



# Universidad del Azuay

## Facultad de Ciencia y Tecnología

*Redes Móviles LTE: Herramienta de Planificación basada en Sistemas de Información Geográfica*

**Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de Magister en Telemática**

**Autor:** Ing. Ana Cecilia Piedra

**Director:** Ing. Juan Córdova Ochoa

Cuenca, Ecuador

2013

# ÍNDICE

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

**Índice de Contenidos**

Índice de Contenidos.....	ii
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
Introducción.....	1
1. Capítulo 1: Tecnología LTE Long Term Evolution.....	3
1.1 Introducción.....	4
1.2 Definición.....	4
1.3 Requerimientos y Funcionalidades.....	5
1.3.1 Requerimientos.....	5
1.3.2 Funcionalidades.....	6
1.3.3 Bandas de Frecuencias.....	7
1.4 Arquitectura de la Red.....	8
1.4.1 Redes de Acceso E-UTRAN.....	10
1.4.2 EPC (Evolved Packet Core).....	11
1.4.3 IMS (IP Multimedia Subsystem).....	14
1.4.4 Equipos del Usuario.....	17
1.5 Estado del Arte de la Tecnología LTE.....	19
1.5.1 LTE en Latinoamérica.....	21
1.5.2 LTE en Norteamérica.....	24
1.5.3 LTE en Europa.....	26
1.5.4 LTE en Asia.....	29
1.5.5 LTE en el Medio Oriente.....	30
1.5.6 LTE en África.....	32
1.5.7 LTE en el Caribe.....	32
1.6 Conclusiones.....	34
2. Capítulo 2: Sistemas de Información Geográfica.....	35
2.1 Introducción.....	36
2.2 Conceptos Básicos.....	36
2.2.1 Cartografía.....	36

2.2.2 Mapa.....	37
2.2.3 Escala.....	37
2.3 Manejo de Coordenadas y Distancias.....	38
2.3.1 Proyecciones Cartográficas.....	38
2.3.2 Tipos de Proyecciones.....	40
2.3.3 Sistemas de Coordenadas.....	42
2.4 Implementación de Bases de Datos con los Niveles Topográficos.....	43
2.4.1 Tipos de Altitudes.....	43
2.4.2 Sistemas de Información Geográfica SIG (GIS).....	44
2.5 Conclusiones.....	45
3. Modelos de Cálculo.....	47
3.1 Introducción.....	48
3.2. Sistemas de Comunicación Móvil.....	48
3.2.1 Determinación del Radio de Cobertura.....	51
3.2.2 Distancia de Reutilización de Frecuencias.....	55
3.2.3 Cálculo de la Capacidad.....	56
3.2.4 Eficiencia Espectral.....	57
3.2.5 Planificación de Sistemas Celulares.....	59
3.3. Modelos de Propagación.....	61
3.3.1 Modelos de Propagación en el Espacio Libre.....	61
3.3.2 Modelo de Obstáculo Aislado.....	62
3.3.3 Modelo de Okumura-Hata (Cost 231).....	64
3.4. Conclusiones.....	65
4. Herramienta de Planificación.....	66
4.1 Introducción.....	67
4.2. Metodología y Diagrama de Bloques.....	67
4.2.1 Metodología.....	67
4.2.2 Diagrama de Bloques.....	68
4.3. Arquitectura y Componentes.....	71
4.4. Desarrollo.....	72
4.4.1 Formularios.....	73
4.4.2 Gráfica del Clúster y Radios de Cobertura.....	76
4.5. Conclusiones.....	77

Conclusiones.....	79
Bibliografía.....	82

# RESUMEN

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

El presente proyecto se centra en el desarrollo de una herramienta indispensable para la planificación de sistemas móviles LTE; pues con la utilización de los sistemas de información geográfica SIG se cuenta con la información referida a una cartografía base de zonas determinadas y se tiene la posibilidad de crear cartografía propia de la gestión y análisis de los sistemas de radiocomunicaciones. La herramienta desarrollada permitirá al usuario el ingreso de datos y especificaciones técnicas para el cálculo de los sistemas LTE definidos para la ciudad de Cuenca y sus alrededores; con la implementación de los modelos de propagación más convenientes.

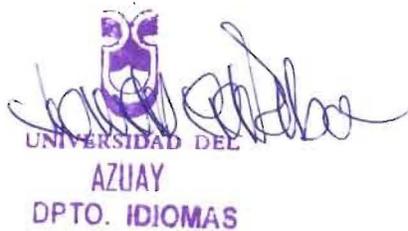
# ABSTRACT

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

## ABSTRACT

The present project is centered on the development of an indispensable tool for the planning of LTE mobile systems. With the use of GIS geographical information system we can count with basic cartographic information of certain areas and there is a possibility to create our own cartography of the telecommunication systems regarding management and analysis. The tool will allow the user to enter the data and the technical specifications needed for the calculations of the LTE systems for the city of Cuenca and its surroundings through the implementation of the most convenient programming models.



  
Translated by,  
Diana Lee Rodas

# INTRODUCCIÓN

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

**INTRODUCCION.**

Como su nombre lo indica los sistemas de comunicaciones están planificados para lograr la comunicación entre dos puntos que pueden estar ubicados a cortas o largas distancias, volviéndolos indispensables en la actualidad para mantener enlazadas a todas las regiones tanto de un mismo país como del mundo entero; es por este motivo que su planificación y puesta en operación debe garantizar la calidad en la comunicación, el mantenerse constante y el permitir la movilidad de sus usuarios.

El objetivo de este proyecto es convertirse en una herramienta indispensable para la planificación de sistemas móviles LTE. La principal ventaja de esta herramienta es la utilización de los sistemas de información geográfica que permiten contar con la información referida a una cartografía base de la zona y crear cartografía propia de la gestión y análisis de los sistemas de radiocomunicaciones. El software permitirá al usuario el ingreso de datos para el cálculo de los sistemas de Móviles y definidos en la ciudad de Cuenca y de esta manera obtener líneas de vista, áreas de cobertura, perfiles topográficos; y así determinar las ubicaciones y parámetros más óptimos en la implementación de los sistemas de telecomunicaciones.

# CAPITULO 1

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

## **TECNOLOGÍA LTE LONG TERM EVOLUTION**

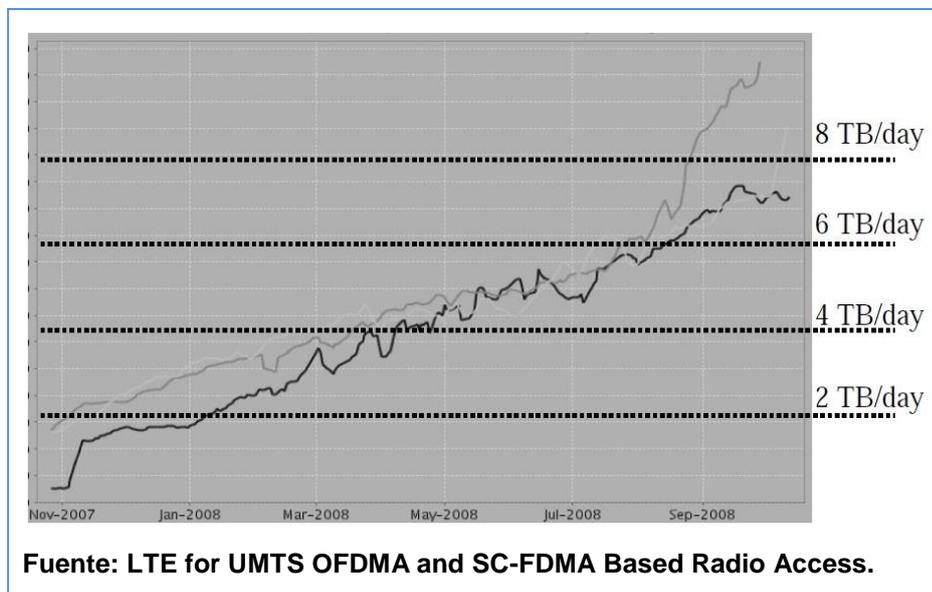
La necesidad de obtener tecnologías que permitan comunicaciones de mayor velocidad en la transmisión de datos y baja latencia ha llevado al desarrollo de la tecnología LTE (Long Term Evolution), considerándola ya dentro de la cuarta generación de telefonía móvil 4G, dejando atrás tecnologías como GSM, GPRS, CDMA, EDGE, UMTS, HSPDA, etc.; y volviéndose la tecnología que más se está implementando en la actualidad...

**1. TECNOLOGÍA LTE (LONG TERM EVOLUTION).**

**1.1 Introducción:**

El exponencial incremento del tráfico de datos por uso del Internet en la última década y especialmente el uso de Internet en los dispositivos móviles con servicios como videoconferencias, streaming, redes sociales, juegos en línea, IPTV, etc.; está marcando una tendencia en la evolución tecnológica que busca incrementar la capacidad de las redes móviles y los dispositivos sin que esto represente costos extremadamente altos para los usuarios finales, de esta manera se llevó a cabo la tecnología LTE y se está implementando con un alto margen en algunos países y regiones. Este capítulo hace un recuento sobre la tecnología, sus principios básicos, su arquitectura, sus requerimientos y funcionalidades y finalmente un estudio del estado del Arte de la implementación de la tecnología en el mundo.

**Figura 1.1. Crecimiento del Tráfico en HSPDA.**



**1.2 Definición.**

El término LTE fue propuesto por la 3GPP (3rd. Generation Partnership Project), como una línea interna de estudio sobre la evolución de la red de acceso UMTS, que reemplazaría a HSPDA+. El objetivo principal de esta tecnología es lograr un

acceso utilizando las frecuencias con alto rendimiento, que permita altas velocidades de transmisión y recepción en dispositivos móviles y que coexista a la par con tecnologías 2G y 3G, para que la migración para las operadoras y usuarios no resulte muy impactante.

Al estar considerada como tecnología de 4G, LTE debe garantizar una conexión IP de extremo a extremo y velocidades teóricas de 1 Gbps, utiliza enlaces OFDMA con lo que logra eficiencia espectral y reduce interferencias y es capaz de operar en múltiples bandas. Tiene un sistema de auto-optimización y auto-reparación mediante el seguimiento de indicadores en la red y en los terminales.

### **1.3 Requerimientos y Funcionalidades.**

#### **1.3.1 Requerimientos:**

La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, en el año 2008 estableció los requerimientos oficiales para el estándar 4G IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced), los que se detallan a continuación:

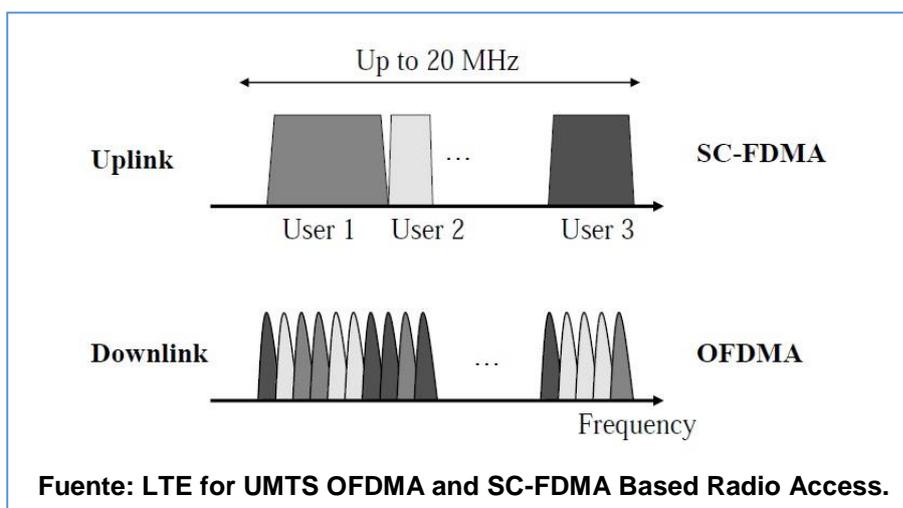
1. Velocidad de datos: Downlink de 100 Mbit/s en canales de 20MHz, Uplink de 50 Mbit/s en canales de 20MHz.
2. Rango de la Celda: para un tamaño óptimo un rango de celda de 5 Km, para un rendimiento razonable de 30 km y para un rendimiento aceptable celdas sobre los 100 km.
3. Capacidad de la Celda: sobre los 200 usuarios activos por celda.
4. Movilidad: Optimizada para baja movilidad entre 0 a 15 km, pero soporta altas velocidades.
5. Latencia: desde el punto de vista del usuario < 5ms y desde el punto de vista del control < 50ms.
6. Mejora la eficiencia espectral.
7. Mejora la difusión.
8. Optimización IP.
9. Ancho de banda escalable de 20, 15, 10, 5, 3 y 1.4 MHz.
10. Coexistencia con estándares ya implementados.

La 3GPP desarrolló la tecnología LTE-Advanced que es compatible con los sistemas anteriores de LTE y ofrece altas capacidades de transmisión con velocidades superiores a 100 MHz, obtenidos mediante la agregación de canales de 20 MHz, tecnologías de antenas múltiples basadas en MIMO y transmisiones coordinadas multipunto. Las nuevas capacidades de transmisión permitirán alcanzar umbrales de eficiencia que llegarán a los máximos de 30 bits por Hertz en canales de 40 MHz, con velocidades máximas teóricas de 1 Gbps.

**1.3.2 Funcionalidades:**

El esquema de acceso múltiple utilizado en LTE, consiste en: para downlink utiliza OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) y para uplink utiliza SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access); que proveen ortogonalidad entre los usuarios reduciendo las interferencias y mejorando la capacidad de la red. El dimensionamiento de la frecuencia en la programación de los paquetes es una de las razones para la alta capacidad de LTE. El uplink usa una asignación continua que permite una transmisión de portadora simple mientras que el downlink puede usar bloques libremente desde diferentes partes del espectro. La solución LTE permite la flexibilidad del espectro, pues el ancho de banda de la transmisión puede ser seleccionada entre 1.4 MHz y 20 MHz dependiendo de la disponibilidad del espectro.

**Figura 1.2. Esquemas de Multiacceso de LTE.**



**1.3.3 Bandas de Frecuencias:**

Según las especificaciones del 3GPP, las bandas de frecuencias para LTE son 17 bandas pares y 8 bandas impares; algunas de estas bandas actualmente están siendo usadas por otras tecnologías con las que LTE puede coexistir. En la Tabla 1.1 se especifican las bandas pares y en la Tabla 1.2, las bandas impares.

**Tabla 1.1. Bandas de Frecuencias Pares para LTE según 3GPP.**

BANDA DE OPERACION	NOMBRE 3GPP	ESPECTRO TOTAL	UPLINK (MHz)	DOWNLINK (MHz)
<b>Banda 1</b>	2100	2x60 MHz	1920-1980	2110-2170
<b>Banda 2</b>	1900	2x60 MHz	1850-1910	1930-1990
<b>Banda 3</b>	1800	2x75 MHz	1710-1785	1805-1880
<b>Banda 4</b>	1700/2100	2x45 MHz	1710-1755	2110-2155
<b>Banda 5</b>	850	2x25 MHz	824-849	869-894
<b>Banda 6</b>	800	2x10 MHz	830-840	875-885
<b>Banda 7</b>	2600	2x70 MHz	2500-2570	2620-2690
<b>Banda 8</b>	900	2x35 MHz	880-915	925-960
<b>Banda 9</b>	1700	2x35 MHz	1750-1785	1845-1880
<b>Banda 10</b>	1700/2100	2x60 MHz	1710-1770	2110-2170
<b>Banda 11</b>	1500	2x25 MHz	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9
<b>Banda 12</b>	US700	2x18 MHz	698-716	728-746
<b>Banda 13</b>	US700	2x10 MHz	777-787	746-756
<b>Banda 14</b>	US700	2x10 MHz	788-798	758-768
<b>Banda 17</b>	US700	2x10 MHz	704-716	734-746
<b>Banda 18</b>	Japón800	2x30 MHz	815-830	860-875
<b>Banda 19</b>	Japón800	2x30 Mhz	830-845	875-890

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access.

**Tabla 1.2. Bandas de Frecuencias Impares para LTE según 3GPP.**

BANDA DE OPERACIÓN	NOMBRE 3GPP	ESPECTRO TOTAL	UPLINK Y DOWNLINK (MHz)
<b>Banda 33</b>	UMTS TDD1	1x20 MHz	1900-1920
<b>Banda 34</b>	UMTS TDD2	1x15 MHz	2010-2025
<b>Banda 35</b>	US1900 UL	1x60 MHz	1850-1910
<b>Banda 36</b>	US1900 DL	1x60 MHz	1930-1990
<b>Banda 37</b>	US1900	1x20 MHz	1910-1930
<b>Banda 38</b>	2600	1x50 MHz	2570-2620
<b>Banda 39</b>	UMTS TDD	1x40 MHz	1880-1920
<b>Banda 40</b>	2300	1x50 MHz	2300-2400

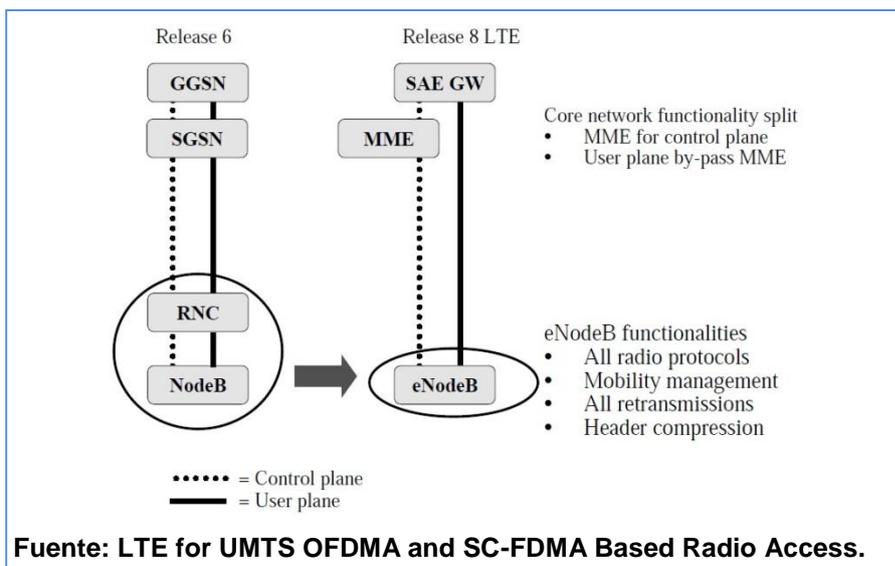
**Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access.**

### 1.4 Arquitectura de la Red.

Según la arquitectura del Release 6, todos los protocolos, manejo de la movilidad, la compresión del encabezado y todas las retransmisiones de los paquetes están localizadas en el RNC (Radio Network Controller), y la arquitectura es simplificada mediante la separación del plano de control y el plano del usuario. El MME (Movility Management Entity) es el elemento del plano de control; el plano del usuario va directo al SAE GW (System Architecture Evolution Gateway).

La alta capacidad de la red también requiere de una arquitectura de red eficiente, en el Release 8 de la 3GPP se enfocaron en mejorar la escalabilidad de la red para el incremento del tráfico y minimizar la latencia de extremo a extremo con la reducción del número de elementos de red. El núcleo de la red en este release también es conocido como EPC (Evolved Packet Core) y a todo el sistema se le conoce como EPS (Evolved Packet System). En la siguiente figura se muestra la evolución de la arquitectura de LTE.

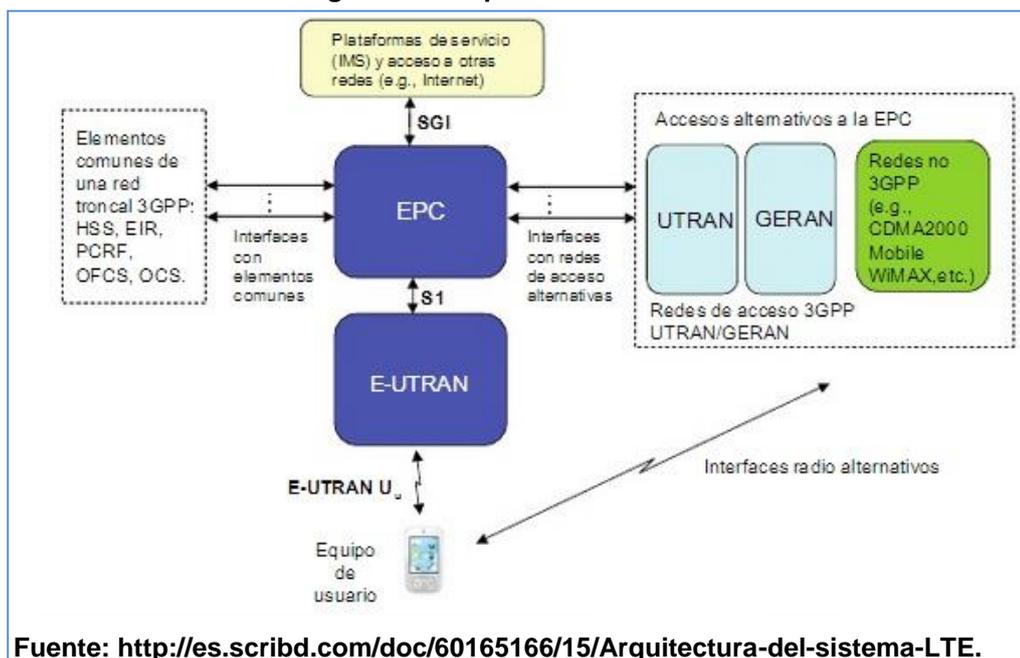
Figura 1.3. Evolución de la Arquitectura de Red LTE.



