El negocio 3G en el mercado Argentino", [en línea - Consultado 24/03/2011]. Disponible en: <<http://www.palermo.edu/economicas/cbrs/pdf/3g.pdf>>

LEO, Vivian. "LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges". [En línea – Consultado 15/06/2011]. Disponible en: <<http://books.google.com.co/books?id=boePyryvxRAC&printsec=frontcover&dq=lte&cd=5#v=onepage&q&f=false>>

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), París. "Manual de Frascati -Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental". 2003. Página 17.

PACHON DE LA CRUZ, Álvaro. "Evolución de los sistemas móviles celulares GSM". En: Universidad Icesi-I2T. Cali, Colombia, 2004. [En línea - Consultado 24/06/2011]. Disponible <<http://dspace.icesi.edu.co/dspace/bitstream/item/889/1/sistele4.pdf>>

SANCHEZ GARCÍA, Jaime. MEZA MUGICA, Myriam. "Redes celulares de Tercera Generación: CDMA200 Y WCDMA. Universidad de Guadalajara, México, 2005. [En línea - Consultado 02/05/2011]. Disponible en <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/730/73000304.pdf>>

UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution (SAE). 3GPP. P. 3-6. (2004, Noviembre). Disponible en: <[ftp://ftp.3gpp.org/Inbox/2008\\_web\\_files/LTA\\_Paper.pdf](ftp://ftp.3gpp.org/Inbox/2008_web_files/LTA_Paper.pdf)>



WILEY. SESIA, Stefania. TOUKIF, Issam. BAKER, Matthew. LTE The UMTS Long Term Evolution. [en línea] Disponible en: <[http://www.wiley.com//legacy/wileychi/sesia\\_theumts/supp/LTE-A Pocket Dictionary of Acronyms.pdf](http://www.wiley.com//legacy/wileychi/sesia_theumts/supp/LTE-A Pocket Dictionary of Acronyms.pdf)>

## **ANEXOS**

ANEXO A. Artículo - Arquitectura y Convergencia de la red de Long Term Evolution

# **Arquitectura y Convergencia de la red Long Term Evolution**

## **Resumen**

Este artículo tiene como objetivo dar a conocer la arquitectura para el funcionamiento de LTE y la convergencia con la arquitectura de las actuales tecnologías. Este documento nace producto de la investigación en diferentes medios como revistas, libros-blancos, brochures, artículos e Internet; iniciando por la interfaz de aire E-UTRAN; conociendo cada uno de sus componentes y sus respectivas funciones. También la estructura de los protocolos en la distribución del plano de control, sus funciones, y el esquema de transmisión y modulación. Este documento es el resultado de una primera aproximación a la tecnología LTE desarrollado en el marco de las actividades propias del semillero de investigación NEW TECH del programa de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia.

## **Palabras Clave**

Arquitectura, E-UTRAN, UMTS, TDD, FDD, SAE, EPC, LTE, eNodeB, Comunicaciones Móviles, Convergencia.

## **Abstract**

The goal of this document is to publish the architecture needed for LTE operation and the integration of the current technologies architecture with Long Term Evolution. This document is based on research done from several sources such as magazines, white papers, brochures, publications and Internet; starting with the E-UTRAN aerial interface; knowing each one of its components and their respective functions. Also, the structure of the control plane distribution, its functions and the transmission and modulation scheme. This document is the result from a first approach to LTE technology developed within the scope of NEW TECH research activities of the curriculum of Telecommunications Engineering of Universidad Piloto de Colombia.

## **Keywords**

Architecture, E-UTRAN, UMTS, TDD, FDD, SAE, EPC, LTE, eNodeB, Mobile Communications, Convergence.

