



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO:

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LOS SISTEMAS MÓVILES DE 3G Y 4G LTE:  
SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR**

AUTOR:

Luis Enrique Ibarra Rosales

Titulación mediante examen complejo

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Edwin Fernando Palacios Meléndez

Guayaquil, Ecuador

2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Luis Enrique Ibarra Rosales** como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

TUTOR

M. Sc. Fernando Palacios Meléndez

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Miguel A. Heras Sánchez.

Guayaquil, a los 5 días del mes de Marzo del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Luis Enrique Ibarra Rosales**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación mediante examen complejo previo a la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 5 días del mes de Marzo del año 2016

EL AUTOR

---

LUIS ENRIQUE IBARRA ROSALES



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Luis Enrique Ibarra Rosales**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación mediante Examen Complexivo, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 5 días del mes de Marzo del año 2016

EL AUTOR

---

LUIS ENRIQUE IBARRA ROSALES

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a personas muy especiales, que siempre han estado a mi lado apoyándome y dando lo mejor de sí para que siga progresando personal y profesionalmente.

A **Enrique Ibarra Jaime**, mi querido y nunca olvidado padre, mi ejemplo de vida, desafortunadamente ya no te encuentras con nosotros, pero siempre me das las fuerzas para cumplir todas mis metas y objetivos.

A **Magdalena Rosales de Ibarra**, mi querida madre, ejemplo de lucha y dedicación, nos sacaste adelante sin importar las adversidades de la vida, te estaré eternamente agradecido.

A **Varinia Ibarra Rosales**, mi querida hermana y mejor amiga, sin tu apoyo y compañía en este reto de vida juntos, no estaría dedicando estas palabras.

A mi demás **Hermanos**, por estar ahí cuando más los necesite.

A **Carolina Manzano Solórzano**, mi amada esposa y amiga, por ser mi apoyo incondicional en cada paso y decisión para resto de mi vida.

Finalmente, a todas y cada una de las personas que han conformado parte de mi formación en todos estos años.

EL AUTOR

LUIS ENRIQUE IBARRA ROSALES

## AGRADECIMIENTO

Ante todo a Dios por llenarme de vida y esperanza todos los días, y así permitirme librar obstáculos para así seguir luchando por el presente y futuro anhelado.

Gracias infinitas a mis padres por ser ese ejemplo de lucha y superación, sin sus consejos y enseñanzas no sería la persona que actualmente soy; por educarme con principios y respeto hacia los demás; por creer en mí y brindarme la oportunidad de estudiar para ser un hombre de bien, espero estén orgullosos.

Gracias a mis hermanos por ser siempre ese apoyo incondicional en cada paso de mi vida, por confiar en este sueño de convertirme en un profesional.

Gracias a mi esposa Carolina Manzano Solórzano, por ser parte de mi vida y dejarme ser parte de la tuya, eres ese Angel fundamental en este nuevo logro conseguido.

Gracias compañeros, amigos, que se volvieron parte de mí día a día a lo largo de todos estos años, nunca los olvidare.

Gracias al Ing. Efraín Suarez, por sus enseñanzas dentro y fuera de las aulas y por ser más que un profesor mi amigo a lo largo de todo este tiempo; estoy eternamente agradecido.

Gracias a todos aquellos profesores por los conocimientos brindados, necesarios para mi formación profesional.

Gracias a todos quienes conforman la Facultad Técnica Para el Desarrollo, que se convirtió en mi segundo hogar.

Y por último y no por eso menos importante gracias a la vida por regalarme este tan hermoso momento.

EL AUTOR

LUIS ENRIQUE IBARRA ROSALES

## ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras .....	X
Índice de Tablas .....	XII
Capítulo 1: INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Introducción a las comunicaciones móviles. ....	13
Capítulo 2: FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y TEÓRICOS .....	15
2.1. Tecnología de Comunicaciones Móviles 3G. ....	15
2.1.1. Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha – WCDMA. 15	
2.1.2. Principios fundamentales del funcionamiento CDMA. ....	18
2.1.3. Radio Multitrayecto y detección Rake. ....	20
2.1.4. Control de Potencia en UMTS. ....	22
2.1.5. Diferentes tipos de traspasos. ....	23
2.1.6. Estructura de la red UMTS. ....	26
2.2. Tecnología de Comunicaciones Móviles 4G. ....	28
2.2.1. Introducción de la Comunicación Móvil 4G. ....	28
2.2.2. Evolución a la tecnología móvil 4G. ....	30
2.2.3. Arquitectura de la Red 4G-LTE. ....	31
2.2.4. LTE-Advanced E-UTRAN. ....	34
2.2.5. La gestión del espectro y de la banda ancha. ....	36
2.2.5.1. Agregación de portadora. ....	37
2.2.5.2. Los canales de control. ....	38
2.2.5.3. Esquema de acceso múltiple. ....	39
Capítulo 3: APLICACIONES Y ASPECTOS ECONÓMICOS .....	40



3.1. Situación actual de la telefonía celular en América Latina y Caribe. ....	40
3.2. Situación actual de la telefonía celular en Ecuador.....	42
4. CONCLUSIONES .....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51

## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Diagrama de tiempo de ensanchado y desanchado en DS-CDMA. .....	19
Figura 2. 2: Diagrama de tiempo de ensanchado y desanchado en DS-CDMA. .....	20
Figura 2. 3: Propagación multitrayecto provoca perfil de retardo multitrayecto.	22
Figura 2. 4: Control de potencia de bucle cerrado.....	23
Figura 2. 5: Tipo de traspaso – Softer Handover. ....	24
Figura 2. 6: Tipo de traspaso – Soft Handover.....	25
Figura 2. 7: Tipo de traspaso – Hard Handover. ....	26
Figura 2. 8: Estructura de la arquitectura de red UMTS. ....	27
Figura 2. 9: Topología empleada por Huawei en WCDMA/UMTS. ....	28
Figura 2. 10: Evolución de las tecnologías de telefonía celular. ....	31
Figura 2. 11: Elementos principales de EPC.....	32
Figura 2. 12: Arquitectura de E-UTRAN.....	32
Figura 2. 13: Visión general de EPS para accesos a 3GPP.....	33
Figura 2. 14: Arquitectura LTE-Advanced E-UTRAN. ....	34
Figura 2. 15: Protocolo Stack o de Pila. ....	35
Figura 2. 16: Comparativa entre las arquitecturas 4G-LTE y 3G-UMTS.....	36
Figura 2. 17: Agregación de portadora en banda ancha contiguas. ....	37
Figura 2. 18: Agregación de portadora en banda ancha no contigua, una sola banda. ....	38
Figura 2. 19: Agregación de portadora en banda ancha no contigua, múltiples bandas.....	38

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Crecimiento anual de las tecnologías de celular en América Latina y el Caribe. ....	40
---	----

Figura 3. 2: Pronóstico de suscripciones y cuota de mercado en América Latina y el Caribe. ....	42
Figura 3. 3: Distribución del Mercado de Telefonía Móvil por tipo de abonado. ....	43
Figura 3. 4: Distribución del Mercado de Telefonía Móvil por tipo de abonado. ....	44
Figura 3. 5: Crecimiento anual de abonado de Telefonía Móvil entre 2009 y 2015. ....	45
Figura 3. 6: Crecimiento mensual de abonados de telefonía móvil. ....	47

## Índice de Tablas

### Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Comparativa entre los diferentes sistemas móviles.....	18
--	----

### Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Estados del despliegue de LTE.....	41
Tabla 3. 2: Líneas activas a través de terminales de usuarios y de uso público.....	44
Tabla 3. 3: Líneas activas a través de terminales de usuarios y de uso público.....	48
Tabla 3. 4: Resumen de crecimiento anual por operadoras de telefonía móvil avanzado.....	49

## Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción a las comunicaciones móviles.

La tecnología de tercera generación fue desarrollada con el fin de hacer frente a las nuevas necesidades de los servicios que estaban llegando, tales como imágenes y video de alta calidad o para proporcionar acceso a la Web con velocidades de datos más altas. Las capacidades de manejo de datos de los sistemas de segunda generación eran limitadas y por esto fue necesaria la tecnología móvil.

En Europa, un largo período de investigación precedió a la selección de la tecnología de tercera generación. El programa RACE I (Investigación de Tecnologías Avanzadas de Comunicación en Europa) inició el trabajo de investigación básica de tercera generación en el año 1988. (Escudero F., 2016) este programa fue seguido por RACE II, con el desarrollo de interfaces de aire, tales como la Plataforma de Prueba de División por Códigos (Code Division Testbed, CODIT) basado en CDMA y Acceso Múltiple por División de Tiempo Avanzado (Advanced Time Division Multiple Access, ATDMA) durante 1992-1995. Además, las propuestas de anchos de banda de interfaz aérea fueron estudiadas en una serie de proyectos industriales en Europa. (Díaz P., Escobar M., & Carramuttis R., 2009).

A finales del año 1995 la ACTS (Tecnologías de la Comunicación y Servicios Avanzados) puso en marcha el apoyo para la investigación de comunicaciones móviles y su futuro desarrollo. Dentro del proyecto ACTS, el Sistema de Acceso Múltiple de Banda Ancha de Radio Futuro (FRAMES), fue creado con el objetivo de definir una propuesta de un sistema de acceso de radio UMTS (Quintero F. V. , 2016).

Los principales socios industriales de FRAMES eran Nokia, Siemens, Ericsson, France Télécom y CSEM/Pro Telecom, con la participación también de varias Universidades Europeas. Basado en la propuesta inicial de una fase de evaluación en FRAMES, se definió una plataforma armonizada de acceso múltiple, que consta de dos modos: FMA1, un TDMA de banda ancha, y FMA2, un CDMA de banda ancha. Las propuestas de FRAMES de CDMA y TDMA de banda ancha, se presentaron al ETSI (European Telecommunications Standards Institute) candidatos a la interfaz aérea UMTS y sumisión UIT IMT-2000.

Las propuestas para la interfaz de aire 'Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN)' recibida por el hito se agruparon en cinco grupos conceptuales en ETSI en junio de 1997, después de su entrega y presentación en el año 1996 e inicios de 1997 (Ponce R., 2009). Los grupos que se formaron son:

- ✓ Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA).
- ✓ Acceso Múltiple por División de Tiempo de Banda Ancha (Wideband Code Division Multiple Access, WTDMA).
- ✓ Acceso Múltiple por División de Tiempo/Acceso Múltiple por División de Código (TDMA/CDMA).
- ✓ Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)
- ✓ Acceso Múltiple por División Ortogonal (Orthogonal Division Multiple Access, ODMA)

## Capítulo 2: FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y TEÓRICOS

### 2.1. Tecnología de Comunicaciones Móviles 3G.

#### 2.1.1. Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha – WCDMA.

En esta sección se presentan los principios fundamentales de la interfaz aérea de CDMA de banda ancha (Wideband CDMA). Se presta especial atención a las características por la que WCDMA se diferencia de GSM e IS-95. A continuación, se presentan los principales parámetros de diseño del sistema de WCDMA y se describe brevemente la mayoría de ellos.

- ✓ WCDMA es un Sistema de Acceso Múltiple por División de Código de Secuencia Directa (Direct Sequence Code Division Multiple Access, DS-CDMA) de banda ancha, es decir, que los bits de información de usuario se extienden dentro de una amplia banda ancha, multiplicando los datos de los usuarios con los bits cuasi aleatorios (llamados chips) derivados de códigos de expansión o ensanchamiento de CDMA. Con el fin de apoyar a muy altas tasas de bits (hasta 2 Mbps), se admite el uso de un factor de ensanchamiento variable y conexiones de núcleo múltiple.
  
- ✓ La tasa de chips o velocidad de segmentos de 3,84 Mcps conducen a una banda ancha de portadora de aproximadamente 5 MHz. Sistemas DS-CDMA con una banda ancha de 1 MHz, como IS-95, se conoce comúnmente como sistemas CDMA de banda estrecha. La amplia banda ancha de portadora inherentemente de WCDMA, soporta altas velocidades de datos de los usuarios y también tiene ciertas ventajas de rendimiento, como el aumento de la diversidad de trayectos múltiples. Sin perjuicio de su licencia de explotación, el operador de red puede implementar varias portadoras de 5 MHz para aumentar la capacidad, posiblemente en forma de capas de células jerárquicas. La separación de

portadoras reales, se puede seleccionar en una cuadrícula de 200 kHz entre aproximadamente 4,4 y 5 MHz, dependiendo de la interferencia entre las portadoras.

- ✓ WCDMA soporta velocidades de datos de usuario altamente variables, en otras palabras, el concepto de la obtención de banda ancha bajo demanda (BOD) está bien soportado. La velocidad de datos de usuario se mantiene constante durante cada trama de 10 ms. Sin embargo, la capacidad de datos entre los usuarios puede cambiar desde trama (frame) a trama. Esta rápida asignación de capacidades estará típicamente controlada por la red para lograr el rendimiento óptimo para los servicios de datos por paquetes.
  
- ✓ WCDMA soporta dos modos de operación básicos: Duplexación por División de Frecuencia (Frequency Division Duplex, FDD) y Duplexación por División de Tiempo (Time Division Duplex, TDD). En el modo FDD, las frecuencias de portadora separadas 5 MHz se utilizan para enlaces ascendente y descendente, respectivamente, mientras que en el modo TDD sólo una frecuencia de portadora de 5 MHz es compartida entre el tiempo de enlaces ascendente y descendente. El enlace ascendente, es la conexión desde el móvil a la estación base; y el enlace descendente, es desde la estación base al móvil.
  