La arquitectura de los sistemas LTE se basa en los lineamientos de la 3GPP; formada por el EPS (Evolved Packet System), cuyos componentes son: Red de Acceso E-UTRAN, Dominio de Paquetes de la Red Troncal EPC y el subsistema IMS.

Los componentes deben soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante la conmutación de paquetes, inclusive los servicios con restricciones de tiempo real. En la Figura 1.4 se muestran los componentes del EPC.

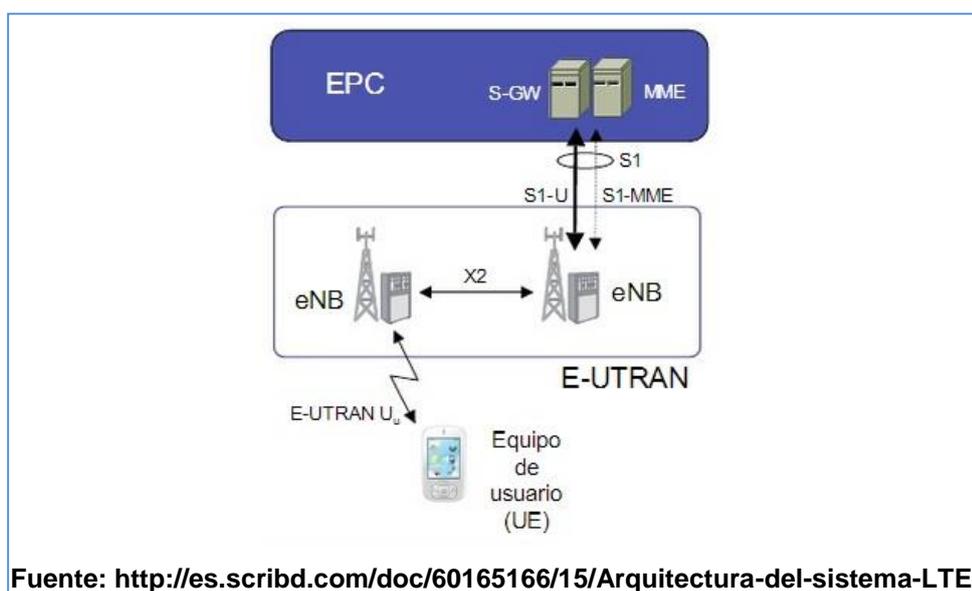
Figura 1.4. Arquitectura de Red LTE.



### 1.4.1 Redes de Acceso E-UTRAN.

Son redes de acceso evolucionadas compuestas de una única entidad de red funcional denominada eNodeB (Evolved NodeB), que constituye la estación base e integra toda la funcionalidad de la red de acceso, pues proporciona la conectividad entre los equipos de usuario UE y la red troncal EPC mediante las interfaces E-UTRAN Uu, S1 y X2, como se detalla en la figura 1.5.

Figura 1.5. Red de Acceso E-UTRAN.



#### 1.4.1.1 eNodeB.

Es la estación base de la E-UTRAN, integra todas las funciones de la red de acceso, esto es, protocolos de la interfaz de radio mediante los cuales transmite paquetes IP desde y hacia los equipos de los usuarios y la señalización necesaria, y mantiene un contexto de cada uno de los equipos de usuario a los que está conectado para mantener los servicios E-UTRAN activos. Este servicio es conocido como Servicio Portador Radio RB (Radio Bearer).

El eNodeB alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores de radio, control de movilidad para realizar handover, funciones de scheduling para la asignación dinámica de recursos de radio en los enlaces ascendentes como descendentes, control de interferencias entre estaciones base, control y envío de

las medidas desde los equipos del usuario útiles para la gestión de recursos, selección dinámica de la MME (Movility Management Entity); pues un eNodeB puede estar simultáneamente conectado a múltiples MMEs de la red troncal grupo denominado pool área, con el fin de controlar el acceso de cada usuario; y balancear la carga de señalización entre los MMEs y volverle robusto al sistema. Un eNodeB puede gestionar una o varias celdas, al utilizar sectorización, el eNodeB soporta tantas celdas como sectores.

#### 1.4.1.2 Interfaces.

- **Interfaz E-UTRAN Uu:** permite la transmisión de información entre el eNodeB y los equipos de los usuarios. Los protocolos y funciones para el control operativo y el envío de datos están implementados en el eNodeB.
- **Interfaz E-UTRAN S1:** Realiza la conexión del eNodeB con dos nodos diferentes de la red troncal, por un lado con la entidad de red de la EPC MME (Mobility Management Entity) a través de la interfaz S1-MME para el plano de control y por otro lado se conecta con la entidad S-GW (Serving Gateway) a través de la interfaz S1-U para el plano del usuario sin garantías de entrega, se denomina Servicio Portador S1, S1 Bearer.
- **Interfaz X2:** conecta nodos eNodeB entre sí, para enviar mensajes de señalización permitiendo una gestión más eficiente de los recursos de radio, reduciendo interferencias y manejando de mejor manera el tráfico de los usuarios del sistema cuando se desplazan entre eNodeB con un proceso de handover. Esta interfaz es opcional.

#### 1.4.2 EPC (Evolved Packet Core).

El EPC es también conocido como Núcleo de la Red o Red Troncal y tiene las siguientes funciones:

- Control de acceso a la red celular (autenticación de usuarios).
- Gestión de la movilidad de los usuarios.
- Gestión de las Sesiones de datos.
- Mecanismos de Interconexión con otras redes.

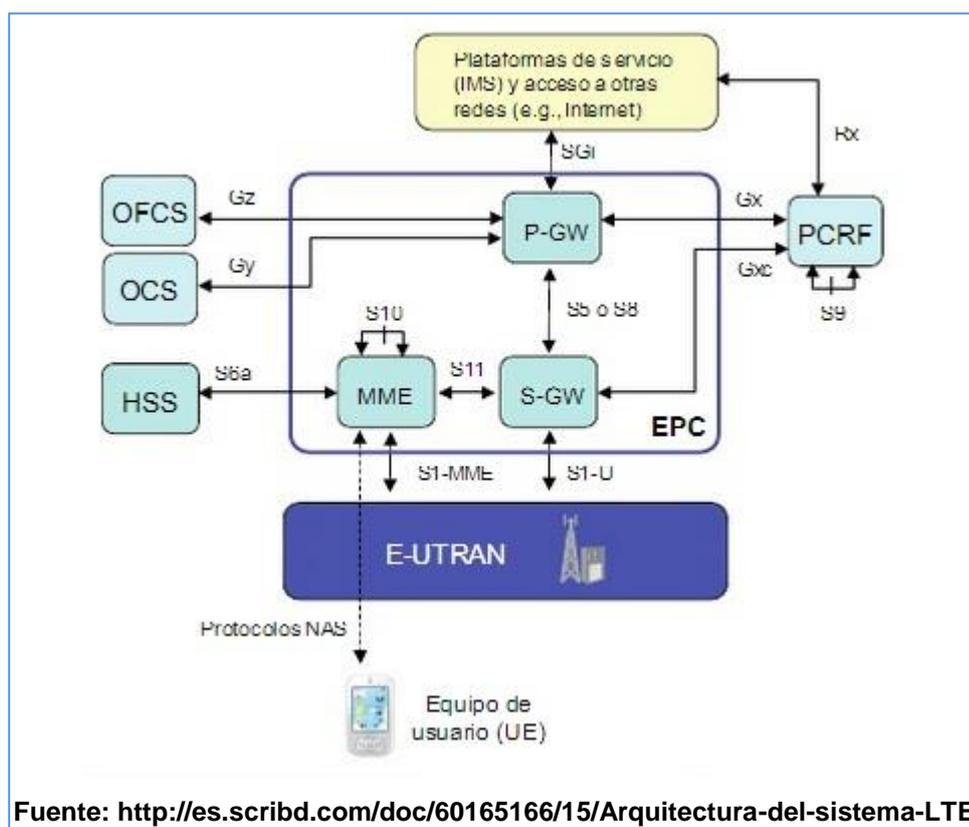
- Control de los servicios finales ofrecidos.

Un factor clave en la arquitectura de esta red troncal es la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes de acceso tanto 3GPP (UTRAN y GERAN) como fuera del ámbito 3GPP (CDMA2000, WiMAX). Las características de esta arquitectura se pueden encontrar en las especificaciones TS 23.401 y TS 23.402 de la 3GPP.

### 1.4.2.1 Arquitectura EPC para redes de acceso E-UTRAN.

Como se puede ver en la Figura 1.6, existen tres entidades de red que forman el núcleo de la red troncal EPC, las mismas que son como unidades funcionales lógicas y delimitadas: MME (Mobility Management Entity), S-GW (Serving Gateway) y P-GW (Packet Data Network Gateway). Existe también la base de datos del sistema denominada HSS (Home Subscriber Server), e interfaces y entidades de red que soportan las funciones relacionadas con el control del servicio QoS y de los mecanismos de tarificación.

Figura 1.6. Arquitectura Básica de la Red Troncal EPC.



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/60165166/15/Arquitectura-del-sistema-LTE>.

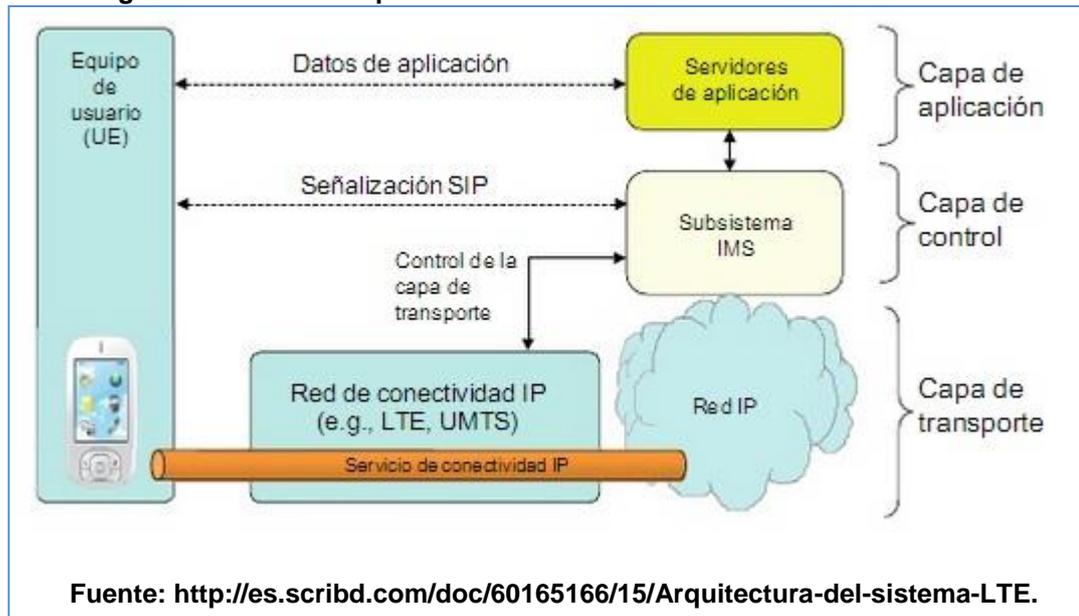
- **MME (Mobility Management Entity):** Controla las funciones de transferencia del plano de usuario de red LTE a través de la interfaz S11 con la pasarela S-GW. Conecta la base de datos HSS a través de la interfaz S6a para acceder a la información asociada a los usuarios. Se comunican entre entidades MME a través de la interfaz S10. Las principales funciones son:
  - Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN.
  - Gestión de los servicios portadores EPS, sobre los cuales se sustenta el envío de paquetes IP.
  - Gestión de movilidad de los usuarios en modo idle.
  - Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y redes 3GPP.
  - Terminación de los protocolos de señalización NAS (Non Access Stratum).
  
- **P-GW:** realiza las interconexiones de la EPC con redes externas o plataformas de servicio mediante la interfaz SGi. Internamente esta pasarela se conecta a la pasarela S-GW mediante la interfaz S5 cuando estas pertenecen al mismo operador, y por la interfaz S8 cuando están en operadoras diferentes y se proporciona un servicio de roaming. Las principales funciones son:
  - Aplicación de reglas de uso de la red y control de tarificación a los servicios portadores establecidos en el terminal.
  - Asignación de la dirección IP del terminal utilizada en una determinada red externa.
  - Proporciona un punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes no 3GPP.
  - El tráfico IP que transcurre por la pasarela P-GW es procesado a través de un conjunto de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio portador EPS correspondiente.
  
- **S-GW:** Es la pasarela del plano del usuario entre E-UTRAN y la red troncal, su asignación responde a criterios geográficos y de balanceo de cargas. Las principales funciones son:

- Proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC con respecto a la movilidad del terminal.
  - Proporciona un punto de anclaje en la gestión de movilidad en otras redes de acceso 3GPP.
  - Almacenamiento temporal de paquetes IP en caso de que los terminales de los usuarios destino estén en modo idle.
  - Encaminamiento del tráfico de usuario, desde S-GW hacia P-GW o hacia el eNodeB.
- **HSS:** Es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de usuarios de la red, tanto permanente que solo puede ser modificada mediante procesos administrativos como temporal que cambia a raíz de la propia operación del sistema. Las principales funciones son:
    - El subconjunto de funciones de las entidades HLR (Home Location Register) y AuC (Authentication Center), necesarias para el funcionamiento del dominio de paquetes EPC.
    - El subconjunto de funciones de las entidades HLR/AuC necesarias para el funcionamiento del dominio CS.
    - Funciones de soporte asociadas a las funciones de control del subsistema IMS (IP Multimedia Subsystem) como gestión de información de la suscripción de servicio IMS y el almacenamiento de perfiles de usuario asociados a servicios IMS

### 1.4.3 IMS (IP Multimedia Subsystem).

El subsistema IMS proporciona los mecanismos para la provisión de servicios de comunicaciones multimedia basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE, para esto es necesario el despliegue de infraestructura que se comunica entre sí mediante diversos protocolos que permiten la provisión de voz y video sobre IP, SMS, etc. De esta manera se pretende sustituir los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito. La 3GPP ha escogido el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) como protocolo de base para soportar la señalización asociada al subsistema IMS. Este modelo de provisión se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación.

Figura 1.7. Modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS.

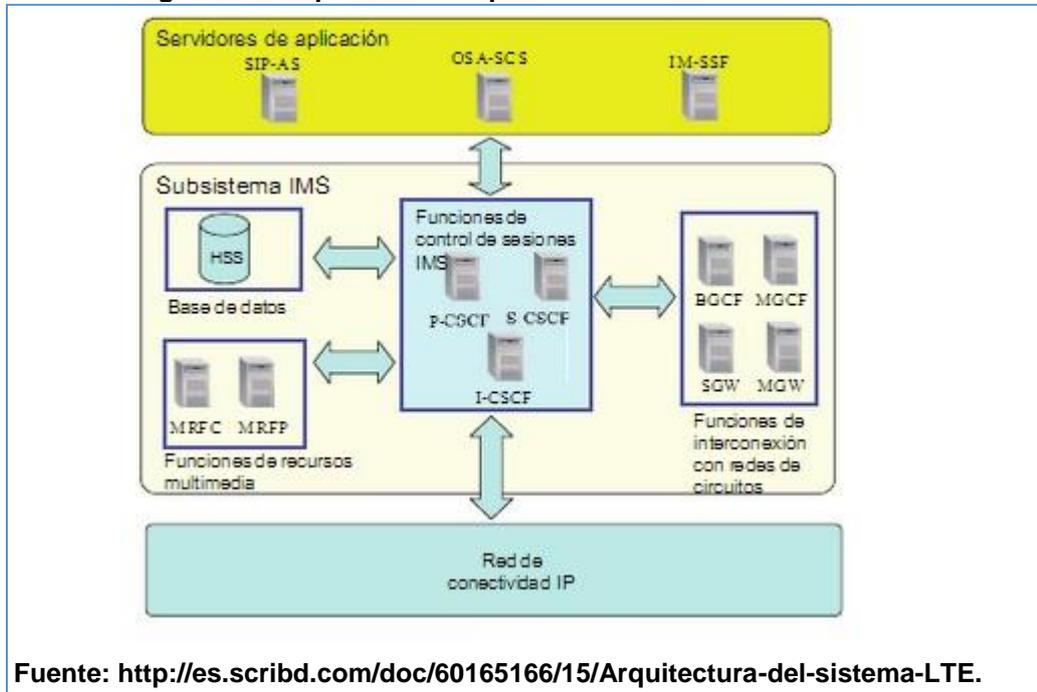


#### 1.4.3.1 Modelo de Provisión de Servicios en Base al Subsistema IMS.

- **Capa de Transporte:** La capa de transporte representa la infraestructura de red IP, dependiente de la tecnología de acceso, que proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de red.
- **Capa de Control:** En esta capa se encuentran los elementos especializados en la gestión de sesiones y otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales como los servidores de señalización SIP, pasarelas VoIP, etc.
- **Capa de Aplicación:** En la capa de aplicación se encuentran los servidores de aplicaciones que albergan la lógica y los datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS; también se pueden encontrar elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes y pasarelas Parlay/OSA. A través de estas plataformas se posibilita la provisión de servicios desde proveedores de aplicaciones externos, denominados ASP (Application Service Providers).

1.4.3.2 Arquitectura Funcional del Subsistema IMS.

Figura 1.8. Arquitectura simplificada del subsistema IMS.



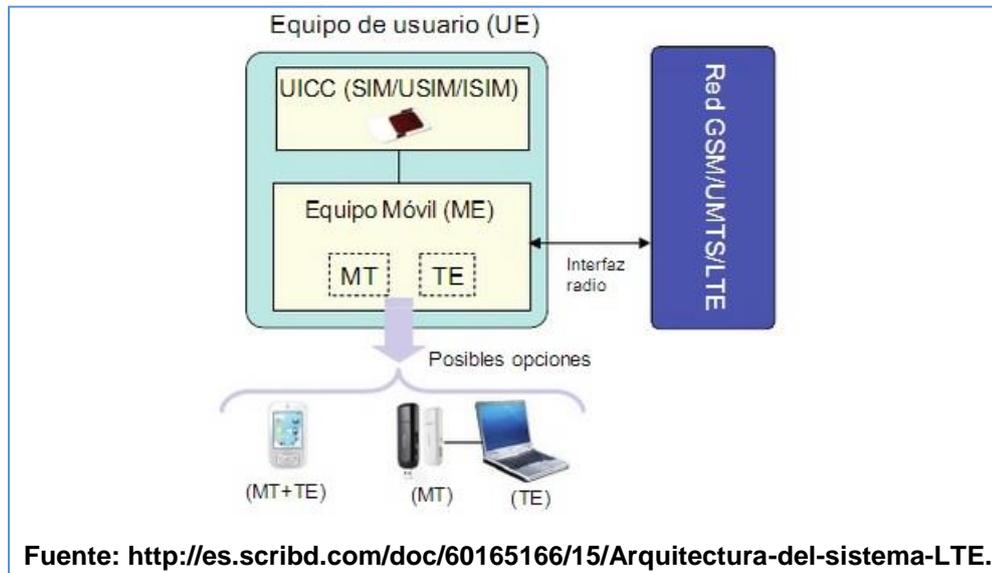
- **CSCF (Call Session Control Function):** Son servidores SIP que forman el núcleo del subsistema y tienen acceso a la base de datos HSS, sus funciones son:
  - **S-CSCF (Serving CSCF):** actúa como el nodo central de la señalización, es un servidor de registro SIP.
  - **P-CSCF (Proxy CSCF):** es un servidor SIP que actúa como la puerta de entrada al subsistema desde la red IP.
  - **I-CSCF (Interrogating CSCF):** es un servidor SIP que actúa como la puerta de entrada de la señalización SIP proveniente de redes externas.
- **Funciones de Interconexión con redes de circuitos:** Compuestas por:
  - **MGW (Media Gateway):** proporcionan la conectividad entre el plano de transporte de la red de paquetes y los circuitos.
  - **MGCF (Media Gateway Controller Function):** es el nodo de control de la MGW; en donde se realiza la conversión de la señalización SIP a la señalización utilizada en la red telefónica.