## 1. Introducción

Long Term Evolution es una tecnología de comunicaciones móviles celulares de cuarta generación que trabaja bajo protocolos de internet IP tanto en VOZ como en DATOS, además abarca la implementación de técnicas de modulación, codificación y antenas con el fin de hacer más eficiente la red; ya que se puede transmitir más datos en el ancho del espectro[1]. Unos de los beneficios de LTE son la disminución de ralentización, lo que quiere decir que garantiza menor retardo, mayor velocidad de transmisión móvil, y simplificación de arquitectura gracias a E-UTRAN; trayendo consigo menor costo en la transmisión por bit, integración con otros estándares, entre otros [1].

Las normas 3GPP incorporan en la evolución de la red, una arquitectura mas simple y aplanada en comparación con las redes actuales llamada SAE (System Architecture Evolution). Se basa en protocolos de internet, simplificando los núcleos de la arquitectura de red; además de proporcionar soporte a diferentes tipos de acceso radio. El diseño EPS (Evolved Packet System), se asienta en LTE y SAE [1], SAE se dedica a la evolución del CORE por medio de la arquitectura EPC, ofrece la optimización de handover entre diferentes tecnologías de acceso, proporciona conectividad entre los equipos de usuario (UE) y los paquetes de datos externos a la red; explotando E-UTRAN [2]; LTE se enfoca en la evolución de la interfaz radio con la arquitectura E-UTRAN.

La finalidad de este artículo es conocer cada uno de los elementos de la arquitectura de la red de Long Term Evolution, aclarar las funciones y la sinergia que existe en el sistema; para ello conoceremos la arquitectura de E-UTRAN sus componentes y la distribución de las funciones, los tipos de duplexación, esquemas de modulación. Además de la convergencia de 2G/3G con LTE; para concluir que LTE nos traerá grandes beneficios en costo y eficiencia en la transmisión e infraestructura, porque las funciones están mejor distribuidas.

## 2. Arquitectura E-UTRAN<sup>1</sup>

Para poder entender el funcionamiento de la tecnología LTE es necesario iniciar por la comprensión de los principios fundamentales de su funcionamiento y la distribución de las funciones requeridas para garantizar el funcionamiento de la red móvil, estos planteamientos se encuentran definidos en la arquitectura de red. Para el caso específico la arquitectura de LTE RAN<sup>2</sup> es basada en la tecnología E-UTRAN, la cual

---

<sup>1</sup> EUTRAN - Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network: Red universal de acceso de radio terrestre Evolucionado

<sup>2</sup> Red de Acceso Radio, comúnmente situada entre el teléfono móvil y la Red Central

fue estandarizada por 3GPP. E-UTRAN es la evolución de la arquitectura UMTS, esta interfaz basada en aire opera bajo la conmutación de paquetes y ofrece conectividad bajo IP, ofrecerá QoS extremo a extremo; se fundamenta en nodos B Evolucionados (eNBs), los cuales se comunican por la interfaz S1 y se interconectan por la interfaz X2 tal como se observa en la figura 1.

Unas de las funcionalidades de estos nodos son interconectar, aportar mayor movilidad, prevenir la interferencia entre células y envío de mensajes PAGING. Este tipo de mensajes son avisos a nivel IP en la red de acceso radio, los cuales imponen al móvil el control de la movilidad ya que le avisa cuando llega un paquete cuando el móvil se encuentra en estado “durmiendo”. Entre otras funciones de los nodos eNB, se encuentra el control de conexión móvil, la asignación dinámica de recursos para los equipos de usuario (UE) para enlace ascendente y descendente; también tiene el objetivo de disminuir la latencia.

La interfaz S1 se encuentra ubicada entre el eNodeB y la MME, utilizando el protocolo de aplicación S1-AP. Principalmente sus funciones son suministrar la red y enrutamiento, originar la conexión mediante la creación, modificación o liberación de las portadoras activadas por el MME, controlar el tráfico y congestión, brindar redundancia. La interfaz X2 interconecta los eNBs, y utiliza el protocolo de aplicación X2-AP; el cual se desempeña como gestor de movilidad, permitiendo a los eNBs asegurarse de transmitir de cualquier UE a otro eNB, además de generar informes de error de los UE.