- ✓ WCDMA soporta la operación de estaciones base asíncrona, de modo que, a diferencia del sistema IS-95 síncrono, no hay necesidad de una referencia de tiempo global, tal como un GPS. El despliegue de estaciones base para interiores (indoor) y micro es más fácil cuando ninguna señal GPS sea recibida.



- ✓ WCDMA emplea detección coherente tanto para enlaces ascendente y descendente basado en la utilización de símbolos piloto o piloto común. Mientras que ya se utiliza en el enlace descendente en IS-95, el uso de detección coherente en el enlace ascendente es nuevo para los sistemas públicos CDMA y con esto daba lugar a un aumento global de la cobertura y capacidad en los enlaces ascendentes.
- ✓ La interfaz de aire WCDMA ha sido diseñado de tal manera que los conceptos de receptores avanzados CDMA, como la detección multiusuario y las antenas adaptativas inteligentes pueden ser desplegados por el operador de la red como una opción de sistema para aumentar la capacidad y/o cobertura. En la mayoría de los sistemas 2G (Segunda Generación) no se ha previsto para tales conceptos del receptor y, como resultado, o bien no son aplicables o puede ser aplicado sólo bajo severas restricciones con aumentos limitados en el rendimiento.
- ✓ WCDMA se ha diseñado para ser desplegado en combinación con GSM. Por lo tanto, el traspaso entre GSM y WCDMA son compatibles con el fin de ser capaces de aprovechar la cobertura GSM para la introducción de WCDMA.

En la tabla 2.1 se muestra la comparación entre los diferentes sistemas móviles WCDMA, IS-95 y GSM.

Tabla 2. 1: Comparativa entre los diferentes sistemas móviles.

	WCDMA	IS-95	GSM
Ancho de banda velocidad de chip	5 MHz CDMA / 3.84 Mchip/sq	1.25 MHz / 1.2288 Mchip/sq	200 kHz TDMA
Reutilización de frecuencia	1		~4 – 18
Traspaso Intra- sistema	Traspaso Soft/softer comunicación simultanea con varias EB	Traspaso soft /softer	Traspaso Hard (antes de una conexión nueva, libera el canal)
Traspaso Inter-sistema	Traspaso a GSM	Traspaso a AMPS	
Diversidad en frecuencia	Receptor Rake	Receptor Rake	Ecuación y frequency hopping
Control de potencia	1500 Hz ambos enlaces	800 Hz (Uplink). C. lento (Downlink)	2 Hz o menor
Búsqueda de celda	canal de sincronización y códigos scrambling		Canales de frecuencia
Diversidad de transmisión	Soportada en downlink	Soportada en downlink	No soportada

Fuente: (Quintero F. V. M., 2016)

### 2.1.2. Principios fundamentales del funcionamiento CDMA.

La figura 2.1 representa el funcionamiento básico de ensanchamiento (Spreading) y desanchamiento (Despreading) de un sistema DS-CDMA. Los datos del usuario se suponen aquí como la modulación BPSK de secuencia de bits de la tasa  $R$ , los bits de datos de usuario asumen valores de  $\pm 1$ . La operación de ensanchado, en este ejemplo, es la multiplicación de cada bit de datos de usuario con una secuencia de 8 bits de código, llamados chips. Vemos que el ensanchado de datos resultante es igual a una tasa de  $8 \times R$  y tiene la misma apariencia aleatoria (similar al pseudo-ruido) tal como el código de ensanchamiento. En este caso diríamos que se utilizó un factor de expansión de 8. Esta señal de banda ancha sería entonces transmitida a través de un canal inalámbrico para el extremo receptor.

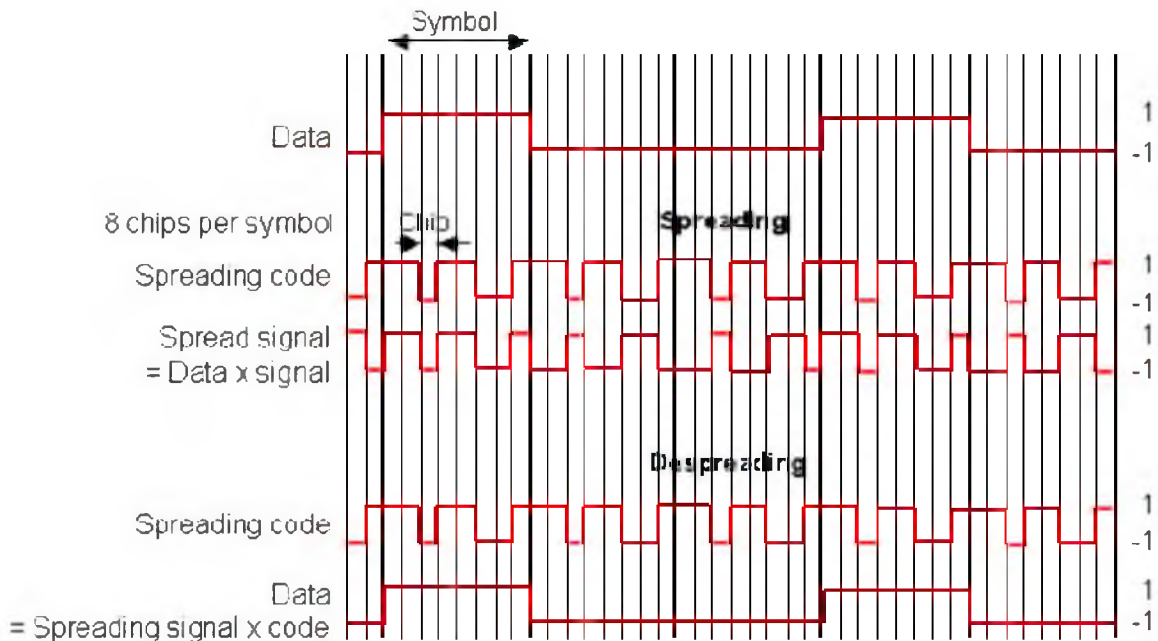


Figura 2. 1: Diagrama de tiempo de ensanchado y desenchado en DS-SS-SSA.

Fuente: (Mahbubur R. , Khairul , Hassan-Al-Mahmud, & Mahmud, 2012)

Durante el desenchamiento multiplicamos la secuencia de datos/chip de usuario ensanchado, tal como se muestra en la figura 2.1 la secuencia original de bits de usuario se ha recuperado perfectamente, siempre tenemos sincronización perfecta entre la señal de ensanchamiento y el código (de) ensanchamiento.

El aumento de la tasa de señalización por un factor de 8 corresponde a una ampliación (por un factor de 8) del espectro ocupado de la señal de datos de usuario ensanchado. Debido a esta virtud, los sistemas CDMA están más generalmente llamados sistemas de espectro ensanchado. El desenchado restaura la banda ancha proporcional a  $R$  para la señal. (Mahbubur R. , Khairul , Hassan-Al-Mahmud, & Mahmud, 2012)

El funcionamiento básico del receptor de correlación para CDMA se muestra en la figura 2.2. La mitad superior de la figura muestra la recepción de

la señal propiamente deseada. Al igual que en la figura 2.1, vemos la operación de supresión de expansión con un código perfectamente sincronizado. A continuación, los integra al receptor de correlación (es decir, lo suma) los productos resultantes (datos de x código) para cada bit de usuario. (Holma & Toskala, 2010)

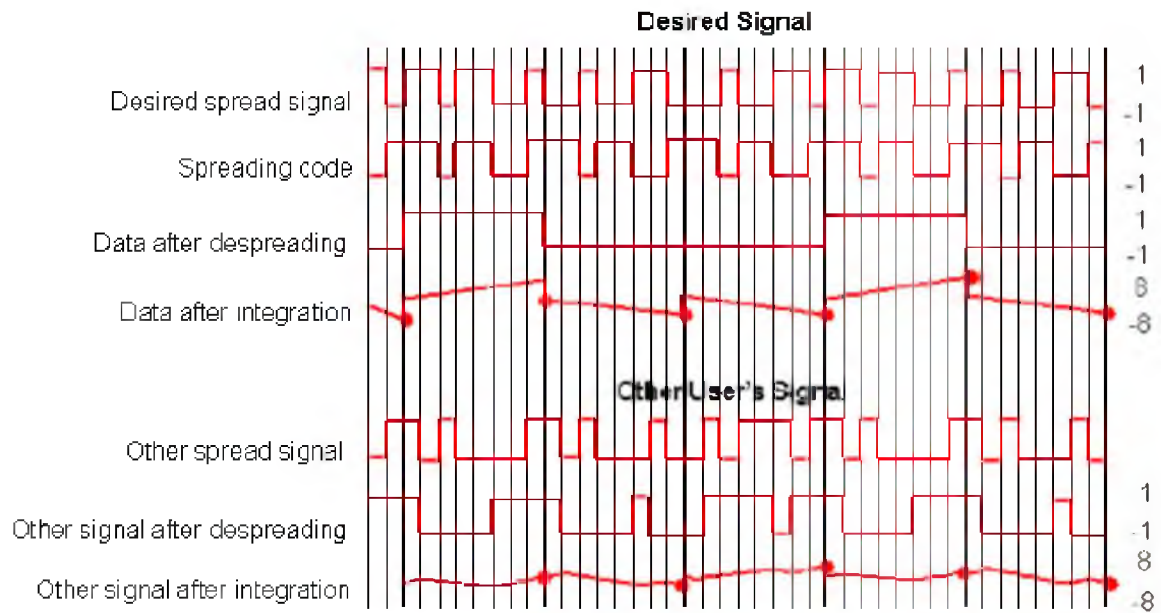


Figura 2. 2: Diagrama de tiempo de ensanchado y desenchado en DS-CDMA.  
Fuente: (Holma & Toskala, 2010)

La mitad inferior de la figura 2.2 muestra el efecto de la operación de desenchamamiento cuando se aplica a la señal de CDMA de otro usuario cuya señal se supone que ha sido ensanchada con un código de ensanchamiento diferente. El resultado de multiplicar la señal interferente con el propio código y la integración de los productos resultantes conduce a valores de señal de interferencia persistentes alrededor de 0. (Holma & Toskala, 2010)

### 2.1.3. Radio Multitrayecto y detección Rake.

Según (Holma & Toskala, 2010) la propagación de radio en el canal móvil terrestre se caracteriza por múltiples reflexiones, difracciones y atenuación de la

señal de energía. Estas son causadas por obstáculos naturales, tales como edificios, colinas, y así sucesivamente, lo que resulta en la llamada propagación por trayectos múltiples. De acuerdo a (Holma & Toskala, 2010) existen dos efectos resultantes de la propagación por trayectos múltiples:

- a) La energía de la señal puede llegar al receptor a través de instantes de tiempo claramente distinguibles. La energía que llega está "manchada" en un determinado perfil de retardo multitrayecto (véase la figura 2.3). El perfil de retardo se extiende normalmente de 1 a 2  $\mu s$  en las zonas urbanas y suburbanas, aunque en algunos casos los retrasos es hasta 20  $\mu s$  o más, con la señal significativa de energía se han observado en zonas montañosas. La duración de chips a 3.84 Mcps es 0.26  $\mu s$ . Si la diferencia de tiempo de los componentes de trayectos múltiples es de al menos 0,26  $\mu s$ , el receptor WCDMA puede separar los componentes de trayectos múltiples y combinarlos de manera coherente para obtener la diversidad de trayectos múltiples. El retardo de 26  $\mu s$  se puede obtener si la diferencia de longitudes de trayecto es de al menos 78 m. Con una velocidad de chip de aproximadamente 1 Mcps, la diferencia en las longitudes de trayectoria de los componentes de trayectorias múltiples debe ser de aproximadamente 300 m, que no puede ser obtenida en las células pequeñas. Por lo tanto, es fácil ver que 5 MHz de WCDMA puede proporcionar diversidad de trayectos múltiples en las células pequeñas, que no es posible con IS-95.
  
- b) Además, para una determinada posición de retardo de tiempo por lo general hay muchos caminos casi iguales en longitud a lo largo que viaja la señal de radio. Por ejemplo, las trayectorias con una diferencia de longitud de  $\frac{\lambda}{2}$  (a 2 GHz, esto es aproximadamente 7 cm) llegan prácticamente al mismo instante cuando se compara con la duración de

un único chip, que es 78 m en 3,84 Mcps. Como resultado, la cancelación de la señal, llamado rápido desvanecimiento, tiene lugar ya que el receptor se mueve a través de distancias incluso cortas. La cancelación de señal se entiende mejor como una suma de varios fasores ponderados que describen el desplazamiento de fase y la atenuación a lo largo de un cierto camino en un cierto instante de tiempo.



Figura 2. 3: Propagación multitrayecto provoca perfil de retardo multitrayecto.  
Fuente: (Mendo T. & García V., 2016)

#### 2.1.4. Control de Potencia en UMTS.

Para los autores (Cañadas & Casadevall, 2001) el control de potencia puede llegar a considerarse como uno de los aspectos más importante en WCDMA, particularmente para el enlace ascendente, y es la solución natural al problema que representa ofrecer calidad de servicio variable. Sin ella, un solo móvil Overpowered podría bloquear una célula completa. En la figura 2.4 se representa el problema y la solución en la forma de control de potencia de transmisión de bucle cerrado.