- **Funciones de Recursos Multimedia:** Permiten realizar la agregación de tráfico en sesiones SIP con más de dos interlocutores; así como conversiones de códecs. Están compuestas por:
  - **MRFC (Media Resource Function Controller):** actúa como un agente de usuario SIP y controla los recursos del MRFP.
  - **MRFP (Media Resource Function Processor):** es el que contiene estas funciones.
- **Servidores de Aplicaciones:** en donde se ubican la lógica y los datos de los servicios proporcionados. IMS tiene tres tipos de estos servidores:
  - **SIP AS (SIP Application Server):** es un servidor SIP genérico que se encarga de la provisión de un determinado servicio final.
  - **OSA-SCS (Open Service Access – Service CapabilityServer):** ofrece la posibilidad de interactuar con el entorno de provisión de servicios OSA/Parlay.
  - **IM-SSF (IP Multimedia Service Switching Function):** permite que los servicios IMS puedan interactuar con los mecanismos de red inteligente que soportan las redes 3GPP.

#### 1.4.4 Equipos del Usuario.

El equipo del usuario es el que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a servicios de la red LTE a través de la interfaz de radio, su arquitectura funcional es la misma que para GSM y que luego se adaptó para UMTS y se muestra en la figura 1.9. El UE (User Equipment) está compuesto por dos elementos básicos: el SIM (Subscriber Identity Module) o USIM (UMTS Subscriber Identity Module) y el ME (Mobile Equipment).

Figura 1.9. Componentes del Equipo del Usuario.



#### 1.4.4.1 Módulo de Suscripción del Usuario.

Consiste en el uso de una tarjeta inteligente (UICC) que contiene la aplicación para gestionar los datos de suscripción de los usuarios de las redes 3GPP; también puede contener una aplicación denominada ISIM (IP Multimedia Services Identity Module) para almacenar los datos necesarios para la operación de los servicios IMS. La SIM/USIM está asociada a un usuario y la separación USIM y ME es la que facilita al usuario el poder cambiar de terminal manteniendo su identidad.

#### 1.4.4.2 Equipo Móvil.

El ME integra las funciones propias de comunicación con la red celular; así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios de la red. Sus funciones se agrupan en dos entidades funcionales: MT (Mobile Terminal) y TE (Terminal Equipment).

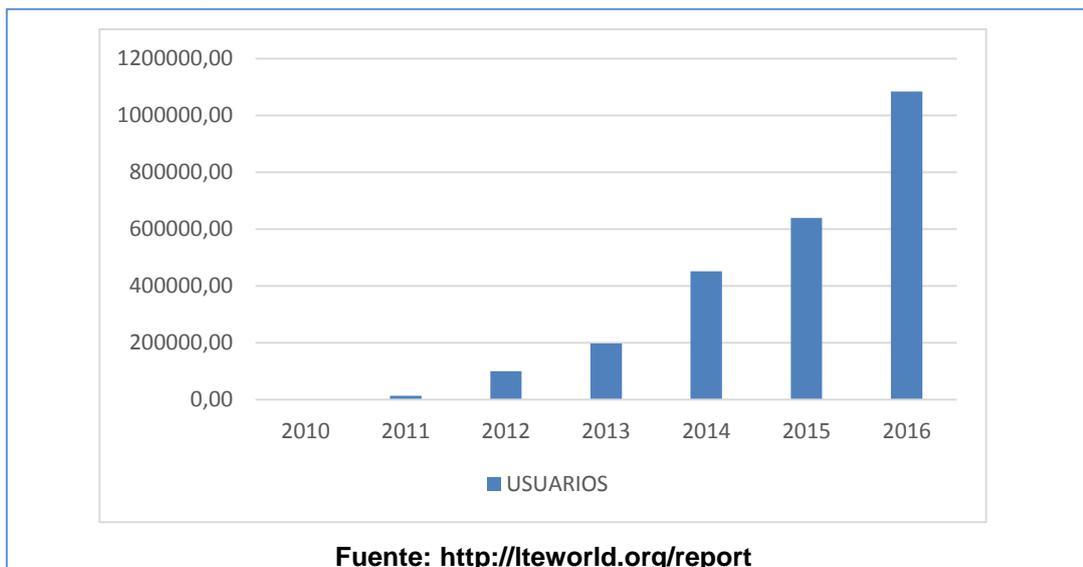
- **MT (Mobile Terminal):** alberga las funciones propias de la comunicación.
- **TE (Terminal Equipment):** es el equipo que se ocupa de la interacción con el usuario y que puede contener multitud de aplicaciones adicionales no directamente relacionadas con el sistema de comunicaciones móviles

**1.5 Estado del Arte de la Tecnología LTE.**

A nivel mundial los operadores de redes inalámbricas han venido continuamente construyendo la infraestructura para la tecnología LTE. Inicialmente la actividad de los operadores se concentró en Europa y Asia, luego fueron los Estados Unidos los que impulsaron el desarrollo entre el 2011 y el 2012. En un reporte de la GSA (Global Mobile Suppliers Association) se confirma que en la actualidad 412 operadores están invirtiendo en tecnología LTE en 125 países alrededor del mundo. En el 2012 se dieron 11 lanzamientos comerciales, así como 98 operadoras han lanzado sus servicios en los pasados 12 meses. La expectativa es que para finales del 2013 estén operando 244 redes LTE en 87 países.

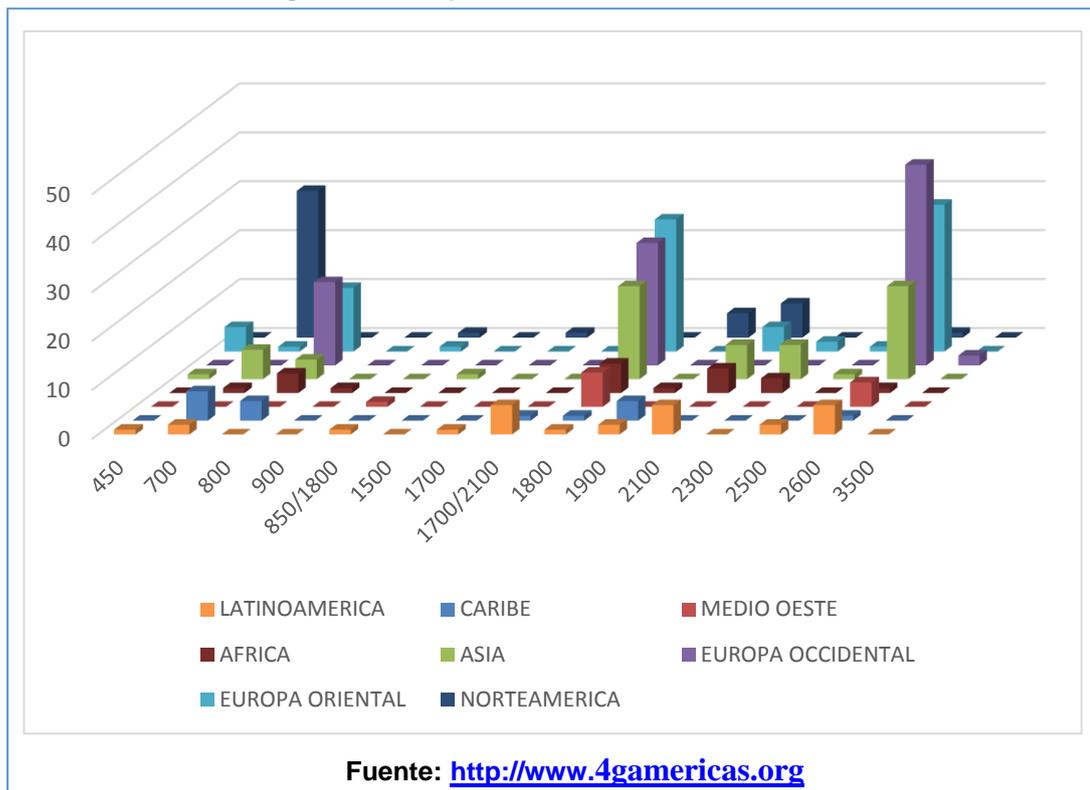
Con solo 612.000 usuarios LTE en 2010, el crecimiento de los usuarios LTE ha crecido a 13'200.000 en el 2011 y con un incremento del 529% en el 2012 se han registrado 100'000.000 de usuarios. Este enorme crecimiento es atribuido a la actualización de la mayoría de los usuarios concededores de tecnología a los teléfonos inteligentes smartphones. Continuando con esta tendencia, de acuerdo con un reporte especial de IHS iSuppli Wireless Communications en la página web de LTE World se ha proyectado que se supere la marca de los 100 millones del 2012 y que se cierre el 2013 con 198'100.000, y para el 2016 LTE tendrá más de 1 billón de usuarios.

**Figura 1.10. Crecimiento de Usuarios LTE a Nivel Mundial.**



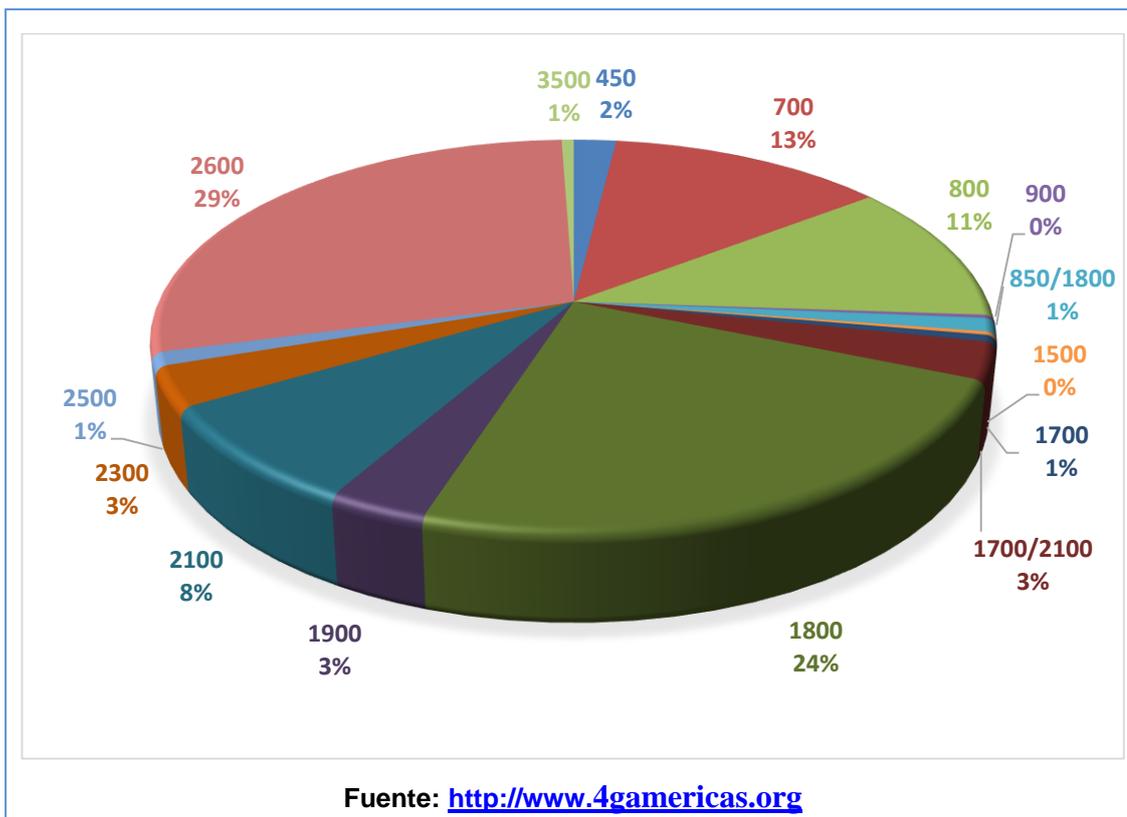
Conforme a lo publicado por 4G Américas en su reporte Global 3G and 4G Deployment Status HSPA / HSPA+ / LTE / 9 April 2013; se tiene que existen 163 redes LTE en servicio, en 60 países. Adicionalmente, existen 277 redes en pruebas, planes o en implementación. A continuación se puede ver la implementación de LTE mundial según los continentes y por los rangos de frecuencias.

**Figura 1.11. Implementación LTE a Nivel Mundial.**



Como se analizó anteriormente LTE hasta la fecha tiene registradas más de 40 diferentes frecuencias, lo que la ha convertido en un panorama complejo para los proveedores de equipos y componentes. La banda 3 de 1800 MHz es la banda principal en el despliegue de redes LTE con una utilización del 44% comparado con un 37% en tan solo meses atrás, pues esta implementada en 69 redes comerciales en 43 países. La segunda banda en la lista de despliegue de redes LTE es la 7 de 2600 MHz seguida por la banda 20 de 800 MHz y en cuarto lugar la banda 4 AWS. En la figura 1.12 se puede ver claramente la implementación global por bandas.

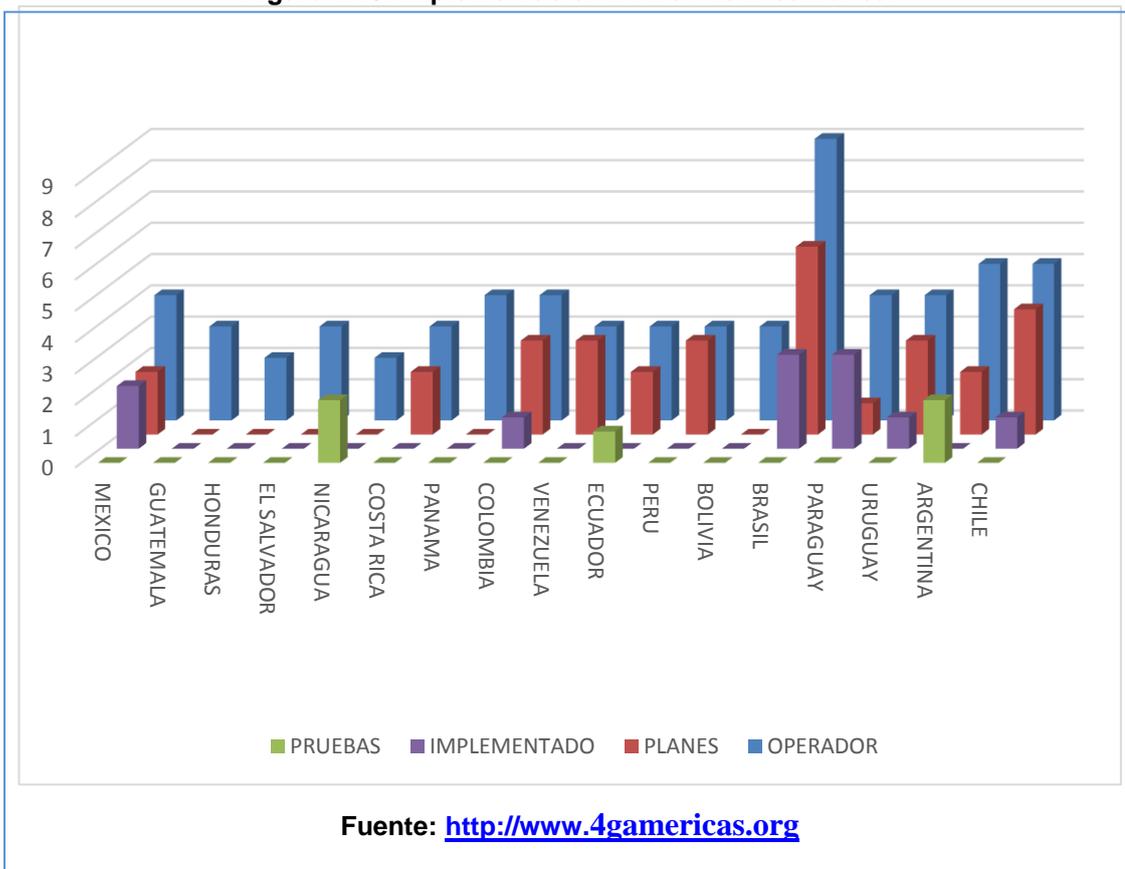
Figura 1.12. Implementación LTE a Nivel Mundial por Bandas.



### 1.5.1 LTE en Latinoamérica.

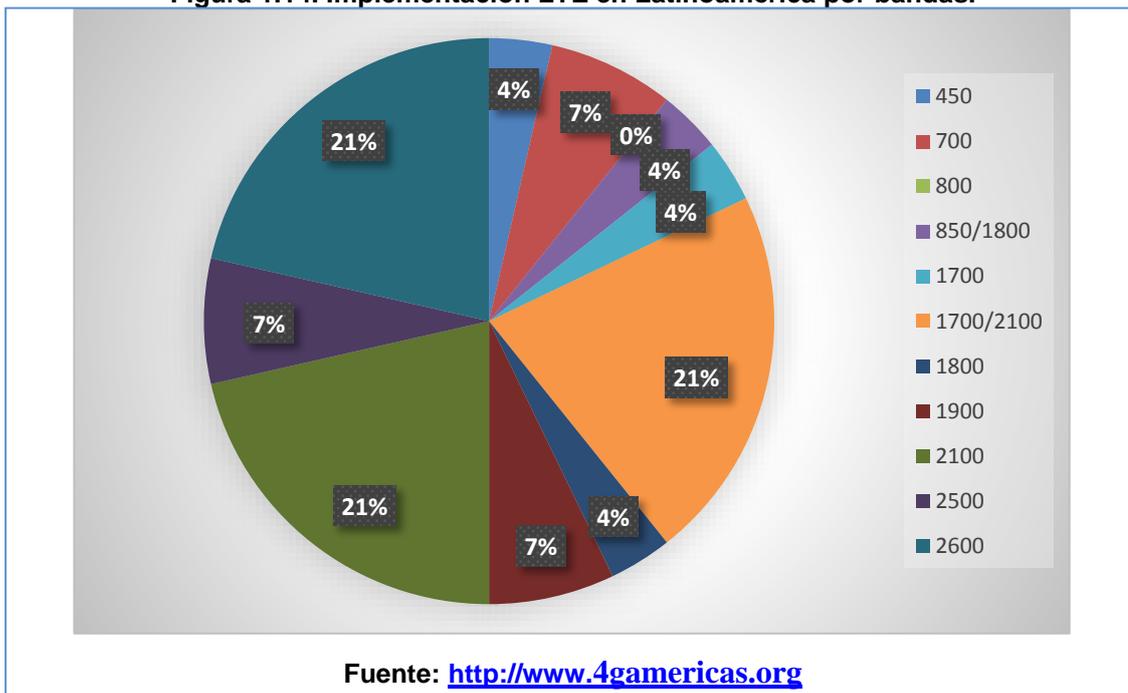
En Latinoamérica, se encuentran 64 operadores en 17 países comprometidos para implementar LTE y 11 redes LTE ya han sido lanzadas comercialmente a la fecha; en Brasil, Colombia, México, Uruguay, Paraguay y Chile. La implementación de la infraestructura para Latinoamérica esta notablemente más desarrollada en Brasil, sin embargo países como México y Paraguay ya están operando esta tecnología desde el 2012. Existen planes para la implementación de redes LTE de 31 operadores y 5 operadores se encuentran en pruebas de la tecnología, esto se puede apreciar en la figura 1.13.

Figura 1.13. Implementación LTE en Latinoamérica.



De acuerdo a las bandas de frecuencias, en la figura 1.14 se puede ver el porcentaje de implementación o planificación.

Figura 1.14. Implementación LTE en Latinoamérica por bandas.



### 1.5.1.1 Ecuador

En el Ecuador se ha adoptado las bandas de 700 MHz, la banda AWS 1700/2100 MHz y la banda de 2.5 GHz con el esquema de segmentación o arreglo B5 y el esquema de segmentación C1 respectivamente; recomendados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). La banda de 700 MHz con los rangos 733 – 748 MHz UPLINK y 788 – 803 MHz DOWNLINK, y la banda AWS 1700/2100 MHz en los rangos 710 – 1730 MHz UPLINK y 2110 – 2130 MHz DOWNLINK; se encuentran asignadas a la operadora estatal CNT EP.

Las operadoras privadas Movistar y Claro han realizado sus peticiones de frecuencias para operar LTE, por lo que el ente regulador de las telecomunicaciones CONATEL, se encuentra en el análisis de las solicitudes y liberación de las bandas en las que actualmente operan servicios de Televisión Codificada Terrestre y enlaces de radiodifusión sonora y de televisión.

### 1.5.1.2 México

México dentro de sus operadoras móviles cuenta con Telcel que predomina en el mercado, y que en la actualidad ya tiene implementada la red LTE 4G que logra velocidades de 20Mbps; con una cobertura en más de 30 zonas de alta demanda en las ciudades de Tijuana, Hermosillo, Cd. Juárez, Monterrey, Guadalajara, Querétaro, Puebla, Mérida y Distrito Federal y para el 2013 abarcaran más de 26 ciudades, cubriendo el 65% de la población. Por otro lado, está la empresa Claro que ya desplegó servicios LTE en nueve ciudades y espera ampliarse a 17 en el 2013.

### 1.5.1.3 Brasil

Como se mencionó anteriormente Brasil es el país en el que más desarrollada e implementada se encuentra la tecnología LTE 4G. Según un reporte del regulador de telecomunicaciones ANATEL, en abril del 2013, Brasil registra por primera vez la inclusión de líneas 4G contando con 14.702 dispositivos LTE 4G.