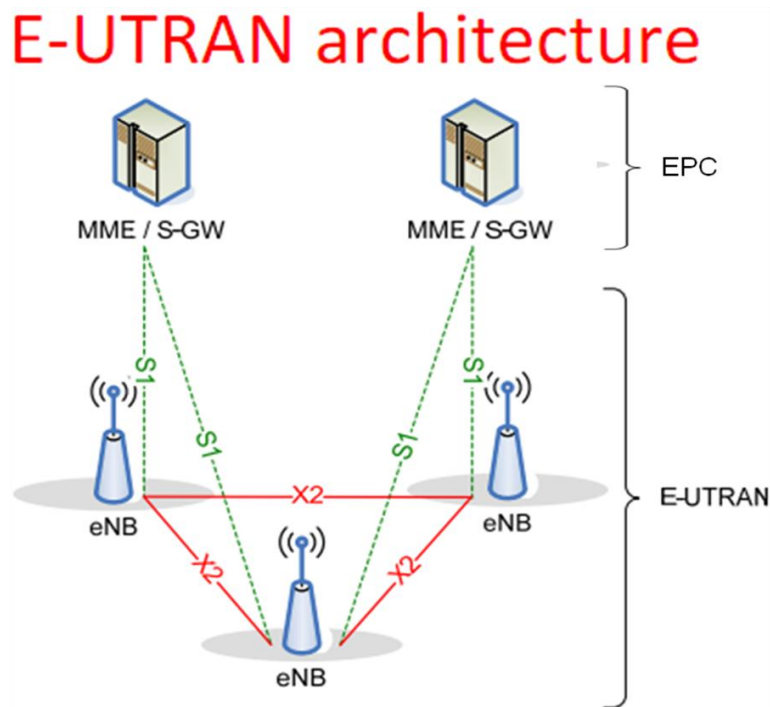


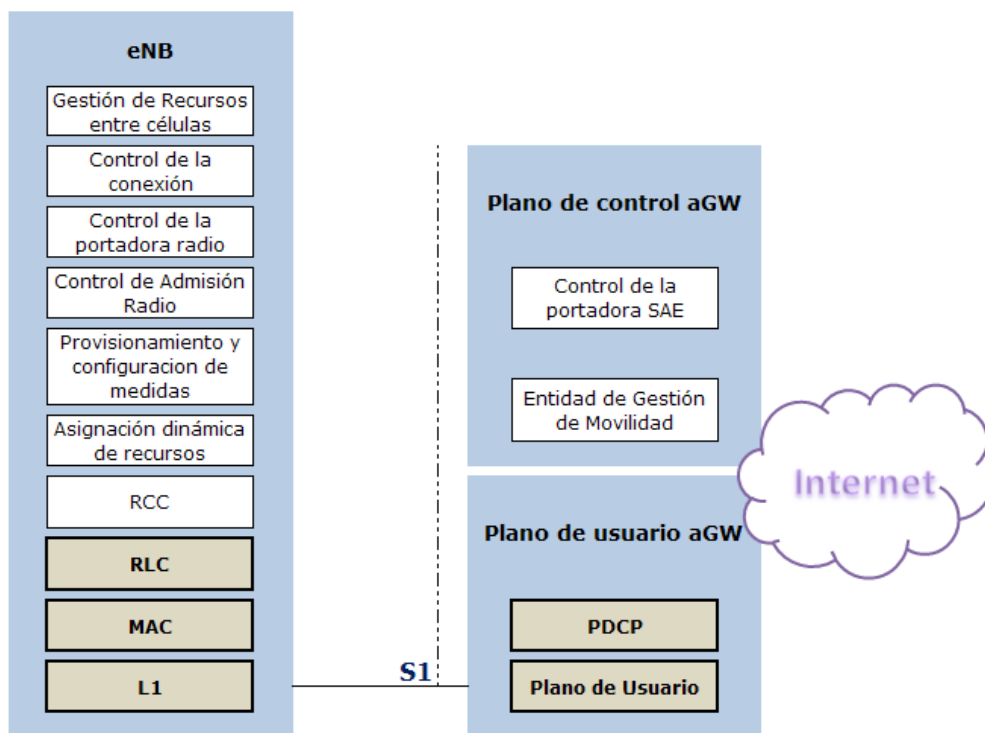
Figura 1. Arquitectura E-UTRAN y sus interfaces [2]

MME (Mobility Management Entity) es quien gestiona la movilidad, ejecuta la identificación y autenticación del UE (Equipos de usuario), es decir, determina si el equipo se encuentra inactivo, y los parámetros de seguridad como las claves; se genera identidades temporales y los asigna a UEs.