Asimismo, (Cañadas & Casadevall, 2001) indican que especificar diferentes calidades de servicios (QoS) para distintos tipos de tráfico permite ajustar de manera mucha más precisa la gestión de los recursos de radio de un sistema celular. Como además el control de potencia mitiga el efecto de la

interferencia intracell e intercell que supone el reuso frecuencial, el impacto global del control de potencia provoca un aumento substancial de la capacidad del sistema.

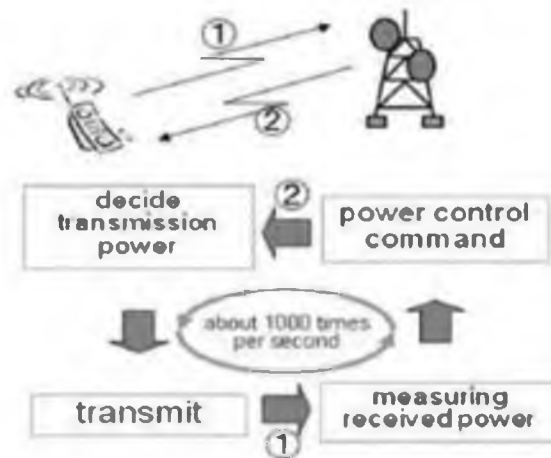


Figura 2. 4: Control de potencia de bucle cerrado.  
Fuente: (Mendo T. & García V., 2016)

### 2.1.5. Diferentes tipos de traspasos.

Para comunicaciones móviles UMTS se utilizan tres tipos de traspasos que de acuerdo a (Domínguez G., 2009) son:

a) Softer Handover.

De acuerdo a (Domínguez G., 2009) softer handover se la conoce también como el traspaso entre sectores de una estación. Según (Guillén G., 2008) durante un softer handover, una estación móvil está entre el área de cobertura donde dos sectores que pertenecen a la misma estación base se solapan. Mientras que para (Holma & Toskala, 2010) estrictamente hablando Softer handover no es realmente un traspaso, debido a que en este caso el equipo de usuario (User Equipment, UE) combina más de un enlace de radio para mejorar la calidad de recepción.

Por otro lado el Nodo B (en la estación base transceptora - Base Transceiver Station, BTS) combina los datos de más de una célula para

obtener datos de buena calidad desde la UE. El número máximo de Radio Enlaces de que una UE puede apoyar simultáneamente es igual a 8. En la práctica esto se limitaría a 4, ya que es muy difícil hacer que el receptor tenga 8 enlaces.

Finalmente, (Guillén G., 2008) sostiene que mientras se ejecuta “Softer Handover” únicamente existirá un lazo de control de potencia por conexión, este efecto ocurre entre un 5% y 15% de las conexiones tal como se ilustra en la figura 2.5.

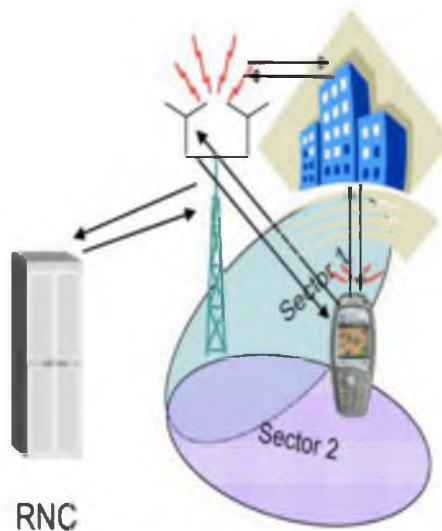


Figura 2. 5: Tipo de traspaso – Softer Handover.  
Fuente: (Guillén G., 2008)

b) Soft Handover.

Para (Domínguez G., 2009) soft handover es llamado como traspaso intra-frecuencia o traspaso gradual. El traspaso gradual del UE de acuerdo a (Mohammed H. & Nabi M., 2013) puede estar conectado a más de un canal, al mismo tiempo, también es conocida como hacer antes del receso, ya que debe mantener el canal anterior de la fuente hasta llegar al canal de la celda de origen.



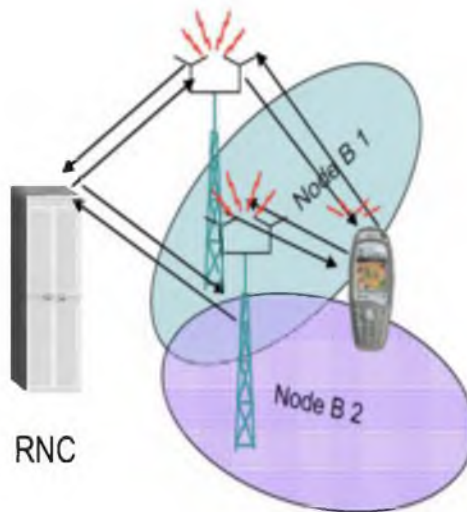


Figura 2. 6: Tipo de traspaso – Soft Handover.  
Fuente: (Guillén G., 2008)

Aunque el traspaso gradual incrementa la complejidad, este también tiene muchas ventajas tales como el alto hand over sobre el porcentaje de éxito y la reducción de la probabilidad de llamada perdida y la eliminación de la interferencia. Para (Guillén G., 2008) en la figura 2.6 se generan dos lazos de control de potencia para cada estación.

c) Hard Handover.

Según (Holma & Toskala, 2010) Hard Handover significa que todos los viejos enlaces de radio en la UE se eliminan antes de que se establezcan nuevos enlaces de radio. Este tipo de traspaso o handover, según (Guillén G., 2008) ocurre entre frecuencias, modos y sistemas. La primera, ocurre para altas capacidades de las estaciones base (Base Station, BS) con algunas portadoras; mientras que la segunda, existe convergencia entre los modos FDD-TDD; y el tercero, con cualquier otro sistema. En la figura 2.7 se muestra un ejemplo de Hard Handover.

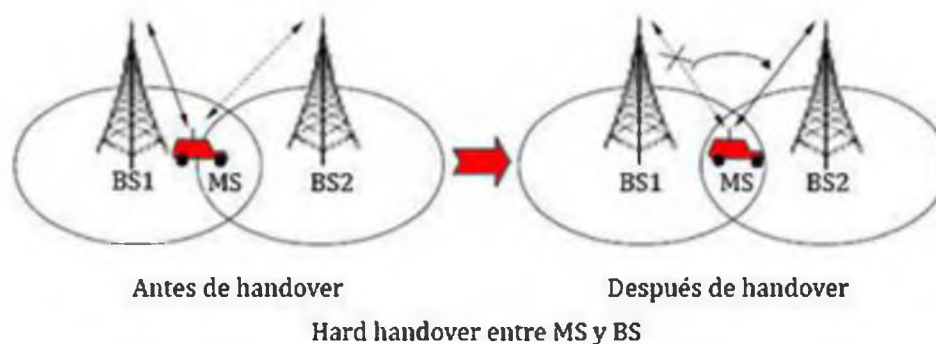


Figura 2. 7: Tipo de traspaso – Hard Handover.  
Fuente: (Guillén G., 2008)

### 2.1.6. Estructura de la red UMTS.

La arquitectura UMTS 3G es requerida para proporcionar un mayor nivel de rendimiento en redes originales GSM. En el trabajo de (Villacís T., 2014) indica que la mayoría de redes que emigraron a sistemas GPRS y EDGE ya disponían la capacidad de transmitir datos. Sin embargo, la mayoría de equipos requeridos en las arquitecturas de la red móvil WCDMA/UMTS se comportaban como una migración. Lo cual reducía considerablemente el costo de implementación de la red UMTS, debido a que muchos elementos estaban en su lugar o requería de actualización. Uno de los principales objetivos de UMTS fue la capacidad de transportar datos, para lo cual (Villacís T., 2014) afirma que la arquitectura de red UMTS fue diseñada para optimizar el funcionamiento en la transmisión de datos mediante redes GSM.

Para (Guillén G., 2008) los elementos de la red están agrupados dentro de la Red de Acceso de Radio (RAN, UMTS Terrestrial RAN = UTRAN) y el Núcleo de la Red (CN), que es responsable por la conmutación y el enrutamiento de llamadas y conexiones de datos hacia las redes externas. Mientras que (Quintero F. V., 2016) interpreta la estructura típica de una red UMTS a través de la figura 2.8.

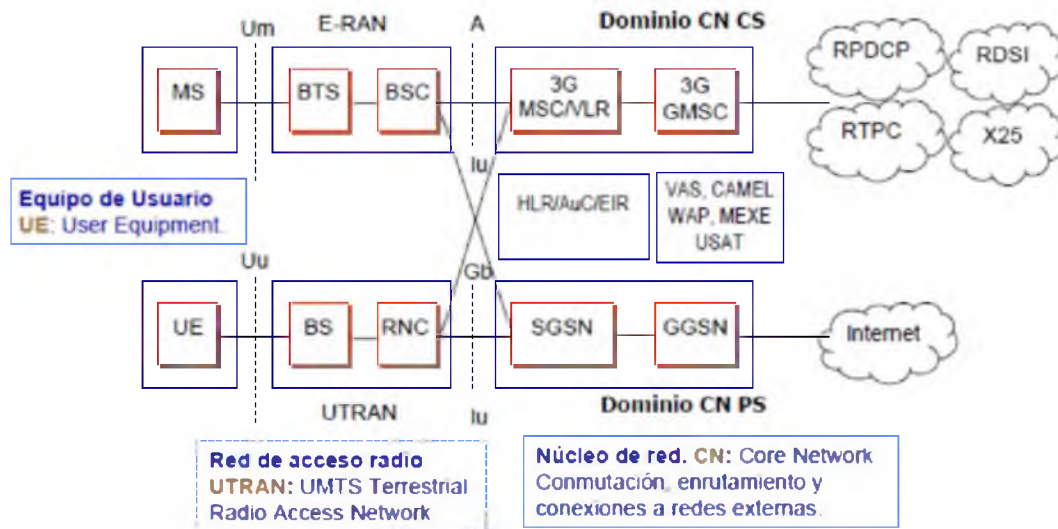


Figura 2. 8: Estructura de la arquitectura de red UMTS.  
 Fuente: (Quintero F. V. , 2016)

A continuación, se describen brevemente cada uno de los elementos de la arquitectura de red UMTS:

**a) Equipo de Usuario (UE):**

El equipo de usuario, es el nombre que recibe el precedente denominado móvil o teléfono celular, fue llamado así por ser de mayor funcionalidad. También podría ser cualquier cosa entre un teléfono móvil utilizado para hablar con un terminal de datos conectado a un equipo sin capacidad de voz (Villacís T., 2014).

**b) Subsistema de Red Radio (RNS):**

Los RNS también conocida como la Red de Acceso Radio UMTS, UTRAN. Para (Villacís T., 2014) RNS es el antecesor del subsistema de estación base (BSS) o también conocido como GSM. Es decir, que RNS suministra y gestiona la interfaz de aire para la red UMTS en general.

**c) Red de núcleo:**

La red principal proporciona los requisitos y la gestión central para el sistema UMTS. Para (Villacís T., 2014) es el antecesor del subsistema de conmutación de red GSM o NSS.

En la figura 2.9 se muestra la arquitectura empleada por Huawei, que brinda soporte y servicios de telecomunicaciones a la CNT EP y varias empresas privadas que disponen servicios de comunicaciones celulares de 3ra generación.

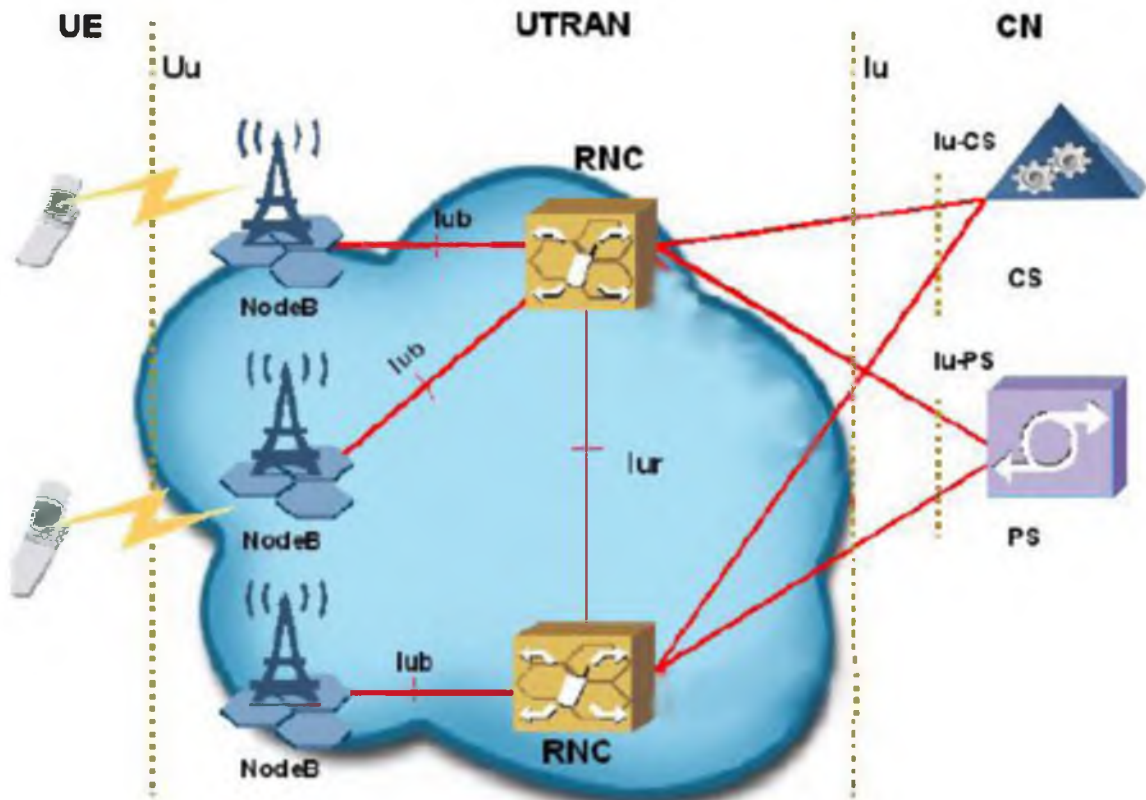


Figura 2. 9: Topología empleada por Huawei en WCDMA/UMTS.  
 Fuente: (Quintero F. V. , 2016)

## 2.2. Tecnología de Comunicaciones Móviles 4G.

### 2.2.1. Introducción de la Comunicación Móvil 4G.

Para (Adokar & Rajput, 2012) 4G adquiere una serie de definiciones igualmente verdaderas, dependiendo de a quién le está hablando. En términos más simples, 4G es la nueva generación de redes inalámbricas, que sustituirán las redes 3G y a futuro en otros países donde sigue presente la tecnología 3G. Aunque en el escenario actual 4G no está claramente definido.