El operador que va a la vanguardia con esta implementación es Claro Brasil, controlado por el grupo América Móvil quienes ya lanzaron sus servicios en las

ciudades de Porto Alegre, Recife, Curitiba, Campos do Jordao, Búzios, Paraty, Brasilia, Belo Horizonte, Río de Janeiro, Fortaleza y Salvador.

Junto con los operadores Vivo, Oi y TIM, tienen la concesión de las frecuencias LTE en la banda de 2500MHz y tienen también para las zonas rurales la banda de 450MHz. Se encuentra en proceso la licitación de frecuencias para la banda de 700MHz.

#### **1.5.1.4 Chile**

Los tres principales operadores de Chile; Claro, Entel y Movistar recibieron cada uno 20MHz en la banda de 2.6GHz en la subasta realizada en junio del 2012 y tienen un plazo de 12 meses para que el servicio esté disponible al público. Las bases de licitación para el espectro de 700MHz se publicarían en agosto y los adjudicatarios se elegirían dentro de seis meses como fue en el caso de los 2.6GHz.

#### **1.5.2 LTE en Norteamérica.**

En Norteamérica, se han lanzado 19 redes comerciales LTE, incluyendo Bell Mobility y Rogers Wireless en Canada; y AT&T, MetroPCS, Sprint y Verizon en los Estados Unidos. En la Figura 1.15, se puede ver el porcentaje de implementación que se tiene en Norteamérica, en donde con fines comparativos se le ha incluido a México.

Es importante el porcentaje de implementación que se tiene en los Estados Unidos, sobre todo en la banda de 700MHz. En la figura 1.16 se muestra el porcentaje de implementación por bandas de frecuencias de LTE en Norteamérica.

Figura 1.15. Implementación LTE en Norteamérica.

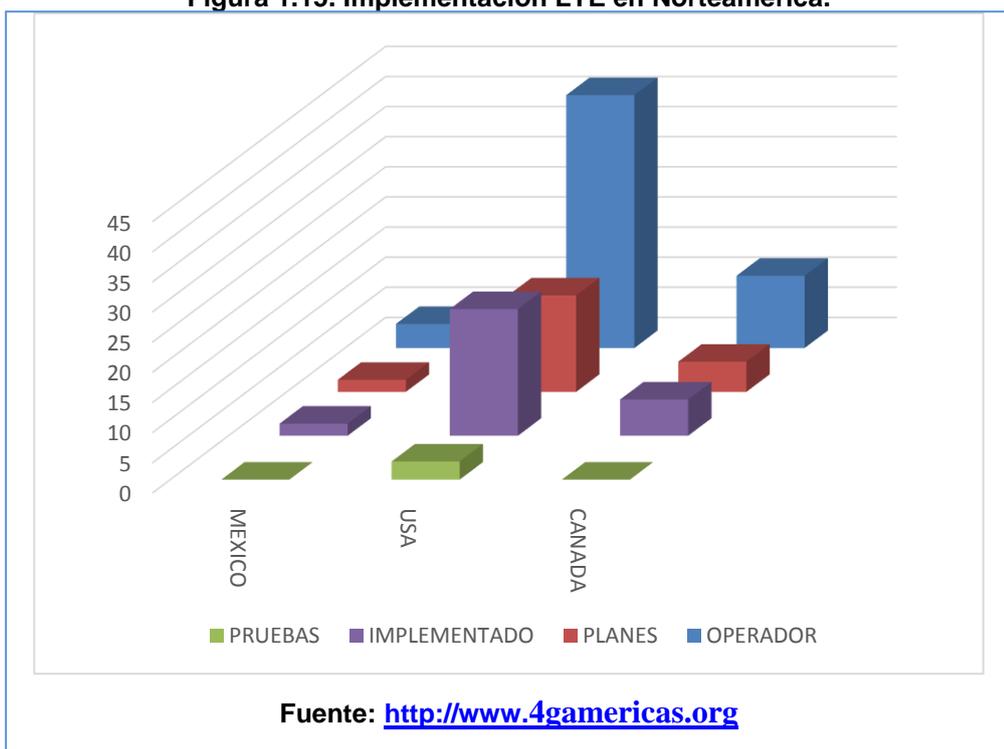
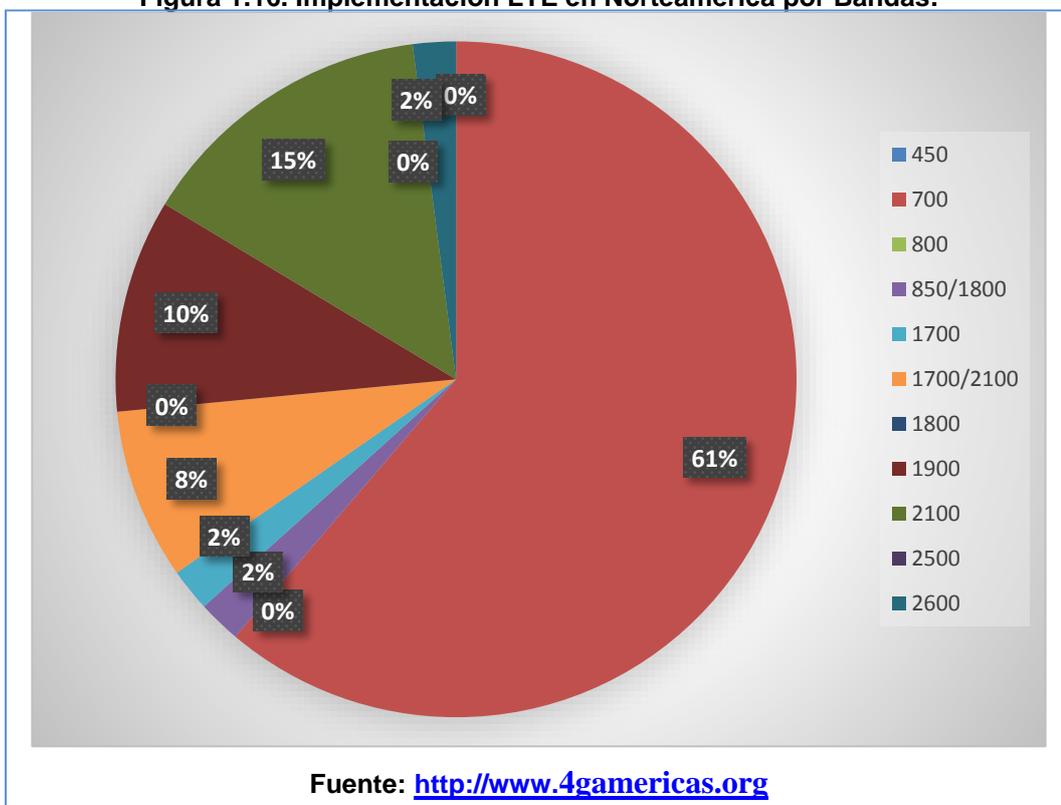


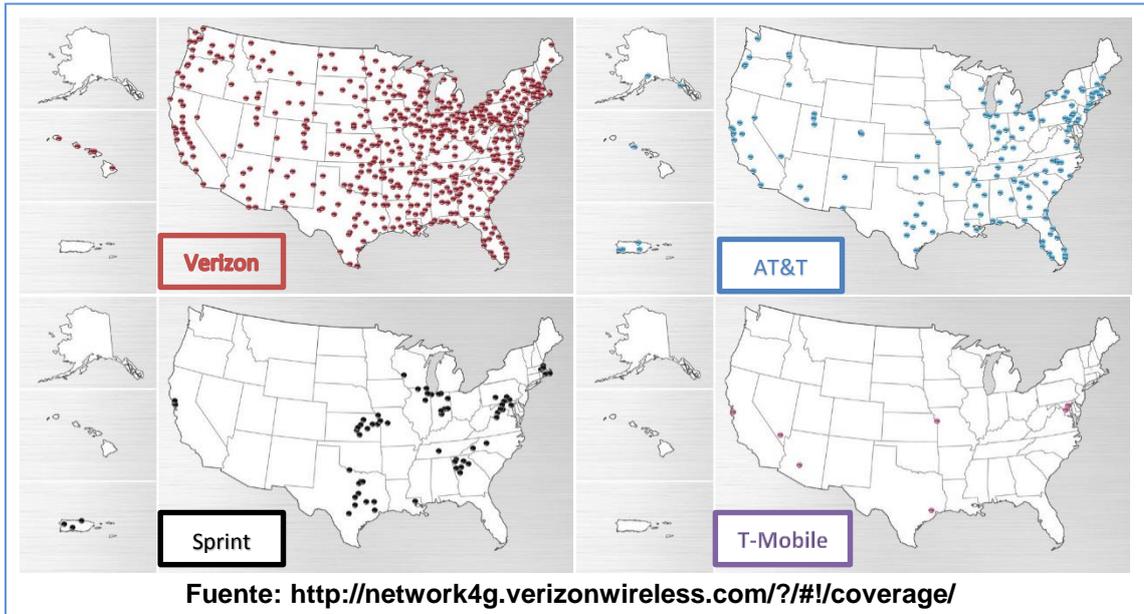
Figura 1.16. Implementación LTE en Norteamérica por Bandas.



**1.5.2.1 Estados Unidos.**

En la actualidad es el país con la mayor implementación de la tecnología en el continente americano, cuenta con cuatro operadoras móviles: Verizon, AT&T, Sprint y T-Mobile. En la figura 1.17 se muestran las coberturas 4G LTE de las operadoras mencionadas.

**Figura 1.17. Cobertura LTE Estados Unidos.**



**1.5.3 LTE en Europa.**

El continente Europeo es el pionero en la implementación de la tecnología LTE, tanto en Europa Oriental como Occidental. Las bandas predominantes son la de 1800MHz y 2600MHz, seguidas por la banda de 800MHz.

A continuación se detallan los porcentajes de implementación en las dos partes de Europa y el porcentaje por bandas de frecuencias.

Figura 1.18. Implementación LTE en Europa Occidental.

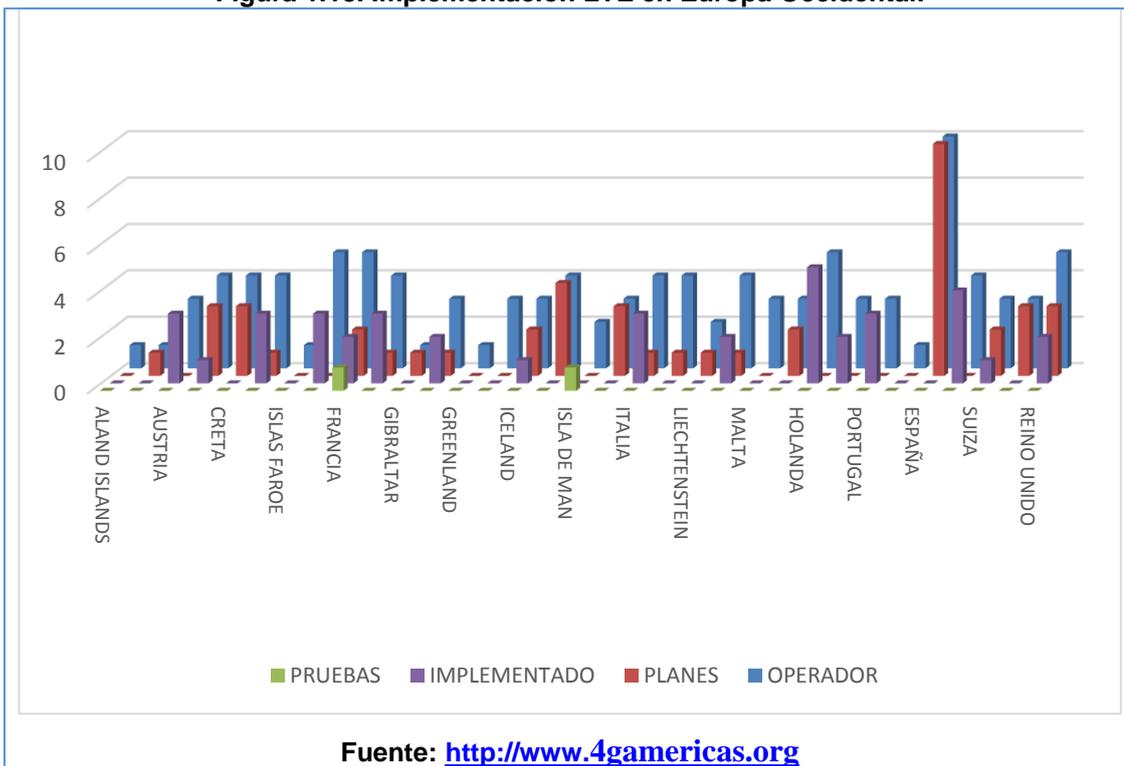


Figura 1.19. Implementación LTE en Europa Oriental.

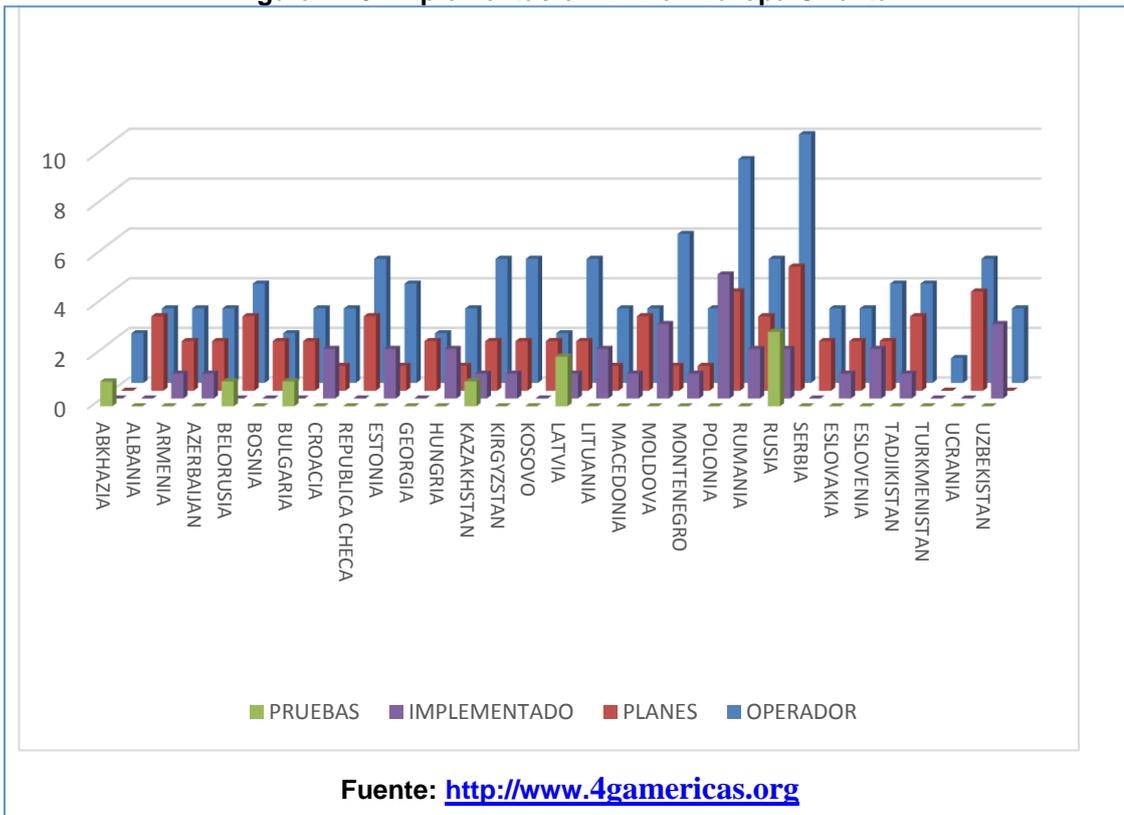
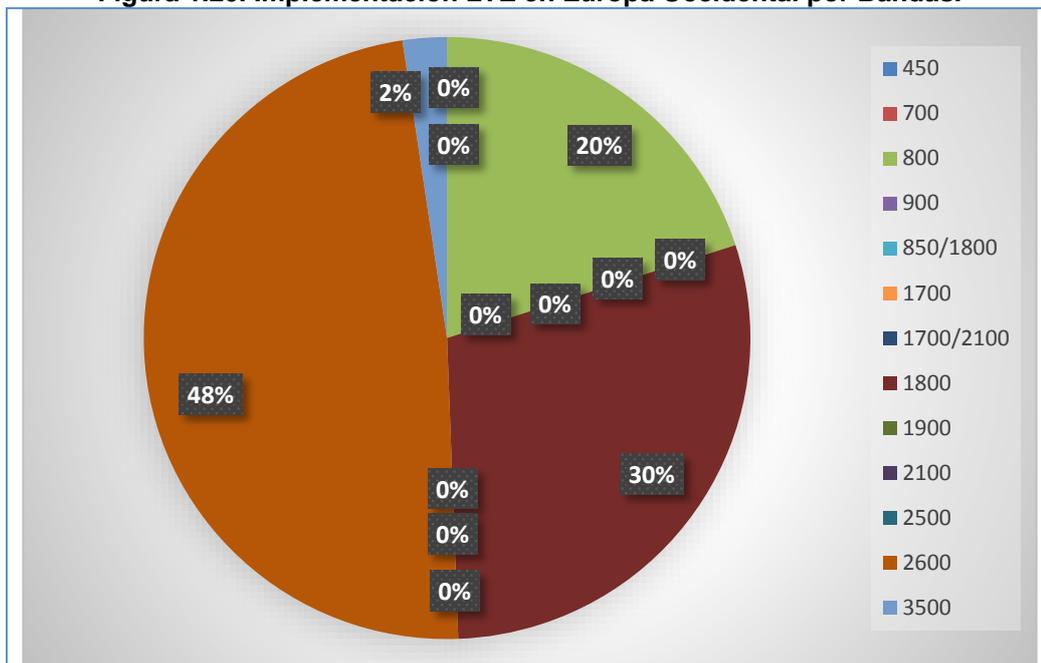
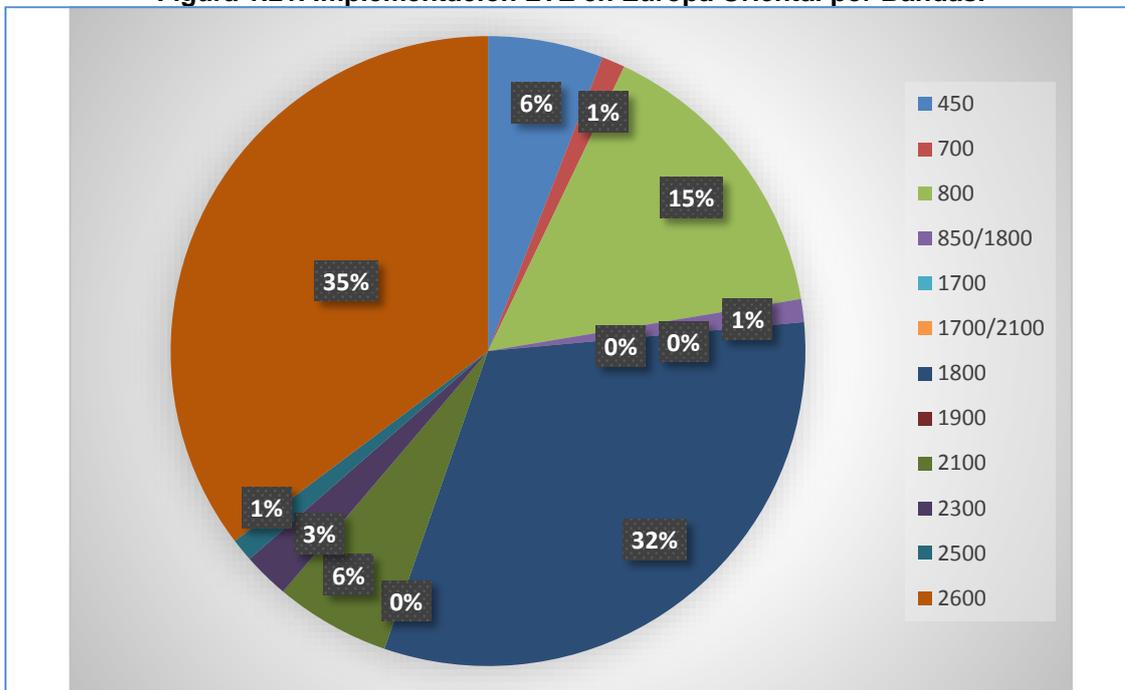


Figura 1.20. Implementación LTE en Europa Occidental por Bandas.



Fuente: <http://www.4gamericas.org>

Figura 1.21. Implementación LTE en Europa Oriental por Bandas.