Dentro de las finalidades del S-GW se encuentran prestarle movilidad al plano de usuario, además de servir como frontera entre la red principal y la Red de Acceso Radio; igualmente almacena las rutas de acceso entre los eNBs y los PDN. Este último elemento PND GW especifica las políticas y filtrado de paquetes, asigna las direcciones IP a los UE, así mismo suministra la conexión entre las señales externas y el UE.

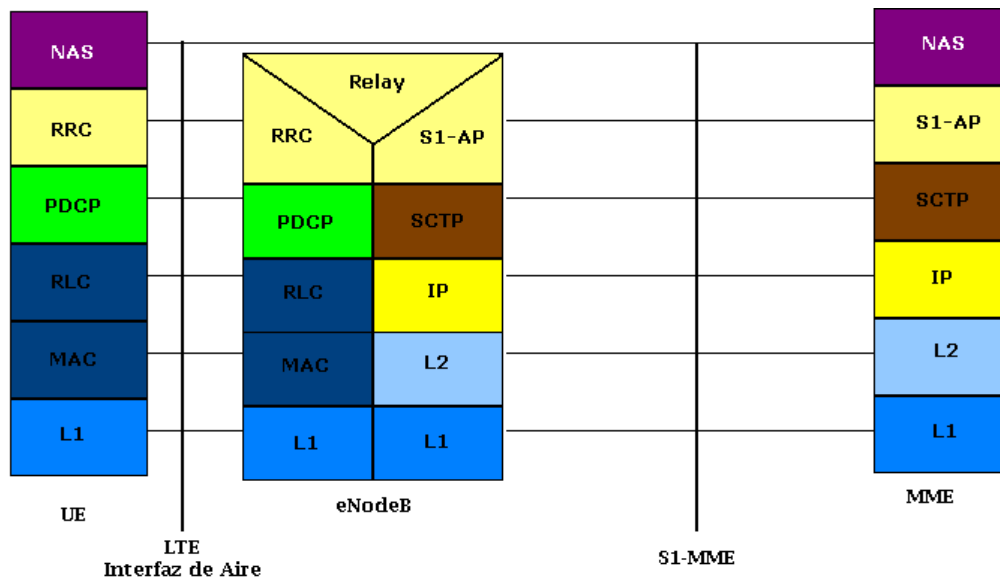
## 2.1. Distribución de funciones en E-UTRAN

La distribución de funciones en E-UTRAN se puede visualizar en la figura 2.



**Figura 2. Distribución de funciones en E-UTRAN [3]**

En la figura 3 se puede observar cómo es la estructura de los protocolos en la distribución del plano de control entre el Equipo de Usuario y la MME (Mobility Management Entity). Este último administra y almacena el estado de movilidad, seguridad y autenticación del UE.