Para (Romen K., Ajith S., Vasanthi, Bharaathi, & Hemalatha, 2011) la versión de 4G a menudo era conocida como "visión lineal" de 4G, esto implica la integración de redes de conmutación de paquetes con todos los elementos de redes digitales, así como altas velocidades de banda ancha disponible de 1 Gbps (punto muerto) y de 100 Mbps en movimiento. Este punto de vista es mucho más prevalente en Asia que otro lugar en el mundo.

Aunque, (Romen K., et al, 2011) también define a 4G como la "visión concurrente" de 4G, siendo esta una plataforma convergente que consisten en redes y sistemas heterogéneos. Este punto de vista es más relevante en Europa. La cuarta generación (4G) de los sistemas celulares inalámbricos ha sido un tema de interés desde hace mucho tiempo, probablemente desde la definición formal de los sistemas de tercera generación (3G) fue terminado oficialmente en 1997 por el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R).

Una serie de requisitos fueron especificados por la UIT-R en relación con las velocidades pico de datos mínimas en diferentes ambientes a través del conocido Proyecto de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000). Los requisitos incluyen 2048 kbps para una oficina de interior, 384 kbps para exterior a entornos peatonales interiores, 144 kbps para conexiones vehiculares, y 9,6 kbps para conexiones por satélite.

Los requisitos incluyen 2048 kbps para oficinas indoor (interiores), 384 kbps para outdoor (exteriores) a entornos peatonales interiores, 144 kbps para conexiones vehiculares, y 9,6 kbps para conexiones por satélite. Con el objetivo de crear una entidad de colaboración entre diferentes asociaciones de telecomunicaciones, (3GPP, 2016) estableció el Proyecto de Asociación para la Tercera Generación (Third Generation Partnership Project, 3GPP) en 1998. Se

inició trabajando en la radio, núcleo de red, y la arquitectura de servicios de una especificación de la tecnología 3G de aplicación mundial.

A pesar de que las tasas de datos de 3G ya eran reales, en teoría, los sistemas iniciales como UMTS no cumplieron inmediatamente los requisitos de la IMT-2000 en sus implementaciones prácticas.

### **2.2.2. Evolución a la tecnología móvil 4G.**

En la página de (4G-Americas, 2016) la combinación del Acceso Descendente de Paquetes a Alta Velocidad (High-Speed Downlink Packet Access, HSDPA) y la consecuente incorporación de un mejor canal dedicado, también conocido como Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad (High-Speed Uplink Packet Access, HSUPA), permitieron el desarrollo de la tecnología conocida como Acceso de Paquetes a Alta Velocidad (High-Speed Packet Access, HSPA) o, más informalmente, 3.5G.

Motivado por la creciente demanda de servicios móviles de banda ancha con velocidades de datos más altas y de calidad de servicio (QoS), 3GPP comienza a trabajar en dos proyectos paralelos, Long Term Evolution (LTE) y la Arquitectura del Sistema Evolution (SAE), que tienen por objeto definir tanto el red de acceso radio (RAN) y el núcleo de red del sistema, y se incluyen en 3GPP Release 8.

En la figura 2.10 se muestra el diagrama esquemático de evolución de la telefonía móvil desde GSM hasta LTE. LTE/SAE, también conocido como el Sistema de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet System, EPS), representa un avance radical para la industria inalámbrica que tiene como objetivo proporcionar una baja latencia altamente eficiente, optimizado de paquetes, y servicio más seguro.

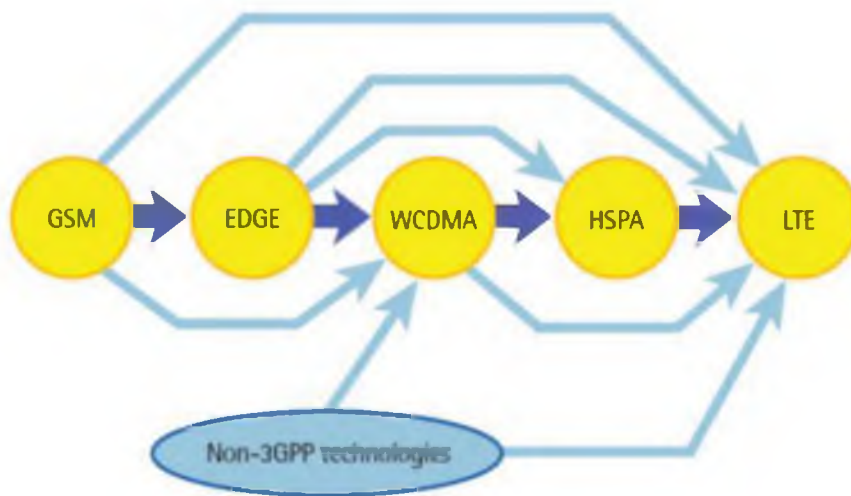


Figura 2. 10: Evolución de las tecnologías de telefonía celular.  
Fuente: (Holma & Toskala, 2010)

Los principales parámetros de diseño de acceso de radio de este nuevo sistema incluyen formas de onda de OFDM con el fin de evitar la interferencia entre símbolos que normalmente limita el rendimiento de los sistemas de alta velocidad, y de técnicas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) para aumentar las velocidades de datos. El primer servicio LTE a disposición del público del mundo fue inaugurado por TeliaSonera en las dos capitales escandinavas Estocolmo y Oslo el 14 de diciembre de 2009, y actualmente se llevan las mediciones de prueba de la tecnología 4G-LTE.

### 2.2.3. Arquitectura de la Red 4G-LTE.

3GPP especifica a su Release 8 los elementos y requisitos de la arquitectura de EPS que servirá como base para las redes de próxima generación (3GPP, 2016). Las especificaciones contienen dos principales elementos de trabajo, a saber, LTE y SAE, que según (Miñarro L., 2016) llevaron a las siguientes especificaciones:

- a. Núcleo de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet Core, EPC). En la figura 2.11 se muestran los elementos principales de EPC.

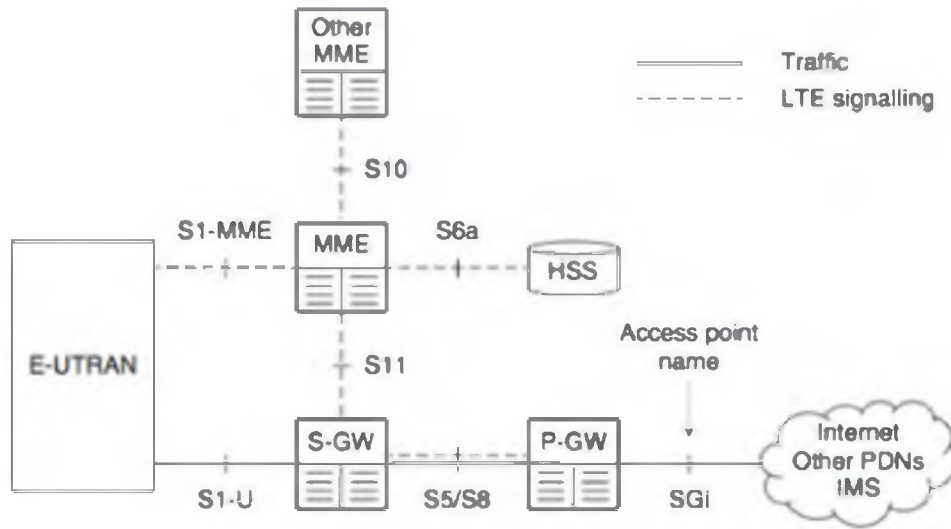


Figura 2. 11: Elementos principales de EPC.  
Fuente: (Cox, C., 2014)

- b. Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionada (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN). En la figura 2.12 se muestra la arquitectura de E-UTRAN.

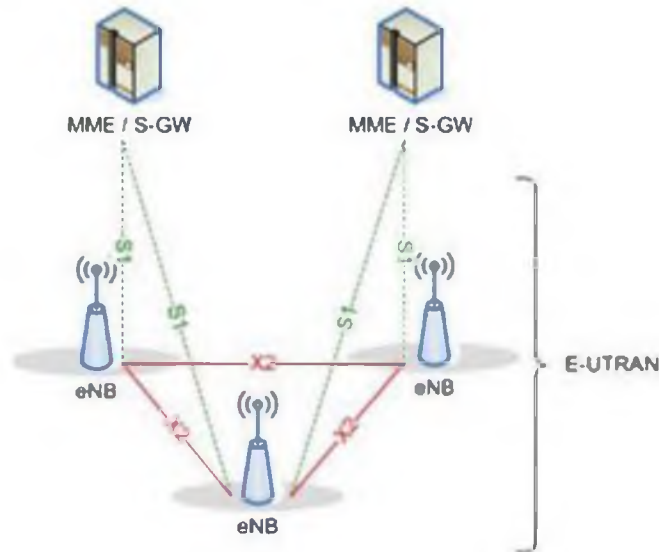


Figura 2. 12: Arquitectura de E-UTRAN.  
Fuente: (LTE-Tutorial, 2016)



c. Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionada (Evolved Universal Terrestrial Radio Access, E-UTRA)

En el trabajo de (Villacís T., 2014) las especificaciones descritas corresponden al Núcleo de Red, a la Red de Acceso Radio, y a la Interfaz de Aire del sistema 4G-LTE, respectivamente. La EPS proporciona conectividad IP entre la UE y la red de paquetes de datos externos mediante el uso de E-UTRAN. En la figura 2.13 se muestra el diagrama de bloques de EPS, otros paquetes y los elementos de la conmutación de circuitos y 3GPP RAN, junto con las interfaces más importantes.

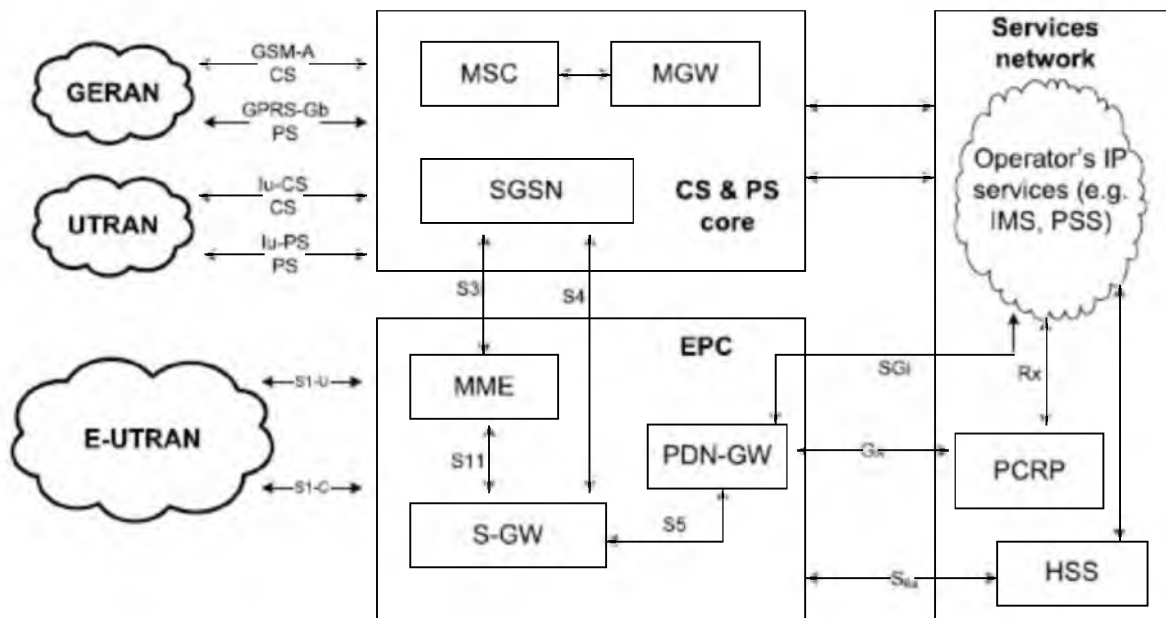


Figura 2. 13: Visión general de EPS para accesos a 3GPP.  
Fuente: (Holma & Toskala, 2010)

Para (Rueda P. & Ramos R., 2012) en la red de servicios, sólo la función política y reglas de cargas (Policy and Charging Rules Function, PCRF) y el Servidor de Abonado Local (HSS) se incluyen, por simplicidad. En el contexto de los sistemas 4G, tanto en la interfaz de aire y de la red de acceso de radio se

están mejorando o redefiniendo, pero hasta ahora la arquitectura EPC, no está sometido a grandes cambios de la arquitectura SAE ya estandarizada.