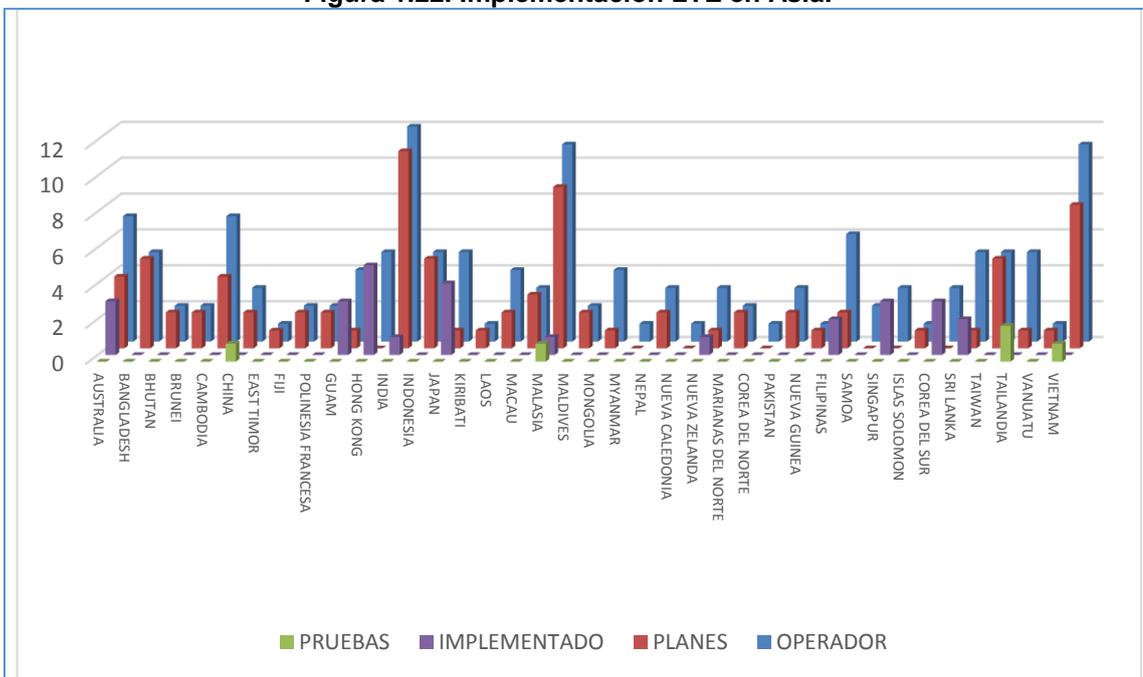
Fuente: <http://www.4gamericas.org>

1.5.4 LTE en Asia.

En el continente asiático existen países con un alto nivel de implementación como son Japón, Hong Kong, Corea del Sur, Singapur y Australia. Las bandas de frecuencias predominantes en Asia son la de 800MHz y la de 2600MHz, seguidas por las bandas de 2100Mhz y 2300MHz.

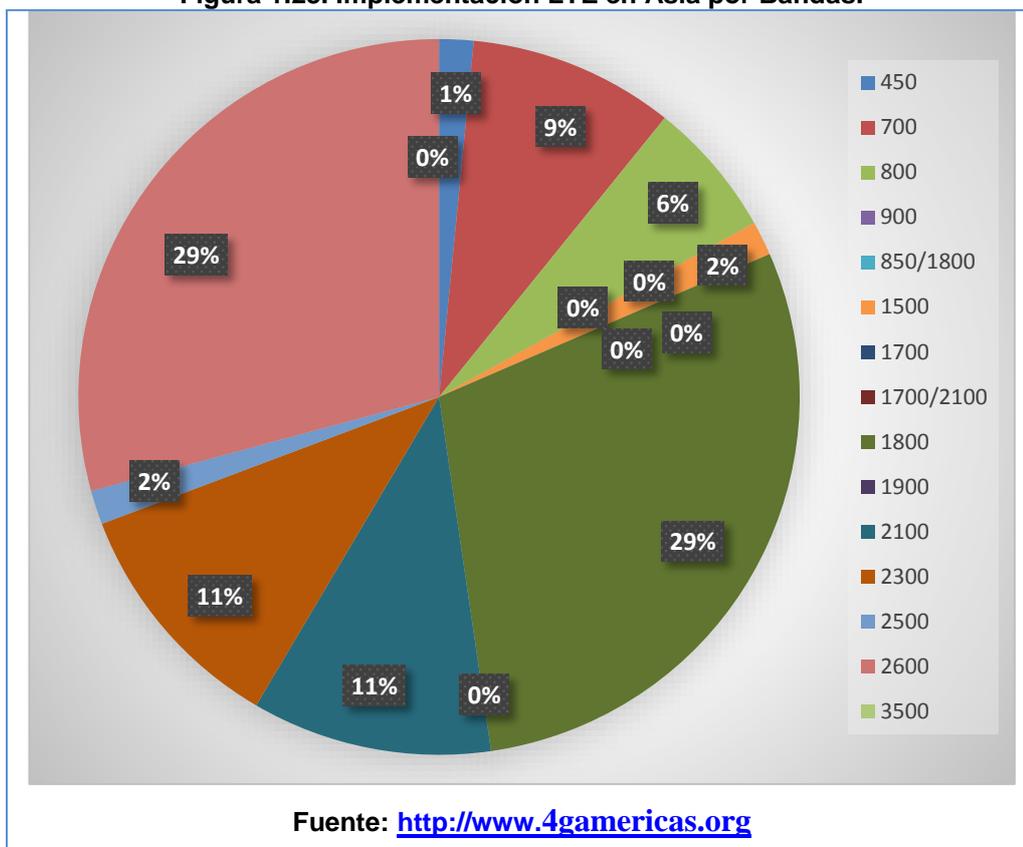
En las figuras 1.22 y 1.23 se muestran el estado de implementación de LTE por países y por bandas de frecuencias.

Figura 1.22. Implementación LTE en Asia.



Fuente: <http://www.4gamericas.org>

Figura 1.23. Implementación LTE en Asia por Bandas.



### 1.5.5 LTE en el Medio Oriente.

En el Medio Oriente existen contados países que han implementado LTE hasta la fecha, estos son: Arabia Saudita, UAE y Oman en su totalidad, Bahrain y Kuwait tienen implementado el servicio en menos del 50%. Únicamente Jordania y Bahrain se encuentran en pruebas de la tecnología, Qatar y Libano tienen planes para la implementación. Los rangos manejados en esta zona son 1800MHz, 2600MHz y 450MHz.

En las figuras 1.24 y 1.25 se muestran el estado de implementación de implementación de LTE por países y por bandas de frecuencias.

Figura 1.24. Implementación LTE en el Medio Oriente.

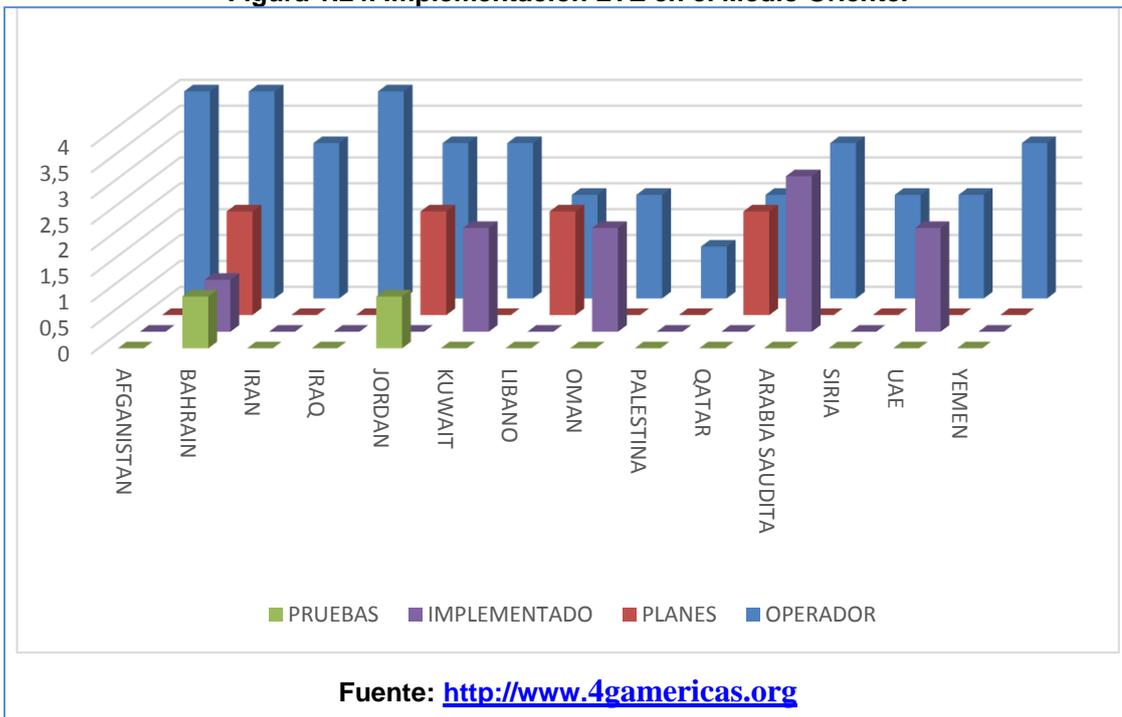
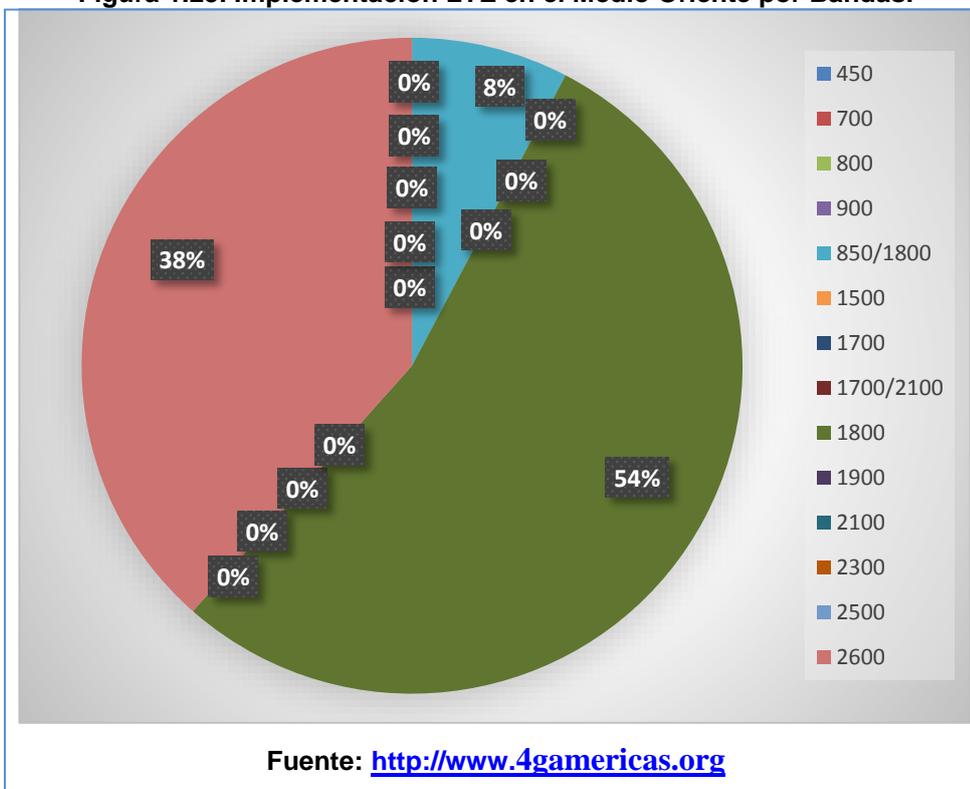


Figura 1.25. Implementación LTE en el Medio Oriente por Bandas.

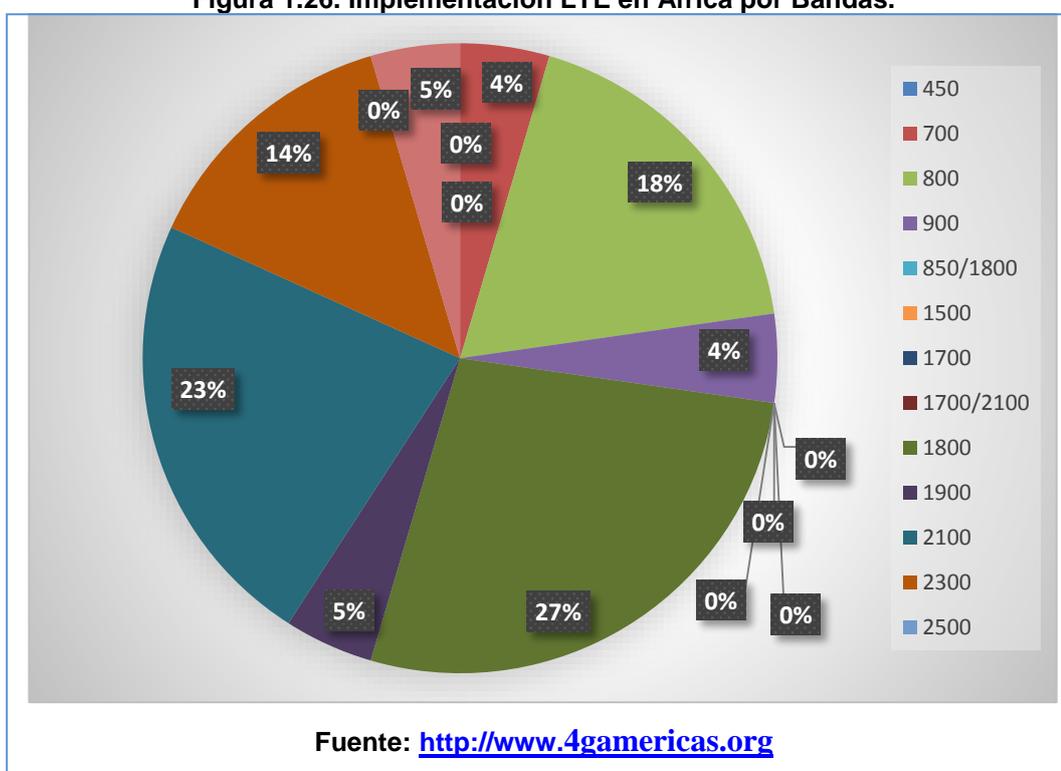


### 1.5.6 LTE en África.

En el continente africano existen 5 países que han implementado LTE hasta la fecha, estos son: Uganda, Tanzania, Sudáfrica, Namibia y Mauritius. Los rangos manejados en esta zona son 1800MHz, 2100MHz, 800MHz y 2300MHz.

En la figura 1.26 se muestra el estado de implementación de LTE por bandas de frecuencias.

Figura 1.26. Implementación LTE en África por Bandas.

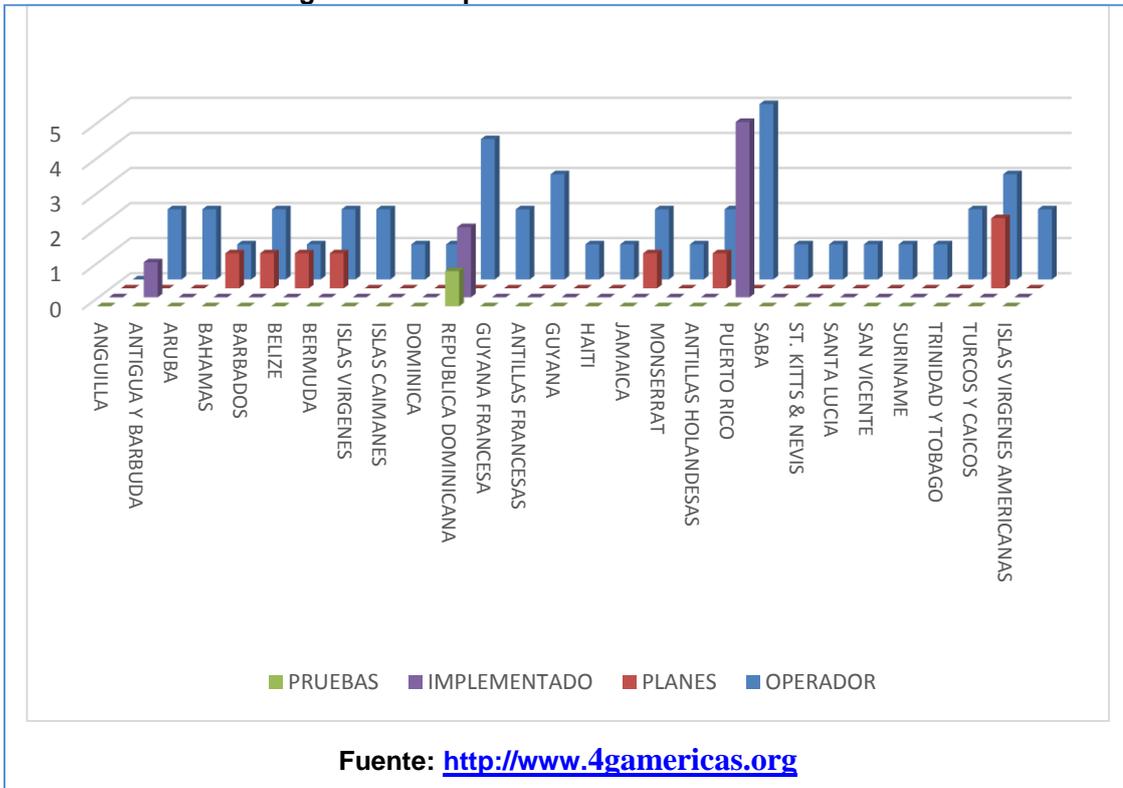


### 1.5.7 LTE en el Caribe.

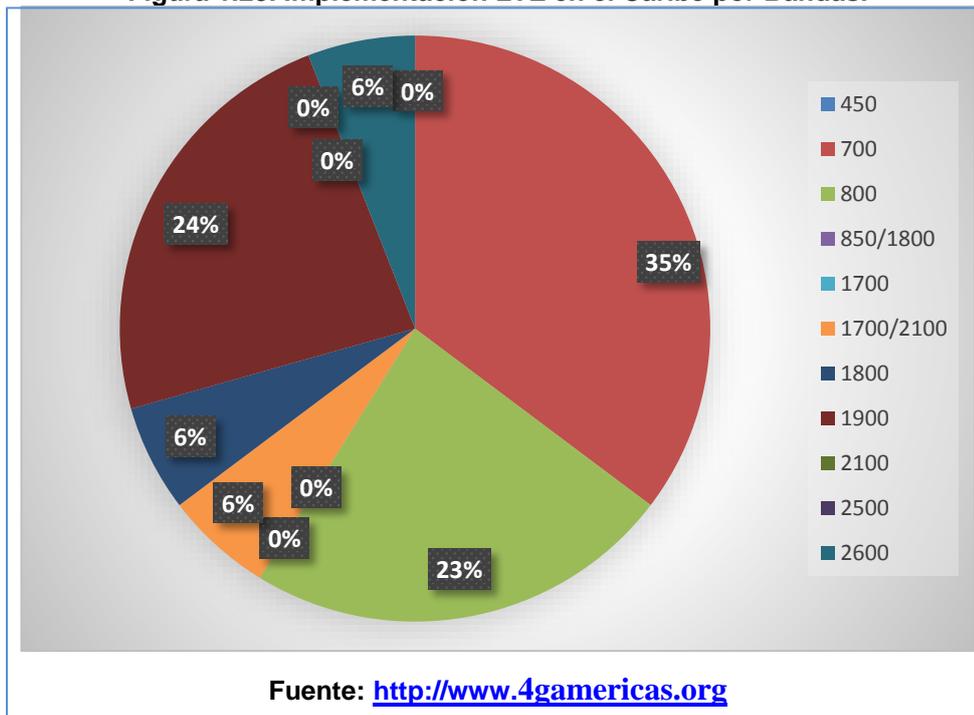
En el Caribe, países como Puerto Rico han implementado en su totalidad los operadores sus redes LTE, otros países que han implementado un porcentaje considerable son República Dominicana y Antigua y Barbuda. En la etapa de planificación se encuentran 7 países. Los rangos manejados en esta zona son 700MHz, 800MHz y 1900MHz.

En las figuras 1.27 y 1.28 se muestran el estado de implementación de LTE por países y por bandas de frecuencias.

**Figura 1.27. Implementación LTE en el Caribe.**



**Figura 1.28. Implementación LTE en el Caribe por Bandas.**



**1.6 Conclusiones:**

1. LTE es una tecnología 4G que accede a frecuencias de alto rendimiento, permitiendo altas velocidades de transmisión y recepción en dispositivos móviles y que coexiste con tecnologías 2G y 3G.
2. LTE utiliza un esquema de acceso múltiple que provee ortogonalidad entre los usuarios reduciendo interferencias y maneja flexibilidad del espectro con variaciones del ancho de banda.
3. Existen 412 operadores que están invirtiendo en tecnología LTE en 125 países, así como 98 operadores han lanzado sus servicios en el 2012 y se espera que 244 redes sean lanzadas en 87 países para el 2013.
4. La bandas de frecuencias más implementadas a nivel mundial es la de 2600MHz, 1800MHz; seguidas de las bandas de 700MHz, 800MHz y 2100MHz.
5. El continente con mayor implementación de la tecnología es Europa y el que menor implementación tiene es África.

# CAPITULO 2

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

## **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

La necesidad de representar a la superficie terrestre de forma gráfica mediante mapas cartográficos, y a la vez poder realizar análisis de superficies, estadísticas poblacionales, determinar el uso de los terrenos, fallas geológicas, etc., ha llevado a la humanidad a crear la cartografía y los sistemas de información geográfica...