**Figura 3. Distribución del plano de control entre UE y MME [4]**

La capa NAS (Non-Access-Stratum) interactúa en el UE y MME, soporta la movilidad del UE, realiza el control de seguridad además de establecer y mantener la conectividad IP entre el UE y PND GW. Dentro de la NAS también está comprendida la capa Relay. El RRC (Radio Resource Control) se encuentra ubicado en el UE, eNodeB e Interfaz de aire, su función es de movilidad, paginación, calidad de servicios, entre otros. El PDCP (Packet Data Convergence Protocol) se encuentra ubicada en el UE, eNodeB y algo de la Interfaz de aire, su función es la transferencia de datos, retransmisión, control de errores, protección con cifrado, compresión y descompresión de la cabecera, entre otros. La capa RLC (Radio Link Control) se encuentra ubicada en el UE, eNodeB y algo de la Interfaz de aire, transfiere los PDU a la NAS, realiza detección, recuperación y corrección de errores, entre otros. La capa MAC (Medium Access Control) se encuentra ubicada en el UE, eNodeB y algo de la Interfaz de aire, algunas de sus funciones son la asignación de canales lógicos y de transporte, multiplexación y desmultiplicación, corrección de errores, entre otros. La capa L1 (Air Interface Physical Layer) es la interfaz de aire de la capa física se encarga de brindar servicios de transporte a las capas superiores, sus funciones son la detección de errores de las capas superiores, modulación y demodulación de los canales físicos y transformación de antenas MIMO.

La interfaz S1 (Signalling Transport) comprende las capas:

- L2 equivalente a la capa de enlace;
- IP donde los eNB y MME soportan IPv4 y/o IPv6,

- La capa SCTP equivalente a la capa de Transporte que a través de la red IP controla el transporte de protocolos.

## 2.2. Capa física

Habitualmente las comunicaciones móviles, han venido trabajando dos alternativas dúplex, las cuales son FDD (Frequency Division Duplex) y TDD (Time Division Duplex); la primera trabaja con duplexación por división de frecuencia y la segunda duplexación por división de tiempo. Ambos protocolos trabajan sobre UMTS, siendo FDD la preferida; la única diferencia entre TDD Y FDD están a nivel de la capa física además del tiempo de sincronización [11].

Para la interfaz de aire E-UTRAN es factible utilizar FDD y TDD [5], sin embargo FDD es complementada por la tecnología TDD por que proporciona mayor velocidad [10] y disponibilidad del espectro, es decir, al compararlo con FDD en escenarios de interferencia enfrenta mejor la situación [5]. En la tabla 1 se observa la distribución de frecuencias en enlace Ascendente y Descendente para las bandas de operación de E-UTRA en los dos diferentes modos de operación dúplex.

El esquema de transmisión en la arquitectura E-UTRAN, utilizada es [7]:

- Para enlace descendente OFDMA<sup>3</sup>; divide el canal RF en varias sub-portadoras normalmente de 15KHz; utilizando como esquema de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM. La configuración de la antena MIMO es de dos antenas de transmisión en la célula, y dos antenas de recepción en la UE.
- Para enlace ascendente SC-FDMA<sup>4</sup>; con el fin de obtener ortogonalidad entre usuarios y mejor dominio de la frecuencia en el receptor. Comprende los esquemas de modulación BPSK, QPSK, 8PSK y 16QAM. La configuración de la antena MIMO es de dos antenas de transmisión en el UE y dos antenas de recepción en la célula.

---

<sup>3</sup> Orthogonal Frequency Division Multiplexing  
<sup>4</sup> Carrier - Frequency Division Multiple Access



**Tabla 1. E-UTRA bandas de operación [6]**

<b>E-UTRA Banda de Operación</b>	<b>Enlace ascendente (UL) Banda de Operación BS receive UE transmit <math>F_{UL\_low} - F_{UL\_high}</math></b>	<b>Enlace descendente (DL) Banda de Operación BS transmit UE receive <math>F_{DL\_low} - F_{DL\_high}</math></b>	<b>Modo Duplex</b>
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 – 1784.9	1844.9 – 1879.9	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 – 1447.9	1475.9 – 1495.9	FDD
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
...			
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
...			
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD

**Tabla 2. Resumen características de LTE [8]**

<b>3GPP LTE</b>	
<b>Ancho de banda del canal</b>	1,4 – 3 – 5 – 10 y 20 MHz
<b>Múltiple Acceso Downlink</b>	OFDMA
<b>Múltiple Acceso Uplink</b>	SC-FDMA
<b>Duplexación</b>	FDD y TDD
<b>Modulación de Datos</b>	QPSK - 16QAM y 64QAM / BPSK – QPSK – 8PSK
<b>Supportadora de separación</b>	15KHz
<b>MIMO</b>	Multi-capa pre codificadas espacial espacio multiplexación en tiempo / bloque de frecuencias de codificación, conmutación de transmitir la diversidad y la diversidad retraso cíclico