#### 2.2.4. LTE-Advanced E-UTRAN

En la figura 2.14, se muestra la arquitectura de E-UTRAN para LTE Advanced. La parte fundamental en la arquitectura E-UTRAN es el mejorado nodo B, también conocido como eNodo B o eNB, que proporciona la interfaz de aire con terminaciones del plano de usuario y plano de control de protocolo hacia la UE. Cada uno de los eNBs, es un componente lógico que sirve a una o varias células E-UTRAN, y la interfaz que interconecta el eNBs se llama la interfaz X2.

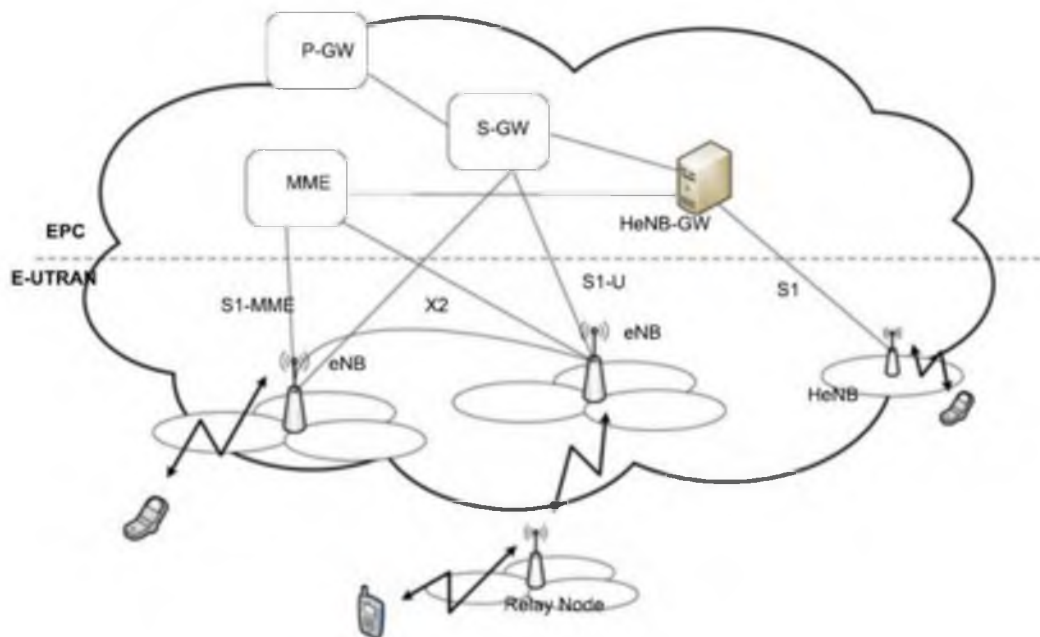


Figura 2. 14: Arquitectura LTE-Advanced E-UTRAN.

Fuente: (Holma & Toskala, 2010)

Además, las HeNBs conocidas también como femtoceldas, que son eNBs de menor costo para la mejora de la cobertura en interiores, se pueden conectar directamente a la EPC o a través de una puerta de enlace que proporciona apoyo adicional para un gran número de HeNBs. Además, que 3GPP consideró los nodos de retransmisión y estrategias de reinstalación sofisticadas para mejorar

el rendimiento de la red. Los objetivos de esta nueva tecnología, es de incrementar la cobertura, mayores velocidades de datos, y un mejor rendimiento de calidad de servicio y equidad para los diferentes usuarios.

La figura 2.15 muestra una visión gráfica de ambos protocolos Stack o de pila. En el plano de usuario, los protocolos que se incluyen son el Protocolo de Paquetes de Datos de Convergencia (PDCP), el Control de Enlace de Radio (RLC), Control de Acceso al Medio (MAC) y protocolos de la capa física (PHY). La pila del plano de control incluye, además, los protocolos de Control de Recursos de Radio (RRC).

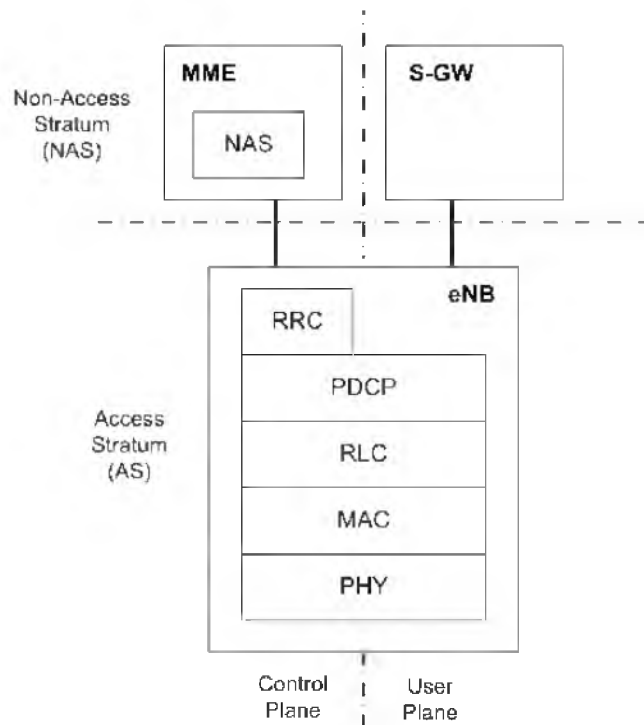


Figura 2. 15: Protocolo Stack o de Pila.  
Fuente: (Holma & Toskala, 2010)

La figura 2.16 nos muestra gráficamente la comparativa entre las tecnologías de 3G-UMTS y 4 G-LTE.

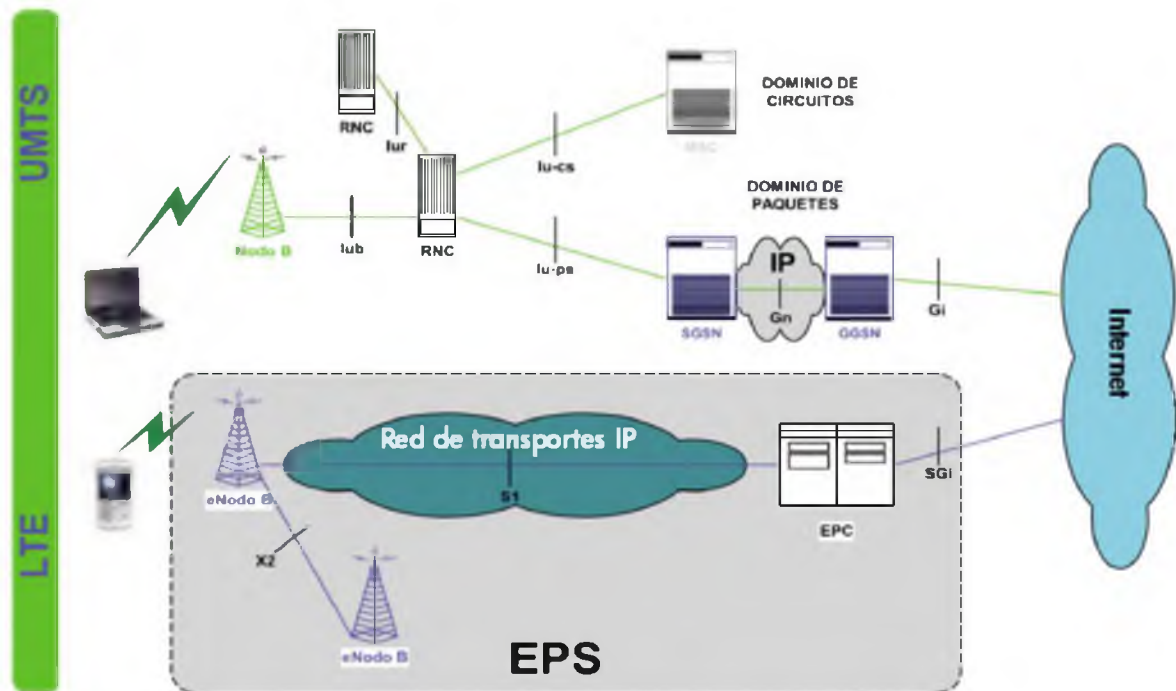


Figura 2. 16: Comparativa entre las arquitecturas 4G-LTE y 3G-UMTS.

Fuente: (Miñarro L., 2016)

### 2.2.5. La gestión del espectro y de la banda ancha.

Con el fin de cumplir los requisitos de IMT-Advanced, así como los de los operadores 3GPP, LTE-Advanced considera el uso de banda ancha hasta 100 MHz en las siguientes bandas de espectro (además de los ya asignados por LTE):

- ✓ Banda entre 450-470 MHz (identificado en la CMR-07 que se utiliza a nivel mundial para los sistemas IMT).
- ✓ Banda entre 698-862 MHz (identificado en la CMR-07 que se utilizará en la Región 22 y nueve países de la Región 3).
- ✓ Banda entre 790-862 MHz (identificado en la CMR-07 que se utilizará en las Regiones 1 y 3).
- ✓ Banda entre 2,3 a 2,4 GHz (identificado en la CMR-07 que se utiliza a nivel mundial para los sistemas IMT).

- ✓ Banda entre 3,4 a 4, 2 de la banda 3,4 a 3,6 GHz (Gigahertz identificadas en la CMR-07 que se utilizan en un gran número de países).
- ✓ 4,4 a 4,99 GHz.

### 2.2.5.1. Agregación de portadora.

Para aprovechar al máximo LTE-Advanced los anchos de banda más amplios de hasta 100 MHz, manteniendo la compatibilidad con LTE, se ha propuesto un esquema de agregación de portadoras. Para (Rodríguez, 2016) la agregación de portadoras, consiste en agrupar algunos componentes de portadora (Component Carrier, CC) (por ejemplo de hasta 20 MHz), de modo que los dispositivos de LTE Advanced sean capaces de utilizar una mayor cantidad de banda ancha (por ejemplo, hasta 100 MHz), mientras que al mismo tiempo, permite que los dispositivos LTE continúen viendo el espectro como componentes de portadora separados. En la figura 4 se ilustra el concepto de agregación de portadora del ancho de banda contigua.

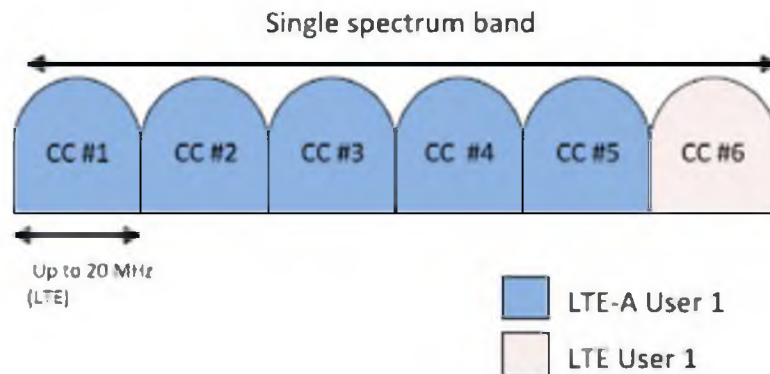


Figura 2. 17: Agregación de portadora en banda ancha contiguas.  
Fuente: (Miñarro L., 2016)

La figura 2.18 ilustra el caso de la agregación de portadora no contigua en la misma banda. Es decir, que dos dispositivos LTE utilizando anchos de banda de hasta 20 MHz, coexisten con un dispositivo LTE-Advanced que utiliza banda ancha agregado no contigua de hasta 100 MHz. Mientras que en la figura 2.19

se ilustra el caso de la agregación de portadoras no contigua en diferentes bandas, que es un escenario que podría resultar de la utilización simultánea de las bandas del espectro. Es decir, que dos dispositivos LTE utilizan anchos de banda de hasta 20 MHz, cada una en una banda de espectro diferente, coexistiendo con un dispositivo LTE-Advanced que utiliza banda ancha agregado no contiguo de diferentes bandas del espectro.