## 2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

### 2.1 Introducción:

Este capítulo hace un recuento sobre la cartografía, sus principios de creación, sus tipos; de acuerdo al proceso de realización; y las diferentes proyecciones hasta llegar a su representación gráfica digital a través de los sistemas de información geográfica SIG; la principal característica es manejar eficientemente un gran volumen de información tanto espacial como temática de determinadas áreas geográficas. La importancia de este capítulo se debe a la utilización del SIG para almacenar las coberturas radioeléctricas como si se tratara de un mapa, facilitando así la creación, almacenamiento y gestión de todos los parámetros necesarios dentro de la planificación de los sistemas de comunicaciones móviles de cuarta generación.

### 2.2 Conceptos Básicos.

#### 2.2.1 Cartografía.

La Cartografía viene del griego *chartis* = mapa y *graphein* = escrito; es la ciencia que estudia los diferentes métodos y sistemas utilizados para representar sobre un plano una parte o la totalidad de la superficie terrestre, es decir, se encarga del estudio y la elaboración de mapas. La función fundamental de la elaboración de mapas, es la de proporcionar información exacta y clara sobre la existencia de fenómenos sobre la tierra, haciendo un uso efectivo de los gráficos, estadísticas, diagramas, etc. Es necesario también el seleccionar la metodología apropiada para cada situación; de esta manera el equipo, el diseño y las técnicas deben estar ajustados a los requerimientos específicos del producto final. De acuerdo a la dimensión de la superficie a representar se tiene, un simple plano (Topografía) o una superficie más compleja similar a la superficie terrestre (Geodesia). Para poder representar la superficie terrestre se deben considerar 2 aspectos: la escala y la proyección.

Conforme al desarrollo del proceso de obtención de datos, tenemos las siguientes clases de cartografías:

## **2.2.1.1 Cartografía Básica:**

Son mapas topográficos que se elaboran a partir de procesos directos de observación y medición de la superficie terrestre.

## **2.2.1.2 Cartografía Derivada**

Se realiza a partir de la generalización de la información topográfica que viene representada en la cartografía básica existente.

## **2.2.1.3 Cartografía Temática**

Utiliza como soporte la cartografía básica o derivada, para desarrollar algún aspecto concreto o algún fenómeno específico.

## **2.2.2 Mapa**

Es una representación geométrica plana simplificada de la superficie terrestre con una relación de similitud a la realidad, denominada escala. Es un modelo gráfico de la superficie terrestre, donde se representan las localidades, sus atributos y sus relaciones topológicas, teniendo en cuenta la esfericidad terrestre.

## **2.2.3 Escala:**

La escala es la relación entre el tamaño del gráfico y el tamaño de una porción de la superficie terrestre, concretamente; la escala es la razón entre la distancia en el mapa y la distancia sobre el terreno; la escala es muy importante en el diseño cartográfico, debido a que controla la cantidad de datos o el detalle de representación, el tamaño

del gráfico, el coste de producción, la cantidad de tiempo que se debería invertir en un proyecto determinado, etc.

Hablar de mapas a pequeña escala es referirse a aquellos que cubren amplias áreas pero con muy poco detalle, al contrario de los mapas a gran escala que cubren a gran detalle pero áreas pequeñas. De todas maneras es importante jugar con el detalle y el área de cobertura de acuerdo a las necesidades.

La escala puede ser: numérica cuando relaciona el tamaño del mapa con el tamaño real sobre el terreno Ej.: E de 1:25.000, significa que una unidad en el mapa equivale a 25.000 unidades en el terreno; escala gráfica o lineal, cuando se trata de un segmento o conjunto de segmentos subdivididos en unidades de la distancia del terreno, las unidades de subdivisión tienen que ser elegidas tan iguales como sea posible. La expresión de escala, es una expresión escrita de la distancia en el mapa con relación a la distancia en la Tierra Ej.: 1 pulgada = 1 milla;

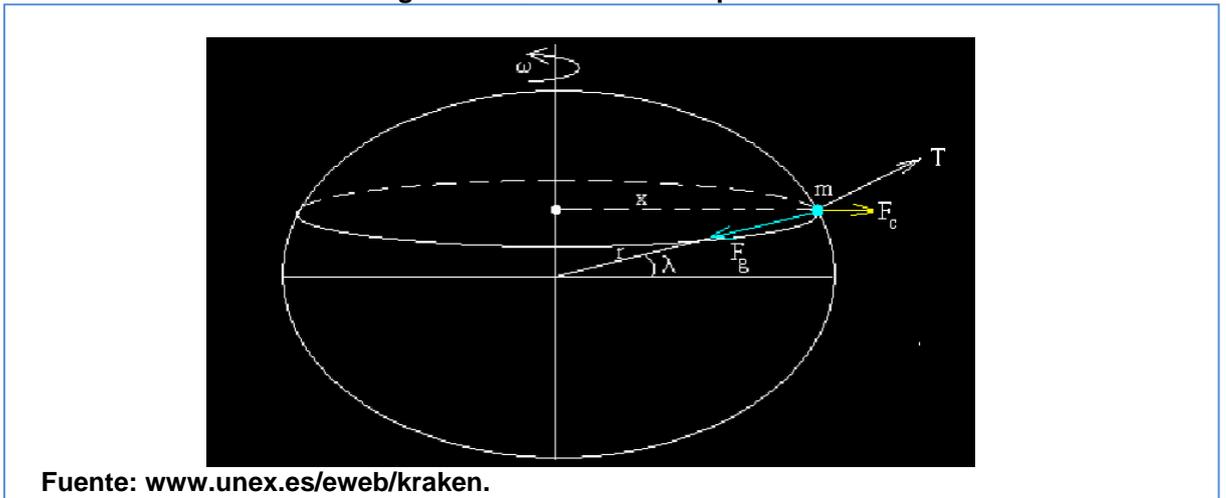
## **2.3 Manejo de Coordenadas y Distancias**

### **2.3.1 Proyecciones Cartográficas:**

Al no ser la Tierra ni plana ni redonda, se genera un problema con la creación de los mapas a pequeña y gran escala, a pesar de que se ha determinado que la Tierra es esférica con los polos ligeramente aplanados por los efectos de la rotación, se continua investigando su forma exacta.

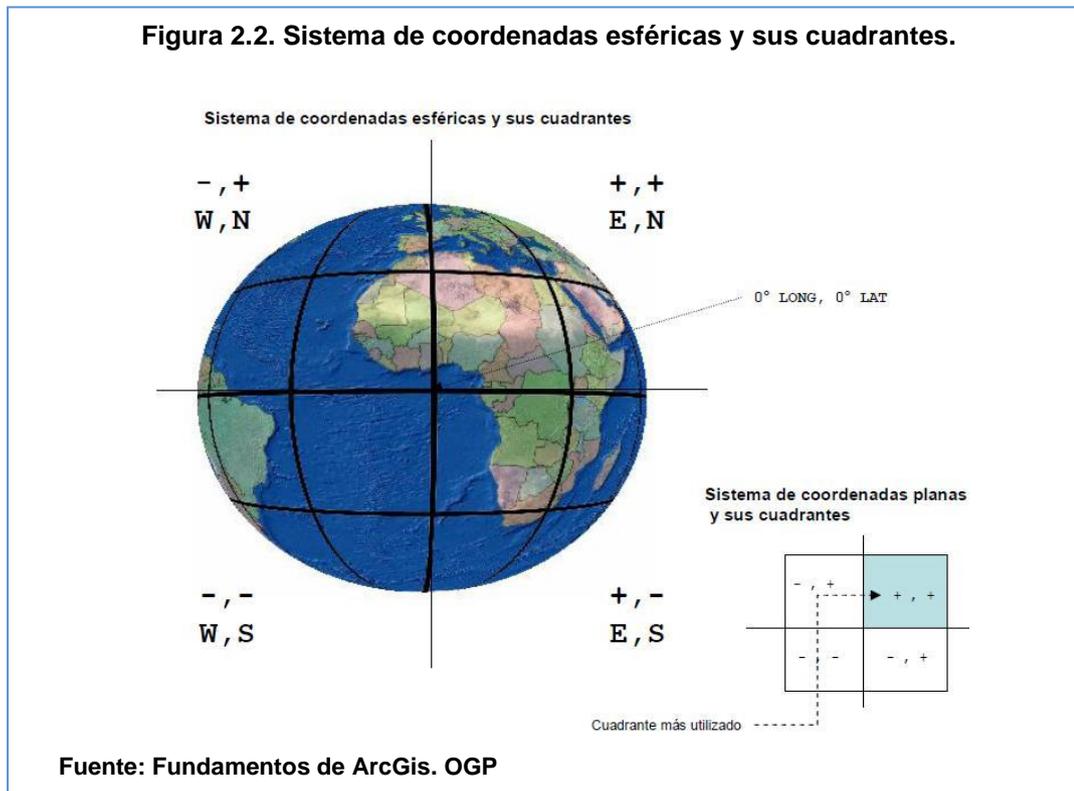
Adicionalmente a esto, la distribución no uniforme de la masa de la Tierra que crea variaciones en la fuerza y la dirección de la gravedad que controla las superficies horizontales y verticales utilizadas en la topografía, ha causado que los científicos crearán la forma geoide de la Tierra. Para efectos de la cartografía, se requiere que la superficie irregular de la Tierra sea transformada en una forma geométrica regular que facilite los cálculos y que sea muy similar al geoide tridimensional conocida como elipsoide. Ningún elipsoide puede ser considerado adaptable a todos los estudios y cartografías a lo largo del mundo, así que por razones históricas o políticas se utilizan algunas figuras de la Tierra.

Figura 2.1. Gráfica de la Elipsoide.



Partiendo de esto, para representar la naturaleza tridimensional de la superficie curva de la Tierra, en dos dimensiones X y Y se utilizan las proyecciones cartográficas. Las fórmulas para la proyección son expresiones matemáticas que convierten los datos de una localidad geográfica (longitud y latitud) en una superficie plana dentro de un elipsoide, distorsionando inevitablemente ya sea la forma, el área, la distancia o la dirección. Ésta distorsión dependerá del tamaño del mapa con el que se trabaje; en áreas pequeñas casi no se nota la distorsión pero en áreas extensas se requiere de una proyección más exacta.

Figura 2.2. Sistema de coordenadas esféricas y sus cuadrantes.



Las proyecciones cartográficas son una correspondencia entre los puntos de la superficie terrestre y los puntos en un plano proyectado. Puesto que cualquier punto de la esfera está definido por sus coordenadas geográficas ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) y cualquier punto en el plano lo está por sus coordenadas cartesianas ( $X$ ,  $Y$ ), existirá una serie infinita de relaciones que ligen ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) con ( $X$ ,  $Y$ ). Cada una de estas infinitas relaciones será un sistema de proyección cartográfico.

Existen distintas clases de proyecciones que generan uno o más tipos de distorsiones, pero con ninguna proyección se corrigen todas las distorsiones a la vez.

### 2.3.2 Tipos de Proyecciones:

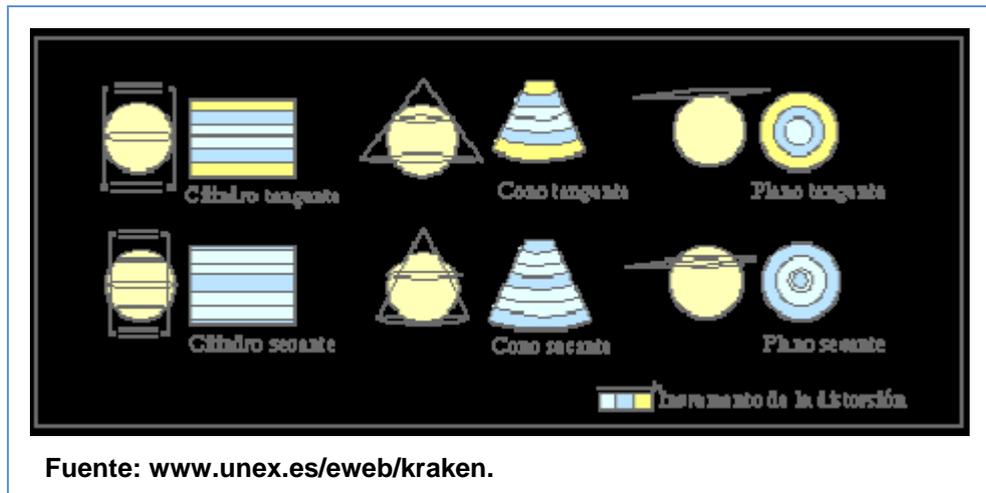
**Cuadro 2.1. Tipos de Proyecciones.**

Tipo de Proyección	Preserva	Ejemplo
Conforme	Forma	Cónica Conforme de Lambert
Área Igual	Área	Cónica Área Igual de Albers
Equidistante	Distancia	Cónica Equidistante
Acimutal	Dirección	Acimutal Área Igual de Lambert

**Fuente: Fundamentos de ArcGis. OGP**

Las superficies de proyección son variadas, entre ellas están las cónicas, planas, gnomónicas, estereográficas y ortográficas.

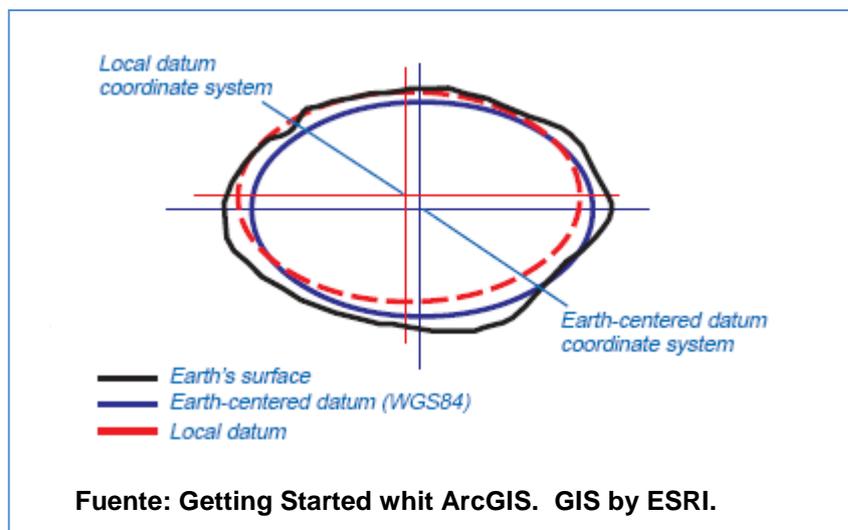
Figura 2.3. Proyecciones Cartográficas y sus Formas Geométricas Base.



- **Sistemas de Referencias (DATUM)**

El concepto de Datum provee un marco de referencia para definir las localizaciones en la superficie de la tierra, definiendo el origen y la orientación de las latitudes o longitudes y la posición del esferoide con respecto al centro del planeta. El Datum más utilizado en la actualidad es el World Geodetic System de 1984 conocido como WGS84, incluso las medidas realizadas a través de los GPS están basadas en el datum WGS84.

Figura 2.4. Datums.



### 2.3.3 Sistemas de Coordenadas:

Al girar la tierra sobre su eje genera dos puntos en los cuales se basan los sistemas de coordenadas, que no son más que líneas entrelazadas en retículas para permitir la ubicación exacta de rasgos determinados de la superficie, permitiendo generar conceptos de dirección y distancia. Existen 2 tipos de sistemas de coordenadas: el Geográfico de coordenadas y el de Cuadrícula Universal Transversal Mercator (UTM).

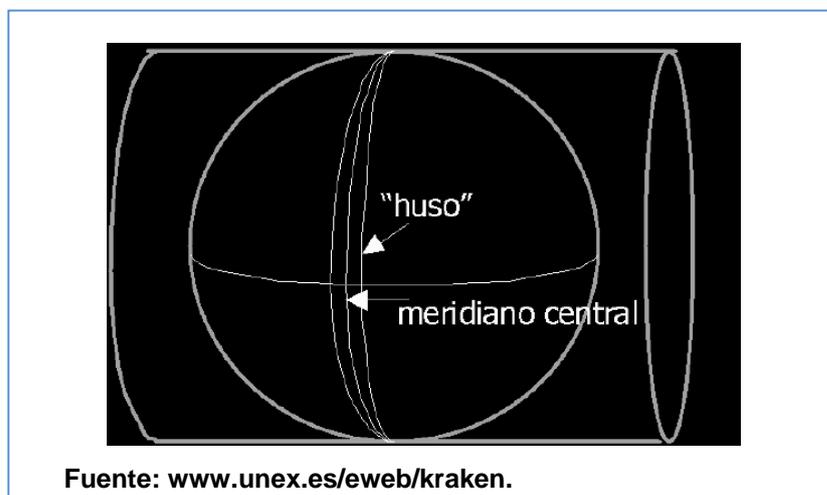
#### 2.3.3.1 Sistema Geográfico de Coordenadas:

Es el primer sistema de coordenadas esféricas utilizado por filósofos griegos. Utiliza las líneas de longitud y latitud considerando que ni los meridianos ni los paralelos son rectos ni regularmente espaciados. Sirve para cartografías de grandes aéreas y para medir distancias y direcciones en unidades angulares de grados, minutos y segundos  
EJ. Cerro Hito Cruz ( $02^{\circ} 55' 45''$  S /  $78^{\circ} 59' 52''$  O)

#### 2.3.3.2 Sistema de Cuadrícula Universal Transversal Mercator (UTM)

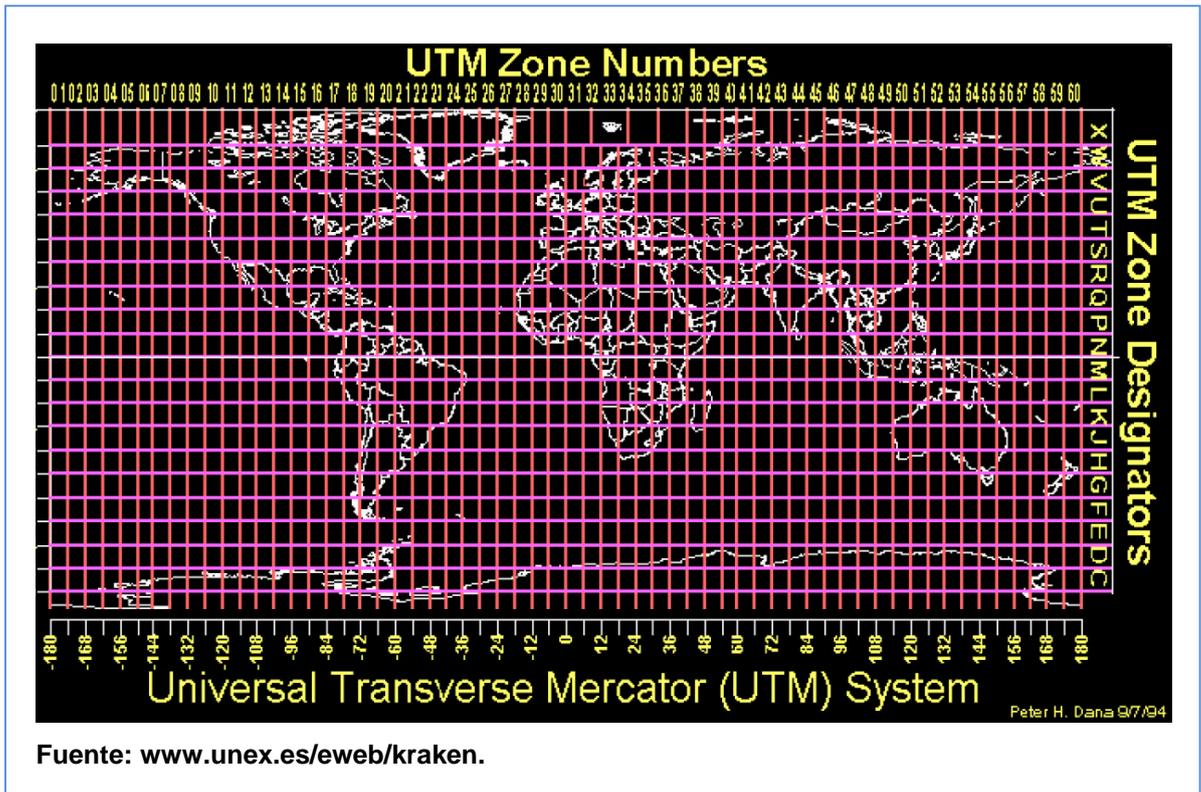
Sistema que proporciona zonas de retículas entre las latitudes  $80^{\circ}$  Sur y  $80^{\circ}$  Norte. Toma como superficie de referencia un cilindro (proyección cilíndrica) colocado tangente a la elipsoide, ubicando el eje del cilindro dentro del plano del Ecuador, de esta manera el cilindro es tangente al elipsoide a lo largo de una línea que define un meridiano, que es tomado como el origen.

Figura 2.5. Universal Transversal Mercator.