### **3. Convergencia de actuales tecnologías con LTE**

En las tecnologías de 2G (GPRS) y 3G (UMTS) existen varios componentes que conforman la arquitectura de la red, distribuidos en tres partes: la celda, la red central y el datacenter; los cuales se distribuyen como se observa en la tabla 3.

En la Segunda Generación, la BTS se comunica por medio del Backhaul Network, el cual establece la conexión entre la Red Central y las subredes pequeñas o estaciones terrenas. En la Red Central se encuentra el MSC que tiene la función de coordinar las acciones del RNC, el cual se encarga de la gestión de recursos y algunas funciones de movilidad con el PDSN, este último es el que permite la conexión wireless con internet y se conecta con el servidor (Authentication, Authorization, Accounting), es decir, establece la sesión del usuario. Por medio del Backbone se conecta al Data Center el Home Agent, se encarga de implementar el protocolo IP Móvil mediante el redireccionamiento de paquetes y finalmente el GGSN permite el acceso a internet, además de ocultar la red interna al mundo exterior.[12][13]

En la Tercera Generación, es semejante pero cambian algunas funciones; el Backhaul Network cumple las mismas funciones con la BTS y la Red Central. En la Red Central, el BSC es el controlador de Estación Base, es decir, es la inteligencia del BTS y puede llegar a manejar más de una BTS. El MSC coordina las acciones del BSC, permite el enrutamiento de llamadas, movilidad, establece y libera la conexión extremo a extremo; y el SGSN es la puerta de enlace a los servicios de la red, es decir, al PSTN, permite la conexión/desconexión, autenticación, entre otros. Por medio de la red troncal o

Backbone se conecta al Data Center y el proceso es igual que en la tecnología 2G. [12][13]

**Tabla 3. Convergencia 2G – 3G y LTE [8]**

	<b>CELDA</b>	<b>RED CENTRAL</b>	<b>DATA CENTER</b>
<b>2G</b>	Se encuentra la BTS (Base Tranceiver Stación), su función es comunicar la UE y la estación base o Nodo B	Está compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• MSC (Mobile Switching Center)</li> <li>• RNC (Radio Network Controller)</li> <li>• PDSN (Packet Data Serving Node)</li> </ul>	Está compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• MSC (Mobile Switching Center)</li> <li>• Home Agent</li> <li>• GGSN (Gateway GPRS Support Node )</li> </ul>
<b>3G</b>		Está compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• MSC (Mobile Switching Center)</li> <li>• BSC (Base Station Controller)</li> <li>• SGSN (Serving GPRS Support Node)</li> </ul>	
<b>LTE</b>	Se implementa Nodos B Evolucionados (eNBs)	Está compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• SGW (Serving Gateway)</li> <li>• PGW (PDN Gateway)</li> <li>• MME (Mobility Management Entity)</li> </ul>	Está compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• SGW (Serving Gateway)</li> <li>• PGW (PDN Gateway)</li> <li>• MME (Mobility Management Entity)</li> </ul>
<b>Convergencia 2G – 3G y LTE</b>	Se implementa Nodos B Evolucionados (eNBs) y BTS (Base Tranceiver Stación), o Nodo B	Está compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• SGW (Serving Gateway)</li> <li>• PGW (PDN Gateway)</li> <li>• MME (Mobility Management Entity)</li> </ul>	Está compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• SGW (Serving Gateway)</li> <li>• PGW (PDN Gateway)</li> <li>• MME (Mobility Management Entity)</li> <li>• MSC (Mobile Switching Center)</li> <li>• Home Agent</li> <li>• GGSN (Gateway GPRS Support Node )</li> </ul>