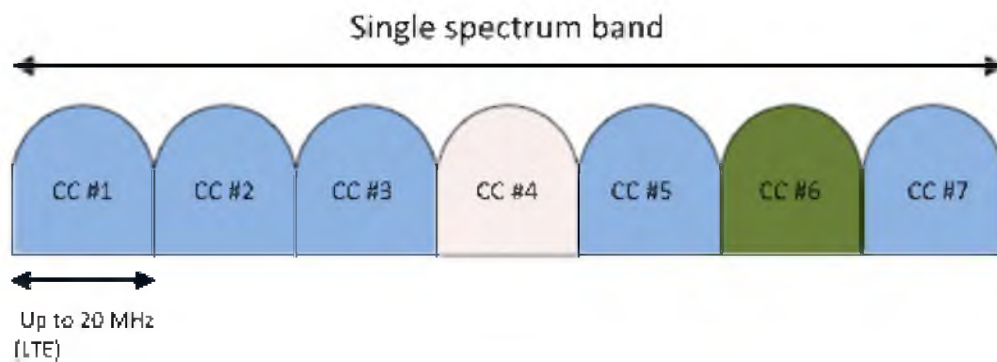


Figura 2. 18: Agregación de portadora en banda ancha no contigua, una sola banda.  
Fuente: (Miñarro L., 2016)

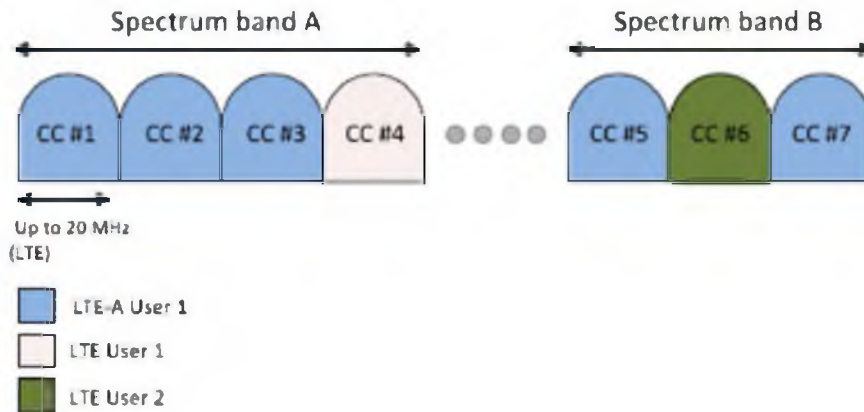


Figura 2. 19: Agregación de portadora en banda ancha no contigua, múltiples bandas.  
Fuente: (Miñarro L., 2016)

### 2.2.5.2. Los canales de control

A fin de utilizar el espectro disponible, los dispositivos deben ser capaces de acceder a los canales de control en las tramas de enlace ascendente y enlace descendente (además de otras señales de referencia). Por lo tanto, para mantener la compatibilidad con dispositivos LTE, cada una de las componentes de portadora debe mantener sus propios canales de control.

Por otro lado, si un proveedor de servicios quiere apoyar sólo los dispositivos LTE Advanced, los canales de control se podrían reducir de un conjunto de componente de portadora (hasta 20 MHz) para un sistema por grupo de componentes de portadoras agregados (hasta 100 MHz). La opción de activación/desactivación de los canales de control y señales de referencia podrían permitir que un proveedor de servicios hacer una migración progresiva de LTE para LTE-Advanced, controlando que las bandas del espectro sea accesibles para LTE y de los dispositivos para LTE-Advanced.

### **2.2.5.3. Esquema de acceso múltiple**

Para el enlace descendente, el esquema elegido para acceso múltiple es llevar a cabo la transmisión paralela de bloques de transporte (TBS) en cada CC, basado en OFDM, como en LTE. En cada CC, un solo tuberculosis (TB o dos en caso de multiplexación espacial) se transmite; También, cada CC administra su propio proceso HARQ.

Además, la mayoría de los protocolos de capa superior de LTE se reutilizan, ya que la naturaleza multi-portadora de la capa física se expone como caminos paralelos hasta la capa MAC. De esta manera, la mayor parte del desarrollo y la inversión realizada para dispositivos LTE se puede extender a LTE-Advanced.

## Capítulo 3: APLICACIONES Y ASPECTOS ECONÓMICOS

### 3.1. Situación actual de la telefonía celular en América Latina y Caribe.

En la tabla 3.1 se muestran en resumen la información de (4G-Américas-1, 2016) que se presentan los países, operadores, fecha de lanzamiento de LTE y espectro para LTE. No se consideraron todos los países debido a que la tabla es muy extensa, se pueden ver países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador y El Salvador.

El despliegue de la tecnología de telefonía celular de cuarta generación LTE en América Latina y el Caribe ha cautivado millones de usuarios. En la figura 3.1 se muestra el crecimiento anual de las tecnologías GSM, HSPA, CDMA y LTE. Podemos ver que en el 2015 el mayor incremento de suscriptores se da en la tecnología LTE de casi un 500% en relación al 2014. El resto de tecnologías excepto GSM tienen un pequeño porcentaje de incremento de usuarios en países donde aún existe la tecnología CDMA y HSPA.

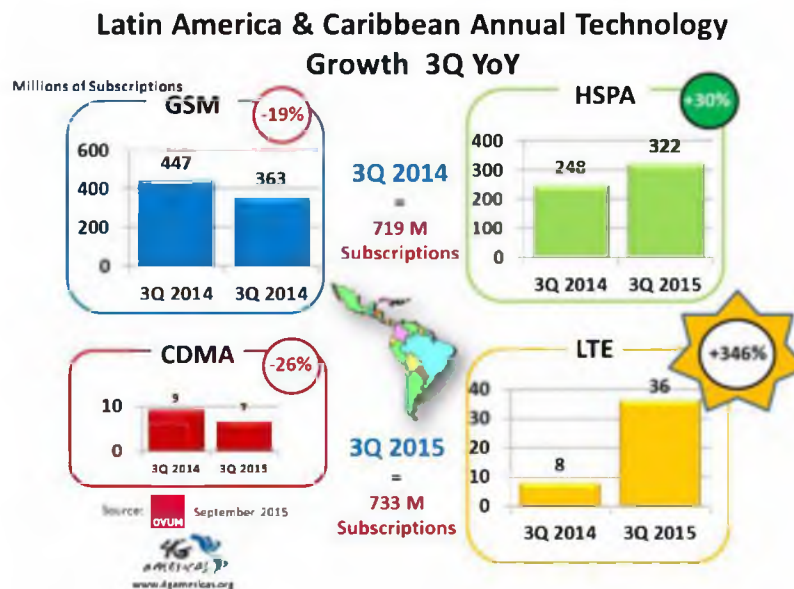


Figura 3. 1: Crecimiento anual de las tecnologías de celular en América Latina y el Caribe.

Fuente: (4G-Américas-2, 2016)



Tabla 3. 1: Estados del despliegue de LTE.

Mercado	Operador	Lanzamiento LTE	Espectro Para LTE
Country	Operator	Launch Date	LTE Spectrum
Argentina	<a href="#">Claro</a>	2015	AWS / 700 MHz APT
	<a href="#">Personal</a>	12/2014	AWS / 700 MHz APT
	<a href="#">Movistar</a>	12/2014	AWS / 700 MHz APT
	<a href="#">DirecTV</a>	2015	3500 MHz TDD
Bolivia	<a href="#">Movil de Entel</a>	12/2012	700 MHz USA
	<a href="#">Tigo</a>	07/2014	700 MHz USA
	<a href="#">Viva</a>	2015	Undetermined
Brasil	<a href="#">Claro</a>	12/2012	2600 MHz / 700 MHz APT
	<a href="#">Algar Telecom (CTBC)</a>	2015	2600 MHz / 700 MHz APT
	<a href="#">Nextel</a>	06/2014	1800 MHz
	<a href="#">On Telecomunicações</a>	03/2013	2600 TDD (38)
	<a href="#">Oi</a>	04/2013	2600 MHz
	<a href="#">Sercomtel Celular</a>	2015	2600 MHz
	<a href="#">Sky Telecom</a>	12/2011	2600 TDD (38)
	<a href="#">TIM</a>	04/2013	2600 MHz / 700 MHz APT
<a href="#">Vivo</a>	04/2013	2600 MHz / 700 MHz APT	
Chile	<a href="#">Claro</a>	06/2013	2600 MHz / 700 MHz APT
	<a href="#">Entel</a>	03/2014	2600 MHz / 700 MHz APT
	<a href="#">Movistar</a>	11/2013	2600 MHz / 700 MHz APT
	<a href="#">WOM</a>	11/2015	1700/2100 MHz
Colombia	<a href="#">Avantel</a>	08/2014	AWS
	<a href="#">Claro</a>	02/2014	2600 MHz
	<a href="#">DirectV</a>	07/2014	2600 TDD
	<a href="#">Movistar</a>	12/2013	AWS
	<a href="#">Tigo / UNE / ETB</a>	Tigo 12/2013 UNE 06/2012 ETB 10/2014	AWS / 2600 MHz
Costa Rica	<a href="#">Claro</a>	04/2014	1800 MHz
	<a href="#">Kóibi (ICE)</a>	11/2013	2600 MHz
	<a href="#">Movistar</a>	07/2014	1800 MHz
Cuba	<a href="#">Etecsa</a>	Undetermined	Undetermined
Ecuador	<a href="#">Claro</a>	2015	Undetermined
	<a href="#">CNT Mobile</a>	12/2013	AWS
	<a href="#">Movistar</a>	05/2015	1900 MHz
El Salvador	<a href="#">Claro</a>	2015	Undetermined
	<a href="#">Digicel</a>	Undetermined	Undetermined
	<a href="#">Movistar</a>	2015	Undetermined
	<a href="#">Tigo</a>	2015	Undetermined
	<a href="#">RED</a>	Undetermined	Undetermined

Fuente: (4G-Américas-1, 2016)

En la figura 3.2 se muestra el pronóstico de suscriptores y la cuota de mercado en América Latina y el Caribe hasta el 2020. Para este año 2016, se espera tener 52 millones de suscriptores en LTE y para el 2020 un total de 259 millones. La tendencia para el 2020 es disminuir el número de usuarios de la tecnología GSM.

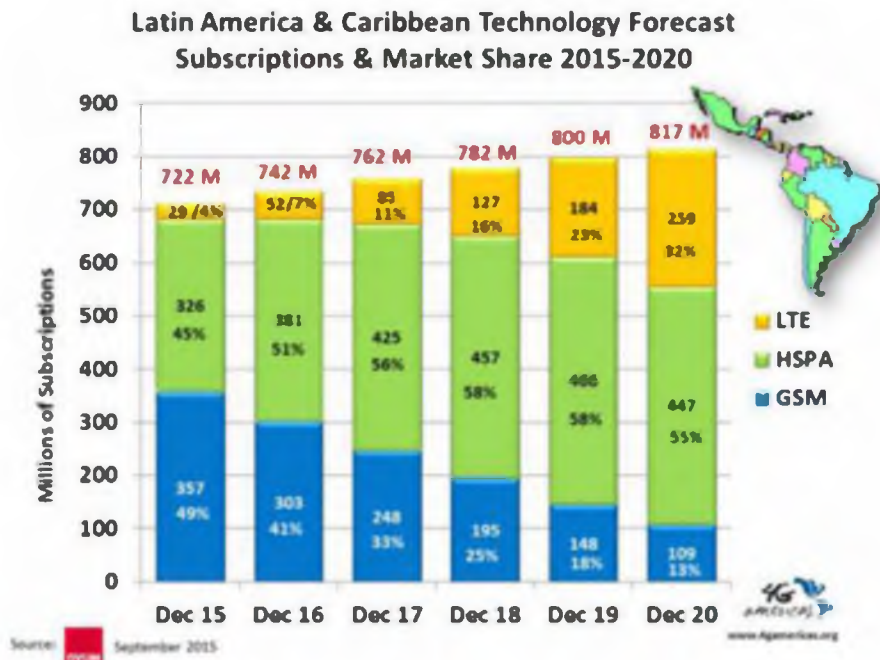


Figura 3. 2: Pronóstico de suscripciones y cuota de mercado en América Latina y el Caribe.

Fuente: (4G-Américas-2, 2016)

### 3.2. Situación actual de la telefonía celular en Ecuador.

En la actualidad, en Ecuador operan varias compañías prestadoras de servicio de telefonía móvil, tales como CNT EP (Empresa Pública), Claro y Movistar (Empresas Privadas). Hasta el 2014 se trabajó con la tecnología 3G y 3.5G tanto en voz como datos, pero a medida que los usuarios de internet móvil se incrementaban la red UMTS se saturaba la capacidad de transmisión de datos. Debido a este inconveniente, las empresas tanto CNT EP como Claro y Movistar implementan la tecnología 4G-LTE para datos, pero estas dos últimas tuvieron que pagar el espectro de frecuencia para operar en LTE.

Las tres empresas en mención, están todavía trabajando en la implementación de voz sobre LTE también conocido como **VoLTE**. Se estima que para finales del 2016 estaría operativo el sistema VoLTE. Arcotel es el ente que regula las empresas de telecomunicaciones y a través de ellos realizan las pruebas para cumplir con los parámetros de transmisión de VoLTE.

Tanto, CNT EP como Claro y Movistar funcionan aún con telefonía celular 3G, 3.5G para voz y datos, mientras que la tecnología 4G-LTE como ya se mencionó está funcionando solamente para transmisión de datos. La transmisión de datos sobre LTE ha resultado un beneficio para los usuarios de estas tres operadoras, tanto en calidad de servicio, como en prestaciones que están disponibles en los teléfonos inteligentes o smartphone.