Con este sistema se divide la tierra en 60 husos de 6° de amplitud en sentido Oeste-Este, partiendo del meridiano de Greenwich. La cuadrícula UTM configura un sistema propio e independiente para cada huso, así cada punto del terreno en determinado huso tiene sus coordenadas genuinas que los definen unívocamente.

Figura 2.6. Las Zonas de Proyección de Universal Transversal Mercator.



## 2.4 Implementación de Bases de Datos con los Niveles Topográficos:

### 2.4.1 Tipos de altitudes:

#### 2.4.1.1 Alturas Geométricas.

Se determinan a través de nivelación geométrica, obteniéndose las variaciones de nivel según el campo de gravedad. Debido a la forma de la Tierra y su distribución irregular de las masas, las superficies equipotenciales en puntos diferentes no son iguales.

## 2.4.1.2 Alturas Elipsoidales:

Se refieren a la separación entre la superficie topográfica terrestre y la superficie del elipsoide. Se mide por la normal al elipsoide.

## 2.4.1.3 Alturas Ortométricas:

Es la altura entre la superficie topográfica y el geoide; se mide por la normal al geoide. Es necesario conocer la gravedad verdadera entre el punto evaluado y el geoide.

## 2.4.2 Sistemas de Información Geográfica SIG (GIS):

Los Sistemas de Información Geográfica SIG son una integración de software y hardware diseñados para capturar, almacenar, manipular y representar eficientemente todo tipo de información que se encuentre geo referenciada; es decir, las coordenadas de todos los elementos gráficos son conocidas en un mismo sistema de referencia. Son capaces de manejar eficientemente gran cantidad de información tanto espacial como temática de una determinada área geográfica. Un SIG puede manejar un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto definido por un par de coordenadas tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en el sistema.

Un GIS puede ser utilizado para cartografía, geografía histórica, investigaciones científicas, gestión de recursos, evaluación del impacto ambiental, marketing, logística, etc. Con un GIS se pueden manejar dos tipos de información geográfica: Espacial y Descriptiva.

**Espacial:** describe la localización y la forma de diversas características científicas, puede ser almacenada en rasters o vectores.

**Descriptiva:** proporciona información adicional asociada a cada una de esas características geográficas, almacenadas en tablas de atributos relacionadas con los rasters o vectores.

Un SIG funciona como una base de datos con información geográfica que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. Si se requiere conocer las características de un objeto únicamente se lo señala en el mapa y de igual manera si se necesita saber la localización de un objeto en la tabla de atributos se lo señala y el objeto es mostrado en el mapa.

La razón fundamental para utilizar un GIS es la gestión de la información espacial, pues nos permite separar la información en diferentes capas temáticas y almacenarlas independientemente, realizando un trabajo rápido y sencillo y a su vez relacionarlas entre ellas para generar una nueva capa. Los SIG son herramientas muy innovadoras y se han convertido en sistemas muy poderosos debido a que son integradores de tecnologías.

Partiendo de este análisis se vio la manera de integrar los beneficios de un SIG con el cálculo de los sistemas de comunicaciones mediante el cual se puede hacer un levantamiento de los emplazamientos de las radiobases de los sistemas de comunicaciones móviles celulares, con todos sus atributos relacionados al sistema del que forman parte, generando así una base de datos de telecomunicaciones referente a los Sistemas de Comunicaciones existentes en Cuenca y sus alrededores.

## 2.5 Conclusiones:

1. Para realizar este sistema de simulación, se consideró necesaria la utilización de mapas cartográficos básicos de la ciudad de Cuenca y sus alrededores, en donde se distingan los sitios destacados y sus respectivas alturas, la división por

cuadras de la ciudad, las curvas de nivel de la zona. Con éste propósito, se consiguió cartografía en formato CAD.

2. Analizando entre los datums disponibles, se determinó que el más conveniente es el UTM WGS84, pues aparte de ser el exigido por el ente de Regulación en el Ecuador para la presentación de estudios radioeléctricos en las solicitudes de los diferentes sistemas; es el que menor error genera entre la representación gráfica y la realidad, con una tolerancia de 50 metros aproximadamente.
3. En lo referente a los diferentes sistemas de información geográfica se determinó, que el más óptimo para el desarrollo del sistema de simulación es el software denominado ArcGis bajo la tecnología ESRI, pues aparte de todos los atributos y potencialidades del mismo, es el software que la Universidad del Azuay tiene licencia y es utilizado por su instituto IERSE.

# CAPITULO 3

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

## MODELOS DE CÁLCULO

Un modelo de cálculo no es más que la forma matemática de expresar un evento o fenómeno natural, para a partir del mismo determinar comportamientos y realizar proyecciones.

### 3. MODELOS DE CÁLCULO

#### 3.1 Introducción:

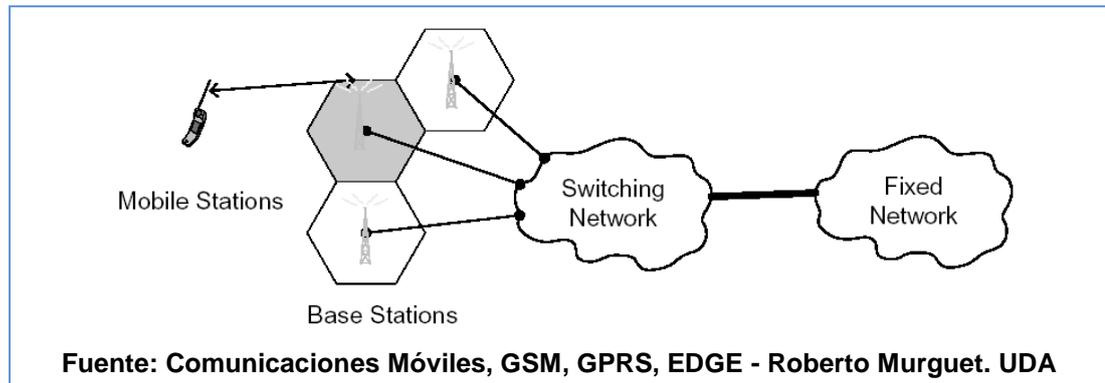
Para el diseño de un sistema celular se deben tomar en cuenta los siguientes factores: Cobertura radioeléctrica, Limitación de frecuencia, Movilidad de los usuarios, Distribución del tráfico, etc. En este capítulo nos centraremos en la descripción de los modelos de cálculos que serán utilizados en la simulación, para los Sistemas de Comunicación Móvil, siendo estos de mayor detalle para la planificación dentro del sector urbano de la Ciudad.

#### 3.2 Sistemas de Comunicación Móvil.

Las comunicaciones móviles están en su mejor etapa de crecimiento y desarrollo; pero de manera especial la telefonía celular, que entre sus principios está el tener una cobertura total sin fronteras y con un gran número de usuarios; solo en el país ha crecido de 6'292.685 usuarios en el 2006 a 16'228.191 en el 2012 y 17'392.882 hasta abril del 2013.

Los sistemas móviles son de cobertura zonal, una de las importantes consideraciones para el diseño de estos sistemas es que las estaciones móviles pueden estar situadas en cualquier punto del área de cobertura, variando continuamente el trayecto de propagación. La telefonía móvil celular tiene una arquitectura básica a través de celdas, es decir, la zona de cobertura deseada es dividida en zonas más pequeñas a las que se les denomina celdas. En cada celda se encuentra una estación radioeléctrica denominada radiobase, las que se encuentran distribuidas continuamente, de manera que la estación móvil siempre opere con niveles aceptables de señal; además una estación bien ubicada puede proporcionar servicio a un gran número de terminales móviles

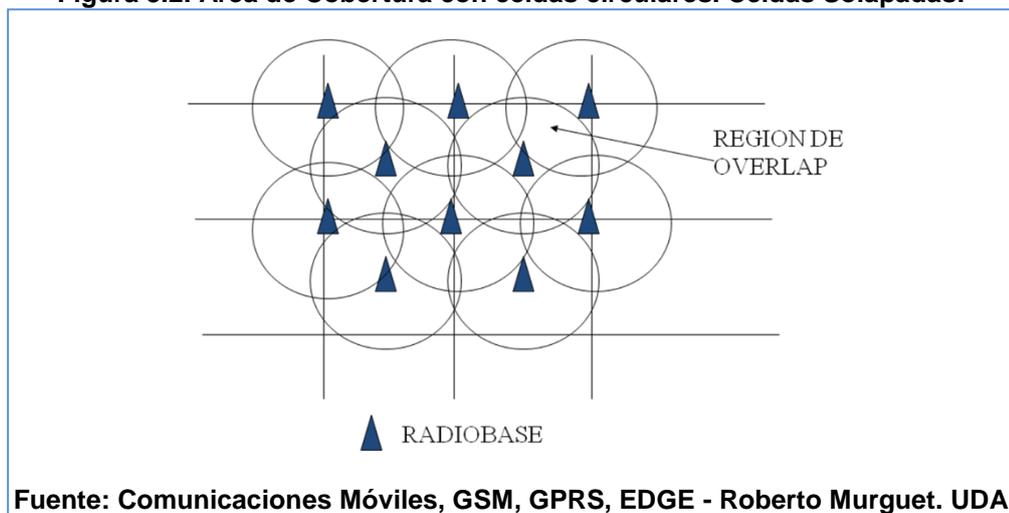
Figura 3.1. Sistema Móvil Celular.



Teóricamente para planificar un sistema celular es necesario definir: la forma geométrica más conveniente para la celda, la estructura geométrica del clúster (agrupación de celdas) y el análisis de interferencia.

Simplificando el estudio, se determinan los mismos parámetros de transmisión de las estaciones base y las mismas condiciones del terreno y propagación en toda la zona que se desea planear la cobertura, obteniendo así, esquemas regulares de disposición de canales basados en celdas del mismo tamaño y forma. Si se considerarían antenas omnidireccionales en los transmisores, la zona de cobertura de cada estación base sería circular y no lograrían cubrir toda la zona, dejando espacios sin cobertura. Por otro lado, si se disminuiría la distancia entre esas estaciones, se llegarían a solapar las áreas de cobertura de cada celda con su adyacente y ya no se aplicaría la eficiencia espectral, como se indica en la figura:

Figura 3.2. Área de Cobertura con celdas circulares. Celdas Solapadas.



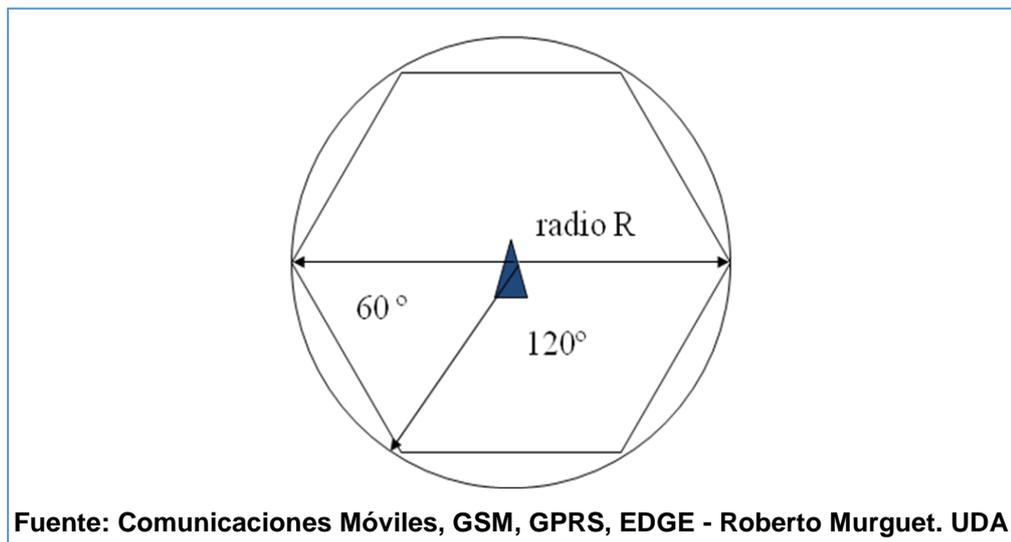
Para evitar el solapamiento, se han definido el estudio de las coberturas a través de triángulos, cuadrados y hexágonos, ubicando siempre la estación en el centro de la figura. Al analizar el área de las 3 figuras se determina que el hexágono es el que mayor superficie proporciona, por lo que, el número de celdas requerido para cubrir la zona será menor.

$$S = 3\sqrt{\frac{3R^2}{4}}$$

**Ecuación 3.1. Superficie del Hexágono.**

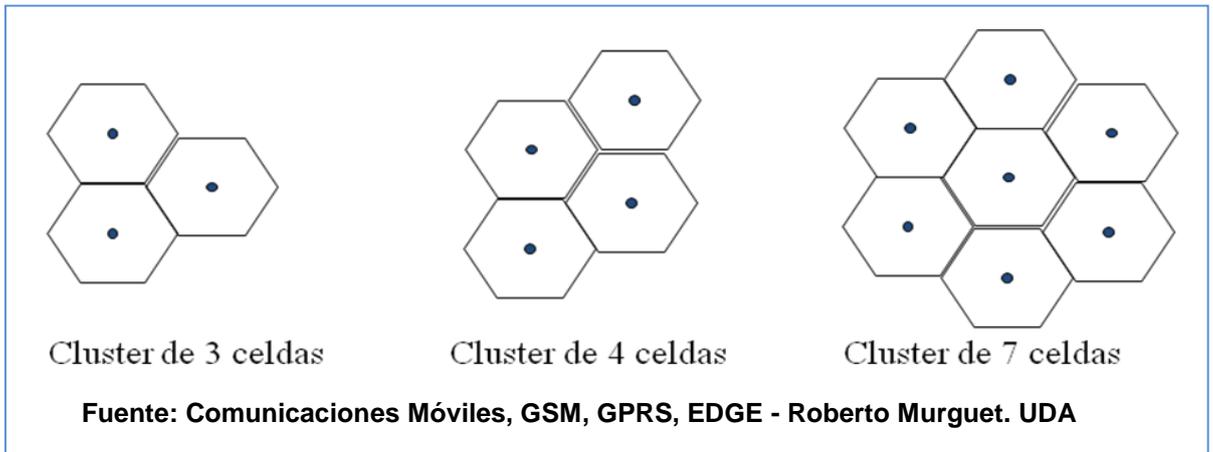
Los hexágonos pueden ser alineados lado a lado, dando así una cobertura continua. De esta manera, aparece el concepto de sectorización de  $60^\circ$  (6 sectores) o  $120^\circ$  (3 sectores), requiriendo de antenas direccionales.

**Figura 3.3. Sectorización de las celdas hexagonales.**



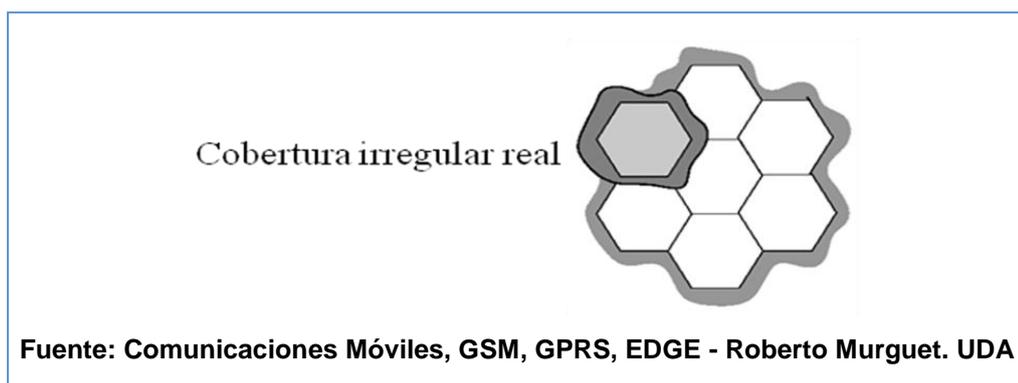
Estas celdas hexagonales son dispuestas en grupos llamados clúster que pueden ser de 3, 4 o 7 celdas, como se indica en la figura:

Figura 3.4. Agrupación de celdas. Clústers.



Este sistema de análisis de cobertura mediante celdas hexagonales es netamente teórico; en la práctica podrían presentarse casos en los que la estación móvil se encuentre fuera de la celda y ocupe todavía sus frecuencias o viceversa, la estación móvil todavía se encuentra dentro de la celda pero utiliza las frecuencias de la celda adyacente, todo esto está en función de las condiciones de propagación encargadas de definir el verdadero tamaño de las celdas.

Figura 3.5. Área de Cobertura Ideal y Real.



### 3.2.1 Determinación del Radio de Cobertura.

El modelo de propagación más utilizado para predecir el rango de cobertura de las celdas, es el llamado Okumura – Hata, que consideran variantes para zonas urbanas, suburbanas y rurales.

Dentro de la planificación de un sistema celular se busca determinar el rango de cobertura de cada celda, como se explicó anteriormente este rango (d) es determinado a través de la fórmula de pérdidas de los modelos de propagación, en el caso del modelo de Okumura Hata d sería:

$$d = 10^{\left( \frac{(Lu - 69.55 - 26.16 \log_{10} f + 13.82 \log hb + A(hm))}{(44.9 - 6.55 \log_{10} hb)} \right)}$$

**Ecuación 3.2. Radio de Cobertura Okumura Hata.**

En donde:

Lu Pérdidas de propagación en zonas urbanas

f Frecuencia del Sistema

hb Altura efectiva de la antena de la Estación Base

A(hm) Factor de Corrección para la altura efectiva del receptor en función de la zona

Los fenómenos de propagación móvil son muy difíciles de analizar sobre todo en ambientes urbanos y en el interior de edificios, para esto se utilizan modelos empíricos de tipo estadístico y de tipo exacto. Uno de los modelos de propagación celular en el interior de edificios es el de Motley, que se basa en una pérdida en el punto de referencia a la que se le suman un factor proporcional a la distancia y parámetros de pérdida por atravesar muros, piso, techos, etc. Otro método netamente empírico, es el medir directamente la señal en el exterior y en el interior de los edificios. Y finalmente un método exacto requiere de una base de datos geográfica exacta y en el cual se aplican las ecuaciones de Maxwell o el Trazado de rayos (Ray Traicing).

Para realizar el cálculo del radio de cobertura se analizan 2 esquemas, el que considera la pérdida de edificios denominado radio INDOOR y el que no considera

pérdida por edificios denominado Radio OUTDOOR. Otro concepto es el enlace de subida (móvil - base) conocido como UPLINK y el de bajada (base – móvil) DOWNLINK. A continuación presentamos las fórmulas a utilizar para el cálculo del radio de cobertura con estas dos variantes:

$$V_{down} = P_b - P_{cables} - Filtros_b + G_b + G_m - Filtros_m$$

**Ecuación 3.3. Balance del Enlace Descendente.**

$$V_{up} = P_m - P_{cables} - Filtros_m + G_b + G_m - Filtros_b$$

**Ecuación 3.4. Balance del Enlace Ascendente.**

$$L_{uup} = Umbral_m + M \arg en - V_{down}$$

**Ecuación 3.5. Perdidas por propagación en el Enlace Ascendente.**

$$L_{udown} = Umbral_b + M \arg en - V_{up}$$

**Ecuación 3.6. Perdidas por propagación en el Enlace Descendente.**

$$dup\_in = 10^{\left( \frac{(L_{uup} - P_{edificios} - 69.55.26.16 \log_{10} f + 13.82 \log_{10} hb + A(hm))}{44.9 - 6.55 \log_{10} hb} \right)}$$

**Ecuación 3.7. Radio Cobertura en el Enlace Ascendente Interior.**

$$dup\_out = 10^{\left( \frac{(L_{uup} - 69.55.26.16 \log_{10} f + 13.82 \log_{10} hb + A(hm))}{44.9 - 6.55 \log_{10} hb} \right)}$$

**Ecuación 3.8 Radio Cobertura en el Enlace Ascendente Exterior.**

$$d_{down\_in} = 10^{\left( \frac{(L_{down} - Pedificios - 69.55 - 26.16 \log_{10} f + 13.82 \log_{10} hb + A(hm))}{44.9 - 6.55 \log_{10} hb} \right)}$$

**Ecuación 3.9. Radio Cobertura en el Enlace Descendente Interior.**

$$d_{down\_out} = 10^{\left( \frac{(L_{down} - 69.55 - 26.16 \log_{10} f + 13.82 \log_{10} hb + A(hm))}{44.9 - 6.55 \log_{10} hb} \right)}$$

**Ecuación 3.10. Radio Cobertura en el Enlace Descendente Exterior.**

En donde:

- V<sub>down</sub> balance del enlace de bajada Base-Móvil
- V<sub>up</sub> balance del enlace de subida Móvil-Base
- P<sub>b</sub> potencia de la estación base
- P<sub>m</sub> potencia de la estación móvil
- P<sub>cable</sub> pérdida generada en los cables de conexión de la estación base
- Filtros<sub>b</sub> pérdida generada en los filtros de los equipos de la estación base
- Filtros<sub>m</sub> pérdida generada en los equipos de la estación móvil
- G<sub>b</sub> ganancia de la antena de la estación base
- G<sub>m</sub> ganancia de la antena de la estación móvil
- Lu<sub>up</sub> pérdidas propagación en el enlace de subida
- Lu<sub>down</sub> pérdidas propagación en el enlace de bajada
- Umbral<sub>b</sub> umbral máximo de recepción de la estación base
- Umbral<sub>m</sub> umbral máximo de recepción de la estación móvil
- Margen margen de desvanecimiento
- Pedificios pérdida generada por la infraestructura de los edificios

Para sistemas LTE, el rango máximo de la celda puede ser calculado con la ecuación 3.11.

$$R^2 + d^2 = (R + h)^2$$

**Ecuación 3.11. Rango máximo de la celda.**

En donde:

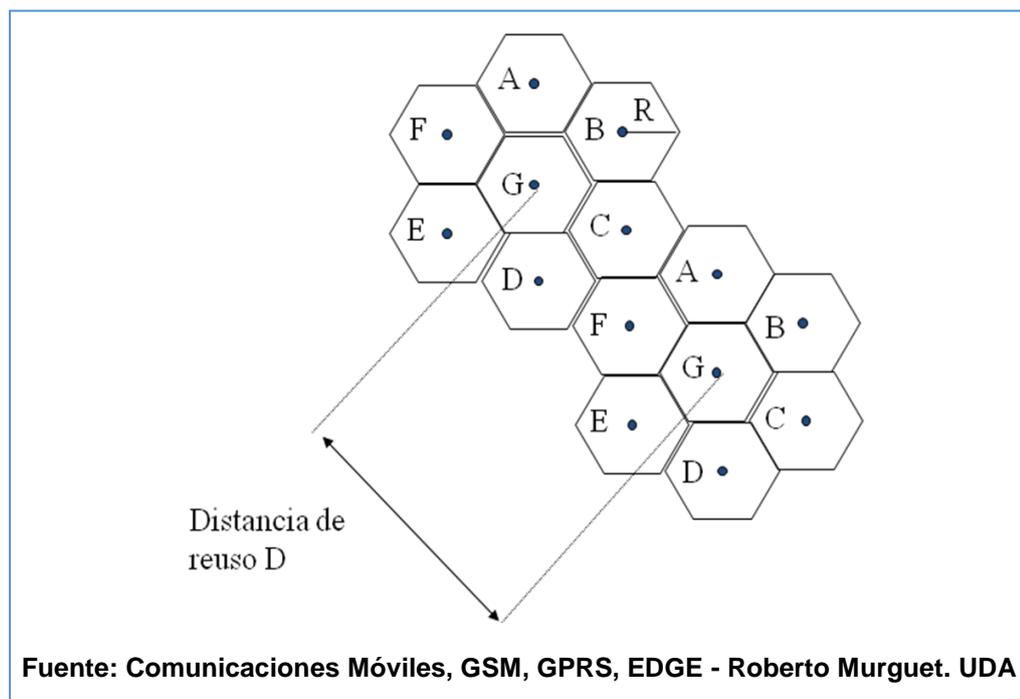
- R Radio efectivo de la Tierra de 8650 km.