Al converger las tecnologías 2G y 3G a LTE cambia el funcionamiento de los Nodos B, puesto que en las tecnologías 2G y 3G las funciones son únicamente la comunicación entre la UE y la estación base; todo lo contrario, los Nodos B evolucionados tienen la función de movilidad, interconexión, prevenir interferencia, control de conexión móvil, disminuir la latencia, entre otros. En la Red Central los elementos de la arquitectura de red de 2G/3G serían reemplazados para cumplir funciones de gestión de la movilidad en el plano de usuario, conectividad de la UE a las redes externas de paquetes de datos, identificación y autenticación del UE (Equipos de usuario), medidas de seguridad, entre otros. En el Data Center están presentes los elementos de la arquitectura de red de 2G/3G pero las funciones principales son ejecutadas por SGW (Serving Gateway) y MME (Mobility Management Entity).

#### 4. Conclusiones

Con la breve comparación realizada entre LTE y las tecnologías móviles existentes, podemos resaltar que gracias a la nueva arquitectura, existe una mejora en el tiempo de latencia y condiciones de velocidad más altas, al implementar como esquema de

modulación OFDMA y SC-FDMA para enlace descendente y ascendente respectivamente, en combinación con el tipo de duplexación TDD que brinda mejores resultados al utilizar el mismo canal UL/DL; y FDD que tiene la ventaja de superar escenarios de interferencia.

La nueva arquitectura SAE genera simplificación en las operaciones evitando gastos operativos, por lo tanto genera beneficios en la reducción de costos financieros. En el caso de los nodos intermedios de la red, al disminuirlos el resultado es directamente proporcional a la atenuación del retardo de la señal que pasa entre nodos. A diferencia de los NodosB de la arquitectura UTRAN, los eNodeB ya no solo se van a encargar de la transmisión y recepción eléctrica sino que además tendrán a cargo la compresión y descompresión de enlace descendente y ascendente, gestión de cifrado/descifrado, QoS, entre otras funciones que tiene los RNC en la arquitectura de UTRAN; lo que genera mayor robustez, menor centralización y mayor eficiencia.

Otro beneficio de la nueva arquitectura de E-UTRAN es la interconexión de los elementos y las funciones que las mismas acarrearán; en materia de los eNodeB por medio de las interfaces de conexión se comparte el tráfico de usuario y el tráfico de la señalización, esto constituye mayor optimización de los recursos con respecto a la anterior estructura de los NodeB, puesto que la conexión y el tráfico siempre pasa por los RNC. En el caso de los SW-Gateway y los MME, existen interfaces de conexión directa entre ellos y los eNodeB facilitando la movilidad, paginación, handover y tráfico en el plano de usuario y plano de control.

La arquitectura de red EPC es equivalente al Packet System Core de UTRAN, pero con mejoras en la conmutación de paquetes, logrando mayor simplificación de la señalización [14]. Esta distribución permite el funcionamiento óptimo con otras tecnologías la red pública de telefonía conmutada y con el subsistema multimedia IP. Todas estas características mencionadas beneficiarán a la población con nuevos servicios de tecnología móvil, que tendrán como prelación, mayor capacidad de transmisión, con calidad de servicio (QoS) y a bajos costos en comparación con el actual mercado.

## 5. Referencias

- [1] J.P. Bienaimé. (2009, Mayo). LTE Mobile Broadband Ecosystem: the Global Opportunity. UMTS FORUM [En línea]. Report 42, P. 14 .Disponible: <http://www.umts-forum.org>
- [2] D. Flore, (2009, Diciembre). LTE RAN architecture aspects. QUALCOMM INC. – 3GPP, Rev 090005, P. 3-5. Disponible: <http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12->

[17 ITU-R IMT-Adv eval/docs/pdf/REV-090005%20LTE%20RAN%20Architecture%20aspects.pdf](http://www.itu.int/ITU-R/IMT-Adv_eval/docs/pdf/REV-090005%20LTE%20RAN%20Architecture%20aspects.pdf)