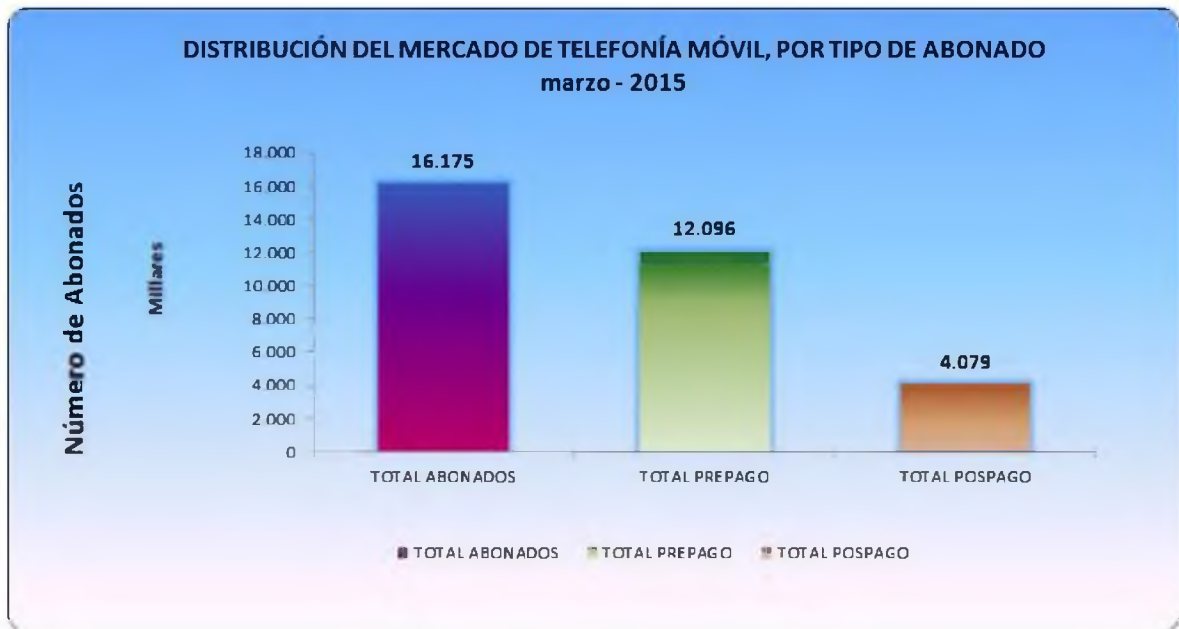


Figura 3. 3: Distribución del Mercado de Telefonía Móvil por tipo de abonado.  
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

En la figura 3.3 se muestra las estadísticas de la distribución del Servicio Móvil Avanzado (Telefonía Celular) en Ecuador de acuerdo al tipo de abonados, Prepago y Pospago (ARCOTEL, 2016). Asimismo, ARCOTEL muestra la

estadística mensual de la penetración en un 100,53% del Servicio Móvil Avanzado. Mientras que en la figura 3.4 se muestra la distribución del mercado del Servicio Móvil Avanzado (telefonía celular) en Ecuador de acuerdo a información proporcionada por las operadoras de telefonía móvil, tales como CNT EP, Claro y Movistar.

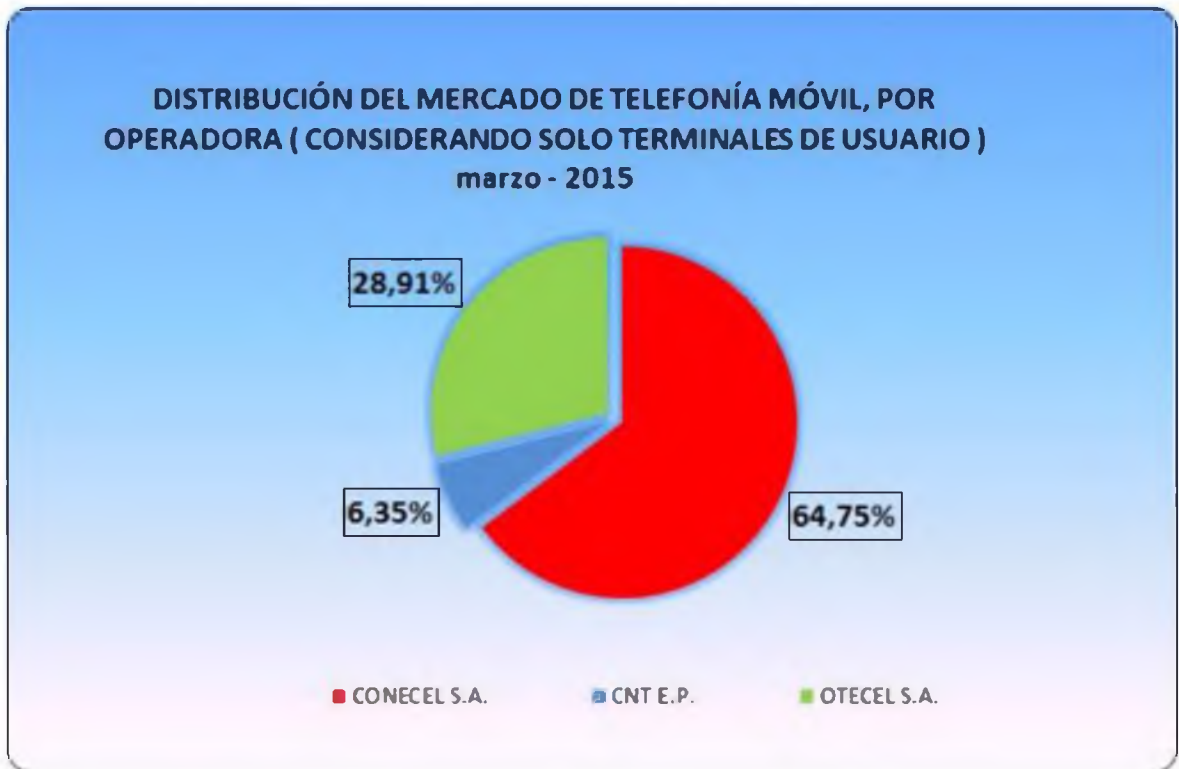


Figura 3. 4: Distribución del Mercado de Telefonía Móvil por tipo de abonado.  
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Tabla 3. 2: Líneas activas a través de terminales de usuarios y de uso público.

CONECEL S.A.			CNT E.P.			OTECCEL S.A.		
LATU	LATP	TOTAL LA	LATU	LATP	TOTAL LA	LATU	LATP	TOTAL LA
10.472.719	32.112	10.504.831	1.026.852	5.671	1.032.323	4.675.315	46.070	4.723.385

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Donde:

**LATU:** Líneas Activas del SMA prestados a través de terminales de usuario.

**LATP:** Líneas Activas del SMA prestados a través de terminales de uso público

**TOTAL LA:** Total de Líneas Activas del SMA del mes reportado.

En la figura 3.5 se muestra el crecimiento anual de abonados de telefonía móvil en el período del 2009 hasta 2015. Se puede ver claramente que la empresa Claro (CONECEL S. A.) es la que tiene hasta Marzo 2015 la mayor cantidad de abonados anual de 10.473, Movistar (OTECEL S. A.) con 4.675 y CNT EP con 1.027.

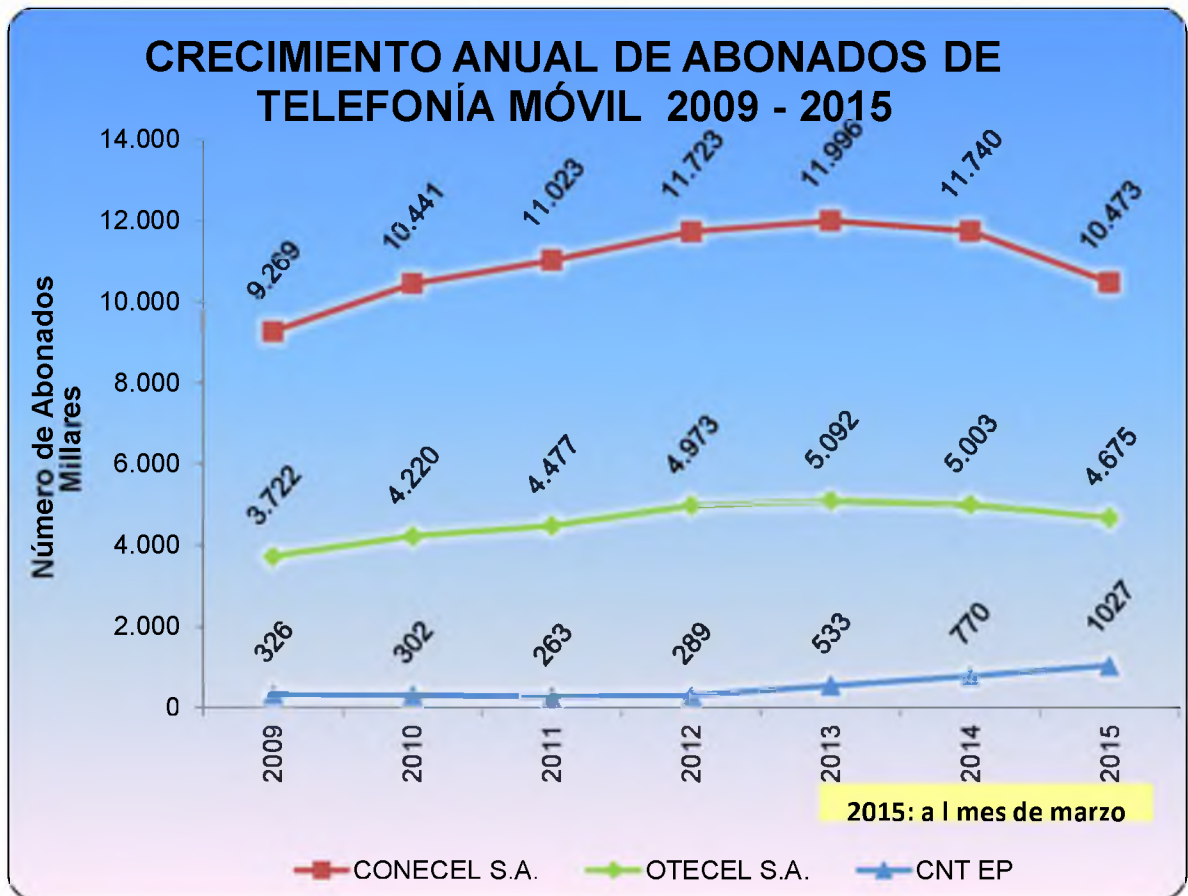


Figura 3. 5: Crecimiento anual de abonado de Telefonía Móvil entre 2009 y 2015.

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

El crecimiento mensual de abonados de telefonía móvil entre diciembre 2009 hasta marzo 2015. Se puede ver un pequeño descenso de abonados en Claro y Movistar, y un leve incremento en CNT EP. A pesar de esto, la empresa Claro sigue dominando el mercado de la telefonía móvil avanzada.



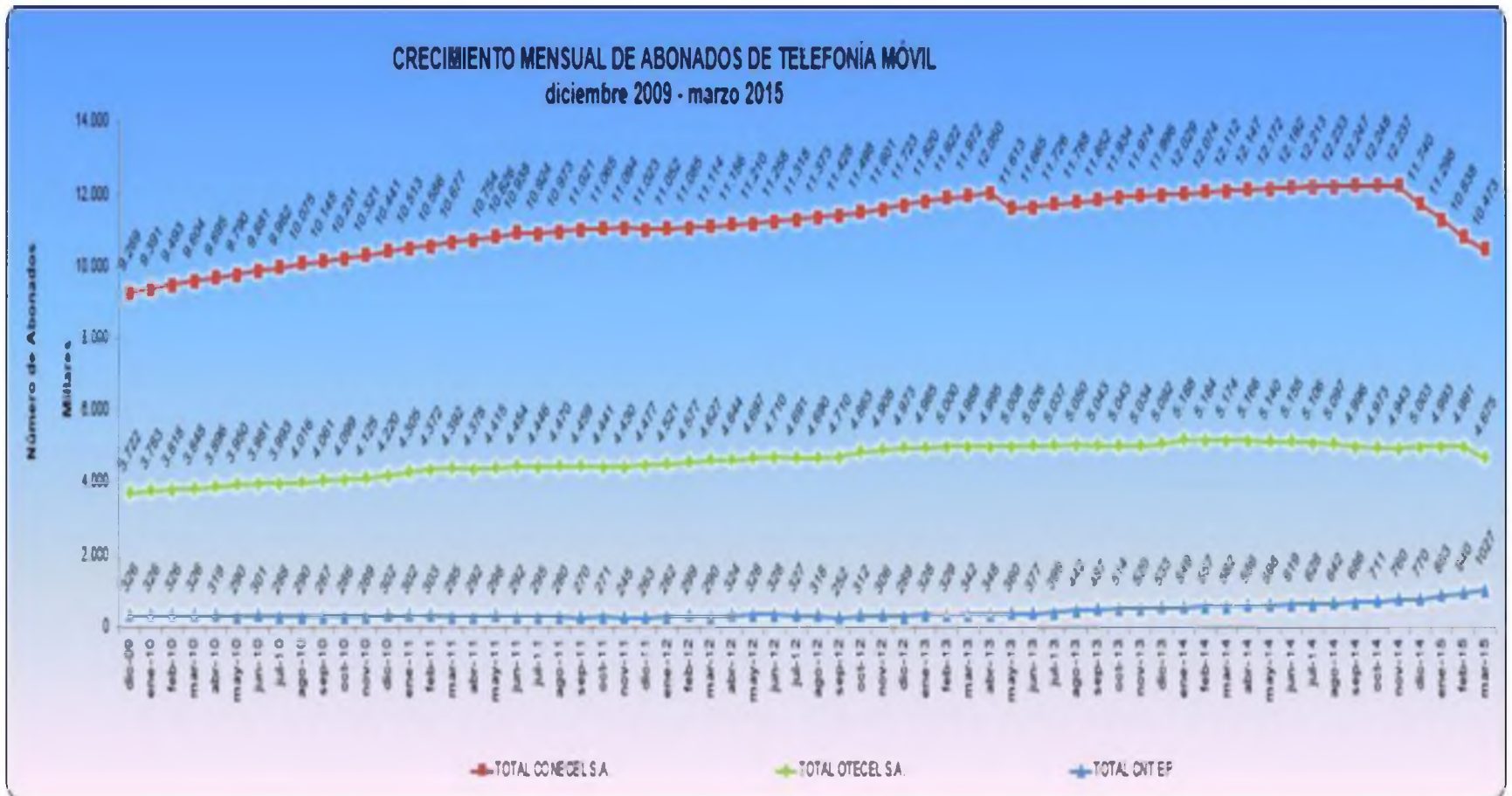


Figura 3. 6: Crecimiento mensual de abonados de telefonía móvil.  
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

En la tabla 3.3 se muestra el resumen total del tipo de modalidad (prepago y Pospago) de las tres operadoras (Claro, Movistar y CNT EP).