- [3] A. Montilla Bravo. (2009, Julio). Arquitectura de red de acceso móvil de cuarta generación: Mobile-IP RAN. TESIS DOCTORAL, Leganés. P. 34-35. Disponible: ([http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/6739/1/TESIS\\_Alberto\\_Montilla\\_CD\\_250609.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/6739/1/TESIS_Alberto_Montilla_CD_250609.pdf))
- [4] (2004, Noviembre). Long Term Evolution (LTE). LTE World. Disponible: <http://lworld.org/wiki/long-term-evolution-lte>
- [5] (2006, Septiembre). 3GPP TR 25.814 V7.1.0 Technical Report 3rd Generation Partnership Project, Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA). 3GPP. P. 14-31-71-82-94. Disponible: [http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25\\_series/25.814](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.814)
- [6] (2004, Abril). 3GPP TS 36.101 V8.13.1 Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. 3GPP. P. 14. Disponible: [http://www.3gpp.org/ftp/Specs/latest/Rel-8/36\\_series](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/latest/Rel-8/36_series)
- [7] (2004, Noviembre). UTRA-UTRAN long Term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution (SAE). 3GPP. P. 3-6. Disponible: [ftp://ftp.3gpp.org/Inbox/2008\\_web\\_files/LTA\\_Paper.pdf](ftp://ftp.3gpp.org/Inbox/2008_web_files/LTA_Paper.pdf)
- [8] E.A. Hernández. (2011, Marzo). 3GPP Long Term Evolution Introductorio (4G). Universidad José Cecilio del Valle. P. 20. Disponible: <http://www.slideshare.net/edwinhm/presentacion-de-lte-para-universidad-jose-cecilio-del-valle>
- [9] E. Franchy. (2010, Marzo). LTE Base Station Testing Basics. Anritsu. P. 3-4. Disponible: [www.us.anritsu.com](http://www.us.anritsu.com)
- [10] B. Malunov. (2010, Mayo). The LTE / LTE-Advance Guide. LTE Portal. P. 44-45. Disponible: <http://lteportal.com/members/4glteresources.php>
- [11] (2010). TD-LTE: Exciting Alternative, Global Momentum Motorola. P. 5-6. Disponible: <http://lteportal.com/members/4glteresources.php>
- [12] Cellular network basics. Radio-Electronics. Disponible:

[http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/cellular\\_concepts/cellular-network-basics.php](http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/cellular_concepts/cellular-network-basics.php)

- [13] D. Fajardo Patrón. (2004, Mayo). Simulación de tramas de WCDMA. Universidad de las Américas Puebla. P. 3-8. Disponible: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/fajardo\\_p\\_d](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d)
- [14] C. Bolaños Guerrero. Evolución de la arquitectura UMTS. Centro de Investigación de las Telecomunicaciones CINTEL [en línea] No. 02 Año 02 – P. 8-9. Disponible: <http://www.interactic.org.co/articulos-de-interes/2017-evoluciondelaarquitecturaumtsv3>

## 6. Hoja de vida de los autores

Leidy Marcela Rodríguez Murcia, estudiante de décimo semestre de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia; participante activo del semillero de investigación New Tech durante 22 meses. El semillero NEW TECH hace parte del grupo de investigación de Redes e Interconexión del programa de Ingeniería de Telecomunicaciones.

Contacto: (571) 3202215015 – [lrodriguez95@upc.edu.co](mailto:lrodriguez95@upc.edu.co)

Rafael Leonardo Ochoa Urrego, Ingeniero de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, Master en e-business: Telecomunicaciones y Nuevos Modelos de Negocio, Candidato a Magister en Administración de la Universidad Nacional de Colombia; docente investigador del programa de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia, tutor del semillero de investigación NEW TECH y co-líder del grupo de investigación Redes e Interconexión del la Universidad Piloto de Colombia hasta el primer periodo del año 2011.

Contacto: (571) 3003094645 – [rafael-ochoa@unipiloto.edu.co](mailto:rafael-ochoa@unipiloto.edu.co)