Tabla 3. 3: Líneas activas a través de terminales de usuarios y de uso público.

<b>DETALLE POR TIPO DE MODALIDAD - MENSUAL</b>			
<b>FECHA</b>	<b>TOTAL ABONADOS</b>	<b>TOTAL PREPAGO</b>	<b>TOTAL POSPAGO</b>
dic-09	13.316.183	11.666.555	1.649.628
ene-10	13.499.106	11.832.105	1.667.001
feb-10	13.636.526	11.944.606	1.691.920
mar-10	13.778.245	12.058.281	1.719.964
abr-10	13.910.299	12.173.811	1.736.488
may-10	14.030.315	12.262.488	1.767.827
jun-10	14.162.931	12.361.577	1.801.354
jul-10	14.262.644	12.365.230	1.897.414
feb-12	15.960.353	13.431.140	2.529.213
mar-12	16.031.287	13.468.106	2.563.181
abr-12	16.122.873	13.527.579	2.595.294
may-12	16.235.599	13.588.290	2.647.309
jun-12	16.296.668	13.608.816	2.687.852
jul-12	16.335.780	13.597.274	2.738.506
ago-12	16.381.228	13.600.774	2.780.454
sep-12	16.389.249	13.622.610	2.766.639
oct-12	16.672.524	13.800.373	2.872.151
nov-12	16.816.018	13.892.547	2.923.471
dic-12	16.984.298	14.008.104	2.976.194
ene-13	17.133.539	14.070.651	3.062.888
feb-13	17.251.007	14.159.249	3.091.758
mar-13	17.302.494	14.193.025	3.109.469
abr-13	17.392.882	14.264.543	3.128.339
may-13	16.980.306	13.816.552	3.163.754
jun-13	17.068.006	13.867.936	3.200.070
jul-13	17.161.933	13.919.780	3.242.153
ago-13	17.279.280	13.977.905	3.301.375
sep-13	17.381.859	14.026.282	3.355.577
oct-13	17.490.914	14.098.281	3.392.633
nov-13	17.528.113	14.092.479	3.435.634
dic-13	17.621.178	14.147.118	3.474.060
ene-14	17.766.438	14.264.736	3.501.702
feb-14	17.815.373	14.277.590	3.537.783



mar-14	17.867.595	14.305.362	3.562.233
abr-14	17.899.627	14.307.165	3.592.462
may-14	17.909.511	14.287.793	3.621.718
jun-14	17.966.494	14.319.822	3.646.672
jul-14	17.947.292	14.274.246	3.673.046
ago-14	17.972.402	14.276.513	3.695.889
sep-14	17.929.262	14.198.560	3.730.702
oct-14	17.932.439	14.166.414	3.766.025
nov-14	17.940.469	14.136.924	3.803.545
dic-14	17.512.342	13.666.071	3.846.271
ene-15	17.173.883	13.304.678	3.869.205
feb-15	16.768.564	12.741.586	4.026.978
<b>mar-15</b>	<b>16.174.686</b>	<b>12.095.818</b>	<b>4.078.868</b>

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

En la tabla 3.4 se muestra en detalle el crecimiento de las tres operadoras de telefonía móvil avanzado (Claro, Movistar y CNT EP).

Tabla 3. 4: Resumen de crecimiento anual por operadoras de telefonía móvil avanzado.

<b>DETALLE CRECIMIENTO POR OPERADORA - ANUAL</b>			
<b>FECHA</b>	<b>CLARO</b>	<b>MOVISTAR</b>	<b>CNT EP</b>
2009	9.268.814	3.721.761	325.608
2010	10.441.461	4.219.817	301.576
2011	11.022.574	4.477.473	263.165
2012	11.722.904	4.972.826	288.568
2013	11.996.375	5.091.702	533.101
2014	11.739.628	5.002.512	770.202
<b>2015</b>	<b>10.472.719</b>	<b>4.675.315</b>	<b>1.026.652</b>

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

#### **4. CONCLUSIONES**

El trabajo de investigación de la materia de Teoría de la Comunicación de la Maestría en Telecomunicaciones fue desarrollado utilizando la metodología descriptiva. Este estudio investigativo permitió explorar las características tecnológicas de los Sistemas Móviles de 3G y 4G LTE que permitió mejorar el proceso de aprendizaje y de la forma de investigar un tema no abordado en el repositorio de tesis de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

El enfoque fue dirigido a la búsqueda de información relacionada con el número de suscriptores en las tecnologías 3G (UMTS) y 4G-LTE tanto en América Latina como el Caribe, y finalmente un estudio para determinar la cantidad de abonados entre las tres operadoras de comunicaciones móviles avanzadas (CNT EP, Claro y Movistar).

Al inicio, la única operadora que disponía de 4G-LTE fue CNT EP que en agosto 2014 tenía 4973 usuarios en la red de LTE, y que de manera progresiva Claro y Movistar entran a operar en LTE. Se estableció que las tres operadoras están implementando las redes de VoLTE, que estará disponible a finales del 2016.

## BIBLIOGRAFÍA

3GPP. (25 de 01 de 2016). *Third Generation Partnership Project*. Obtenido de The Mobile Broadband Standard: [ftp://www.3gpp.org/Information/Working\\_Procedures/3GPP\\_WP.pdf](ftp://www.3gpp.org/Information/Working_Procedures/3GPP_WP.pdf)

4G-Americas. (25 de 01 de 2016). *HSPA y HSPA+*. Obtenido de <http://www.4gamericas.org/es/resources/technology-education/hspa-and-hspa/>

4G-Americas-1. (26 de 01 de 2016). *LTE and LTE-Advanced Deployments*. Obtenido de [http://www.4gamericas.org/files/3814/5195/1085/02\\_LTE\\_America\\_Latin\\_a\\_1.1.16.pdf](http://www.4gamericas.org/files/3814/5195/1085/02_LTE_America_Latin_a_1.1.16.pdf)

4G-Americas-2. (26 de 01 de 2016). *Mobile Technology Statistics - Latin America & Caribbean*. Obtenido de <http://www.4gamericas.org/en/resources/statistics/statistics-latin-america/>

Adokar, D., & Rajput, P. (2012). Wireless Evolution with 4G Technologies. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 323-333.

ARCOTEL. (26 de 01 de 2016). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de Control en Línea: <http://controlenlinea.arcotel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/telefoniamovil/estadisticasmovil/>

- Cañadas, D., & Casadevall, F. (2001). Control de Potencia en WCDMA. *XI Jornadas de I+D en Telecomunicaciones*.
- Cox, C. (2014). *Introduction to LTE, An: LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Díaz P., J., Escobar M., F., & Carramuttis R., F. (2009). *Estudio y planeación para la migración de una red de telefonía móvil de segunda generación (GSM/GPRS), a una red de tercera generación (UMTS/WCDMA) en la jurisdicción de El Salvador*. Universidad Francisco Gavidia.
- Domínguez G., R. (2009). *Métodos para el aumento de la capacidad UMTS en ATOLL*. Sevilla, España: e-Reading de la Universidad de Sevilla.
- Escudero F., L. A. (22 de 01 de 2016). *Tierra de Lazaro*. Obtenido de Cripto Análisis de las Comunicaciones 3G: <http://www.tierradelazaro.com/cripto/UMTS.pdf>
- Guillén G., D. (2008). *Diseño de una Red de Telefonía Móvil de Tercera Generación WCDMA para la Ciudad de Tacna*. Lima, Perú: Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Holma, H., & Toskala, A. (2010). *WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE*. Reino Unido: John Wiley and Sons.
- López G., J. (2005). *Simulación de tramas de comunicación para UMTS*. Puebla, México: Colección de Tesis Digitales Universidad de las Américas Puebla.
- LTE-Tutorial. (26 de 01 de 2016). *Artiza Networks*. Obtenido de LTE Resources: [http://www.artizanetworks.com/lte\\_resources/lte\\_tut\\_eut\\_arc.html](http://www.artizanetworks.com/lte_resources/lte_tut_eut_arc.html)

- Mahbubur R. , M., Khairul , I., Hassan-Al-Mahmud, T., & Mahmud, A. (2012). Performance Analysis Of Downlink Power Control In Wcdma System. *International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 3, Issue 8*, 1279-1284. Obtenido de <http://www.slideshare.net/shirazthegreat/01-wr-bt1002-e011-wcdma-wireless-principle49>
- Mendo T., L., & García V., J. (25 de 01 de 2016). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de Curso de Comunicaciones Móviles: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles/contenidos/capitulo-3.-propagacion-en-comunicaciones-moviles-1>
- Miñarro L., A. (25 de 01 de 2016). *Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación*. Obtenido de Asociación Española de Graduados e Ingenieros Técnicos de Telecomunicación: [http://coitt.es/res/revistas/08c\\_Rep\\_LTE\\_MN3.pdf](http://coitt.es/res/revistas/08c_Rep_LTE_MN3.pdf)
- Mohammed H., N., & Nabi M., A. (2013). Comparison between Soft Handover and Hard Handover in UMTS. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 1519-1521.
- Ponce R., S. (2009). *Análisis del Impacto de los Fenómenos de Multitrayectoria y Tamaño de la Celda en Redes de Tercera Generación WCDMA*. México, D. F.: Repositorio del Instituto Politécnico Nacional.
- Quintero F., V. (22 de 01 de 2016). *Universidad del Cauca*. Obtenido de Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/3GWCDMA/capitulo2.pdf>

Quintero F., V. M. (25 de 01 de 2016). *Universidad del Cauca*. Obtenido de Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales/contenidos/Presentaciones/UMTS-07.pdf>

Rodríguez, I. (26 de 01 de 2016). *Capa Física de LTE-A*. Obtenido de <http://viktorivan.github.io/blog/2013/09/29/capa-fisica-de-lte-a/>

Romen K., M., Ajith S., N., Vasanthi, V., Bharaathi, B., & Hemalatha, M. (2011). 4G - Fourth Generation Wireless Systems requirements and technical challenges. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 29-35.

Rueda P., D., & Ramos R., Z. (2012). Arquitectura funcional para la implementación de mobile IPTV sobre redes LTE y LTE-Advanced. *ITECKNE*, 40-51.



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, LUIS ENRIQUE IBARRA ROSALES con C.C: # 0802117754 autor/a del Examen Complexivo Componente Práctico: **CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LOS SISTEMAS MÓVILES DE 3G Y 4G LTE: SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de marzo de 2016

f. \_\_\_\_\_

Nombre: LUIS ENRIQUE IBARRA ROSALES  
C.C: 0802117754



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Características Tecnológicas de los Sistemas Móviles de 3G y 4G		
<b>LTE:</b>	Situación actual en el Ecuador		
<b>AUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	LUIS ENRIQUE IBARRA ROSALES		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	14 de marzo de 2016	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	56
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas de Información, Desarrollo de Sistemas		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	COMUNICACIONES MOVILES 3G-4G, WCDMA, UMTS, ARQUITECTURA DE RED LTE, LTE-UTRAN.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	<p>El presente trabajo de titulación mediante examen complejo para la obtención del título de Ingeniería en Telecomunicaciones, se enfoca en las especificar las características Tecnológicas de los sistemas móviles de 3G , 4G LTE y a su vez la situación actual de esta tecnología en el Ecuador, la cual empieza por la evolución Tecnológica de segunda a tercera y ya hasta una cuarta generación, la cual fue se ha venido desarrollando con el fin de satisfacer cada vez más las necesidades de servicios que están llegando tales como las imágenes y videos de alta calidad, así como también el acceso a la web con velocidades de datos cada vez más rápidas. En Ecuador la evolución de la tecnología también ha provocada el incremento de abonados en cada una de las 3 compañías que actualmente ofrecen el servicio de comunicación móvil y fijo, siendo la compañía CNT EP los primeros en implementar y ofrecer servicios de conexión 4G-LTE, lo que los posiciono en el incremento de abonados, seguidamente de las compañías CLARO y MOVISTAR, quienes en la actualidad ya ofrecen también este nuevo servicio a nivel Nacional.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 045052850 0996479878	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:luigy_ib4@hotmail.com">luigy_ib4@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
<b>COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Teléfono:</b> 0968366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin_palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin_palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		

### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

**Nº. DE REGISTRO (en base a datos):**

**Nº. DE CLASIFICACIÓN:**

**DIRECCIÓN URL (tesis en la web):**