- h            Altura de la antena de la estación base  
d            Distancia desde el terminal a la estación base.

### 3.2.2 Distancia de Reutilización de Frecuencias.

Para determinar el tamaño de las celdas es importante analizar la demanda de los usuarios en determinadas zonas y a determinadas horas, generándose un problema con el ancho de banda limitado y una densidad de usuarios importante. Basándose en este concepto, y utilizando la atenuación de las ondas de radio; a estas celdas se les asigna determinado número de canales, las frecuencias asignadas a estas celdas pueden ser reutilizadas en celdas separadas entre sí, cierta distancia denominada distancia cocanal o de reutilización. Las celdas con la misma frecuencia deben estar suficientemente alejadas para que el nivel de interferencia cocanal sea suficientemente bajo. La asignación de frecuencias puede ser fija o dinámica para adaptar el sistema a las variaciones de C/I.

**Figura 3.6. Reuso de Frecuencias.**



Las frecuencias no son reusables en celdas contiguas, por lo que deben ser asignadas a un clúster diferente, recubriendo así toda la zona de servicio mediante la traslación sistemática del clúster. En función de las previsiones de tráfico y del grado de calidad se determinan el número de radiocanales por celda, la dimensión del clúster y el radio celular.

Como se puede ver en la figura 3.6, se han determinado 7 grupos de frecuencias A, B, C, D, E y F, de tal manera que si se tuvieran 210 canales para el clúster, a cada celda se le asignaría 30 canales. La distancia de reutilización está determinada por la siguiente expresión:

$$\frac{D}{R} = (3N)^{\frac{1}{2}}$$

**Ecuación 3.12. Distancia de Reutilización de Frecuencias.**

En donde:

- D distancia de reutilización
- R radio de la celda
- N tamaño de reuso de frecuencia (tamaño del clúster)

### 3.2.3 Cálculo de la Capacidad.

La capacidad intrínseca, es decir, el número de canales por celda por MHz, se calcula mediante la expresión matemática siguiente:

$$K = \frac{n}{N * B}$$

**Ecuación 3.13. Número de canales por Celda.**

En donde:

- n número de canales de voz por portadora
- N tamaño del reuso de frecuencia
- B ancho de banda ocupado por un canal en MHz.

Para los sistemas GSM se considera 8 canales de voz por portadora, a una banda de 0,4 MHz y con un factor de reuso de 9, así se obtiene la capacidad K de 2,2 canales/celda/MHz. En el caso de sistemas CDMA, serían 8 canales de voz, 2,5MHz y el factor de reuso igual a 1, de donde se obtiene una K de 12canales/celda/MHz.

### 3.2.4 Eficiencia Espectral.

La eficiencia espectral la cual se calcula mediante:

$$e = \frac{TCH}{BW * AreaCluster}$$

**Ecuación 3.14. Eficiencia Espectral.**

En donde:

- e eficiencia espectral
- TCH canales totales disponibles
- BW ancho de banda total

Entre los objetivos a considerar para determinar la capacidad del sistema están las tecnologías de radio de alta eficiencia, los protocolos de señalización y control para manejar altas capacidades y los procedimientos de conmutación y handoff eficientes. El diseño del enlace de radio y sobre todo el diseño del sistema dependen de esta eficiencia espectral debido a los codecs de menor velocidad, modulación de mayor nivel, filtros más estrechos, eficiencia de entroncamiento, mejor reuso de frecuencias (cell splitting) y mejor gestión del tráfico (separar por tipos de tráfico). Existen 2 tipos

de eficiencia espectral: Eficiencia Espectral de Circuito y Eficiencia Espectral Geográfica.

**Eficiencia Espectral por Circuito:** Es la eficiencia de codificación y modulación dentro de una celda o de un área de servicio.

$$e = \frac{C}{B * (RA + 1)} * \frac{1000(MHz)}{2} = \text{Circuitos} / MHz$$

**Ecuación 3.15. Eficiencia Espectral por Circuito.**

**Eficiencia Espectral Geográfica:** Utiliza el reuso de frecuencia, con el criterio de que a menor factor de reuso mayor eficiencia, puesto que las celdas más pequeñas generan más circuitos por Km<sup>2</sup>.

$$e = \frac{\#celdas * (\#circuitos / celda)}{TotalAreaCubertura}$$

**Ecuación 3.16. Eficiencia Espectral Geográfica.**

$$\#circuitos / celda = \frac{TotaldelEspectro}{(B / C) * N * 2}$$

**Ecuación 3.17. Números de circuitos por Celda.**

$$e = \frac{TotaldelEspectro * \#celdas}{(B / C) * N * 2 * TotalAreaCobertura}$$

**Ecuación 3.18. Eficiencia Espectral Geográfica.**

En donde:

B	ancho de banda del canal
C	número de circuitos por portadora
N	factor de reuso

**Eficiencia Espectral por Tráfico para redes LTE:** Para la implementación de un sistema de comunicaciones móviles LTE es necesario considerar el tráfico que soportara la red, y prever un aumento progresivo de la demanda, lo que repercutiría en un aumento de estaciones base. En la ecuación 3.19 se expresa la Eficiencia espectral en función del tráfico.

$$\left( B \times \frac{E}{S} \right) = (U \times T)$$

**Ecuación 3.19. Eficiencia Espectral por Tráfico.**

En donde:

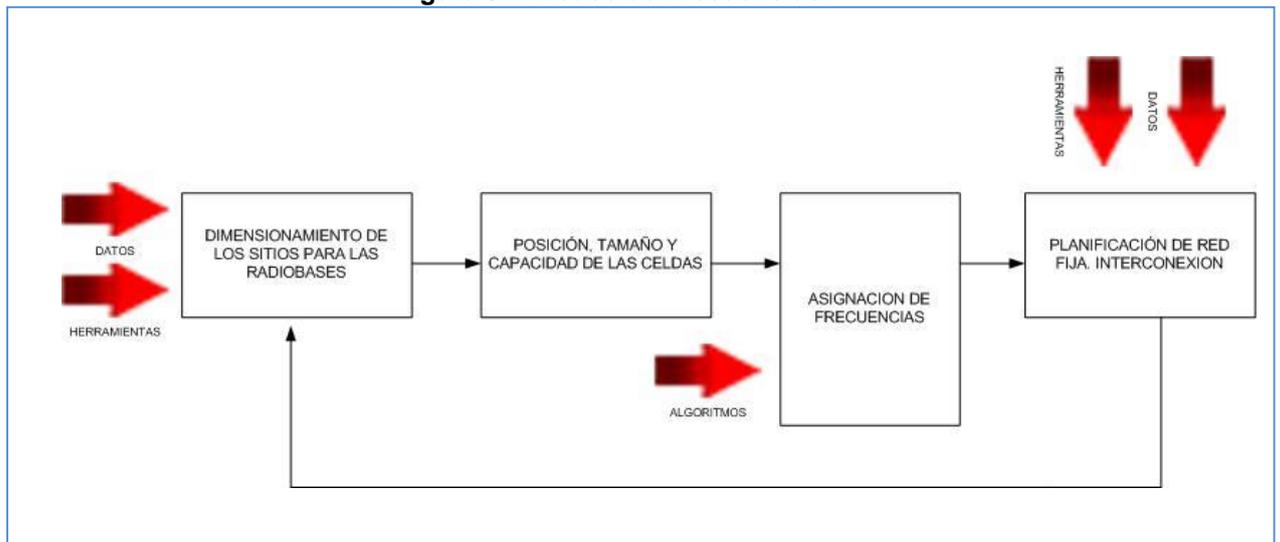
U	Densidad por usuarios (usuarios/Km <sup>2</sup> )
T	Tráfico promedio por usuario (bits/s/usuario)
B	Ancho de Banda (Hz)
E	Eficiencia Espectral (bits/s/Hz)
S	Estación base cubre una superficie (Km <sup>2</sup> )

### 3.2.5 Planificación de Sistemas Celulares.

Los inconvenientes de estos los sistemas celulares son la limitación del espectro, la calidad fluctuante de los enlaces, los puntos de acceso son desconocidos y variables en el tiempo y deben garantizar el manejo de la movilidad durante una comunicación. Con estas pautas el proceso a seguir para una planificación celular será:

1. Datos y Herramientas.
2. Dimensionamiento de las Radiobases.
3. Posición, Tamaño y Capacidad de las Celdas.
4. Asignación de Frecuencias.
5. Planificación de la Red Fija de Interconexión.

Figura 3.7. Reuso de Frecuencias.



Los datos necesarios dentro de esta planificación serán:

- Mapas geográficos
- Zonas de negocios
- Medidas de tráfico fijo y móvil
- Actividad económica
- Demografía
- Poder de compra
- Movilidad de la población

Y serán analizados mediante:

- Demanda Potencial
- Modelos de tráfico y movilidad
- Dimensionamiento de la red
- Calidad de Servicio

### 3.3 Modelos de Propagación:

El cálculo de estos sistemas depende de la propagación en el espacio de las ondas electromagnéticas, esta propagación es estudiada a partir de las ecuaciones de Maxwell y analizando las soluciones compatibles con las condiciones del medio que pueden variar por neblina, lluvia, edificios, etc.; este estudio resulta demasiado complicado y nada práctico por lo que se desarrollaron modelos simplificados basados en óptica geométrica.

Los modelos de propagación son de gran importancia en el diseño de sistemas de comunicaciones; para poder predecir las pérdidas a través del tramo estación transmisora - estación receptora, existen diversos factores a tener en cuenta como son: el perfil del terreno de la zona de cobertura a modelar, la presencia de obstáculos como edificios, árboles, etc.

En este capítulo se revisarán únicamente 3 de los tantos modelos de propagación existentes, los cuales apuntan a predecir la potencia de la señal en un punto específico de recepción dentro de un área, pero varían en su enfoque, complejidad y precisión, para poder así realizar una comparación en la simulación.

Los modelos a analizar son:

1. Modelo de Propagación en el Espacio Libre,
2. Modelo de Obstáculo aislado y
3. Modelo de Okumura-Hata (COST 231).

#### 3.3.1 Modelo de Propagación en el Espacio Libre.

Entre las consideraciones de este modelo está la visibilidad entre las estaciones, es decir, que la ruta del rayo entre el transmisor y el receptor no esté obstruida. El más utilizado en este tipo de modelo es el de Friis, en donde la Potencia de recepción es:

$$Pr(d) = \frac{PtGtGr\lambda^2}{L(4\pi d)^2}$$

**Ecuación 3.20. Potencia Recibida Espacio Libre de Friis**

En donde:

Pr(d) potencia recibida a una distancia d

Pt potencia Transmitida

Gt ganancia Antena transmisora

Gr ganancia Antena receptora

$\lambda$  Longitud de onda de la señal portadora

d distancia entre las antenas transmisora y receptora

L factor de pérdidas por filtros, líneas de transmisión, acoples, amplificadores, etc. ( $L \geq 1$ )

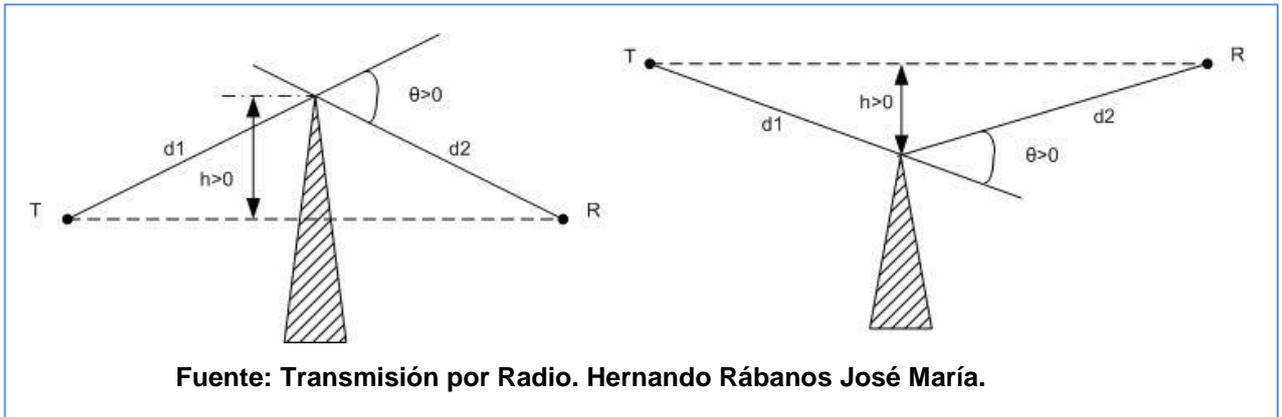
$$L(dB) = 92,45 + 20 \log f (GHz) + 20 \log d (Km)$$

**Ecuación 3.21. Pérdidas Espacio Libre**

### 3.3.2 Modelo de Obstáculo Aislado

Se aplica para trayectos que tienen visibilidad directa, salvo la obstrucción del obstáculo agudo aislado. Los parámetros básicos para este modelo son: despejamiento h, distancias d1 y d2 a los extremos del enlace y alternativamente el ángulo de difracción.

Figura 3.8. Parámetros geométricos del Modelo Obstáculo Aislado.



Para este modelo nos valemos de un parámetro adimensional “v” que debe ser igual a  $\sqrt{2}$  veces el despejamiento normalizado  $h/R_1$ ; siendo  $R_1$  el radio de la primera zona de Fresnel.

$$v = 2.58 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{f d}{d_1 d_2}} \times h$$

Ecuación 3.22. Ecuación de factor v.

En donde:

- h      despejamiento (m)
- d      distancia entre los puntos R y T (Km)
- d1     distancia desde T hasta el obstáculo (Km)
- d2     distancia desde el obstáculo hasta R (Km)
- f      frecuencia (MHz)

De esta manera, la atenuación por difracción es:

$$L(v) = 6.9 + 20 \log(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1) \text{ dB}$$

Ecuación 3.23. Ecuación de la Atenuación por Difracción.

### 3.3.3 Modelo de Okumura-Hata (Cost 231)

Utilizado para predicciones en áreas urbanas en el rango de frecuencias de 150MHz hasta 1500MHz. Provee una ecuación estándar para las pérdidas de propagación urbanas; y ecuaciones de corrección para la aplicación a otras situaciones.

$$L(\text{urban})(dB) = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log ht - a(hr) + (44.9 - 6.55 \log ht) \log d$$

#### Ecuación 3.24. Ecuación Estándar de Pérdidas Okumura-Hata

$$a(hr) = (1.1 \log f - 0.7)hr - (1.56 \log f - 0.8) dB$$

#### Ecuación 3.25. Ecuación a(hr) para ciudad media – pequeña.

En donde:

- f frecuencia en MHz (desde 150MHz hasta 1500MHz)
- ht altura efectiva de la antena transmisora (desde 30m hasta 200m)
- hr altura efectiva del receptor (desde 1m hasta 10m)
- d distancia entre transmisor y receptor
- a (hr) factor de corrección para la altura efectiva del receptor en función del área de cobertura

Posteriormente el Comité Europeo COST 231 desarrolló una extensión de este modelo denominándolo COST-Hata Model, para utilizarlo hasta frecuencias de 2GHz. La fórmula de las pérdidas es la siguiente:

$$L(\text{urb})(dB) = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log ht - a(hr) + (44.9 - 6.55 \log ht) \log d \text{ CM}$$

#### Ecuación 3.26. Ecuación Extendida De Perdidas Cost 231 Hata

En donde:

- f frecuencia en MHz (desde 1500MHz hasta 2000MHz)
- ht Altura efectiva de la antena transmisora (desde 30m hasta 200m)
- hr Altura efectiva del receptor (desde 1m hasta 10m)
- d distancia entre transmisor y receptor (desde 1Km hasta 20Km)
- a(hr) factor de corrección para la altura efectiva del receptor en función del área de cobertura
- CM 3 dB si se habla de centros metropolitanos, caso contrario 0.

### 3.4 Conclusiones.

1. Se determina que para los sistemas de comunicaciones móviles y en particular para los sistemas LTE se utiliza el modelo de cálculo de Okumura Hata para determinar sus áreas de cobertura tanto en zonas urbanas como suburbanas.
2. El modelo para los sistemas que requieren determinar un área de cobertura, se basa en los modelos de propagación empíricos más convenientes, de acuerdo a las características del terreno en la ciudad de Cuenca y sus alrededores.
3. En la aplicación de los modelos se debe considerar los rangos de frecuencias para los sistemas que permita que el sistema de simulación pueda garantizar buenos resultados.
4. Para los sistemas LTE se debe tener muy en cuenta para el radio de cobertura de las estaciones base y para la ubicación de las mismas y su separación, el tráfico que soportara la red, el número de abonados y las velocidades a las que se movilizan los terminales de los usuarios.

# CAPITULO 4

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

## HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN

Una herramienta útil para la gestión y determinación de áreas de cobertura y planificación de sistemas de comunicación móvil.

## **4. HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN.**

### **4.1 Introducción**

Como se analizó en los capítulos anteriores por medio de los sistemas SIG podemos acceder a la cartografía, alturas de sitios, ubicaciones, etc. Como objetivo de este proyecto se planteó; el realizar un sistema que se encargue de simular los Sistemas de Comunicaciones móviles en el Catón Cuenca. En este capítulo se expondrá el sistema en sí y el procedimiento para el cálculo del radio de cobertura mínimo por celda y la distribución de las celdas dentro del área de cobertura planteada.

### **4.2. Metodología y Diagrama de Bloques.**

#### **4.2.1 Metodología**

Se describirá con una visión general la metodología utilizada en la implementación de la herramienta de planificación y sus distintas fases.

##### **4.2.1.1 Investigación Teórica**

Como primera etapa se realizó una investigación de los sistemas LTE, su arquitectura y requerimientos para entender su funcionamiento y su gestión de recursos radioeléctricos.

##### **4.2.1.2 Diseño y desarrollo de la herramienta**

El segundo paso será el de definir de acuerdo a la conveniencia de los cálculos y de las funcionalidades del SIG; la plataforma sobre la cual se desarrollara la herramienta, se procederá a implementar los algoritmos para las simulaciones y predicciones, las fórmulas implicadas en los cálculos de cobertura y demás

parámetros. Se recopilaron las cartografías y mapas referentes a la zona en donde se implementara la red.

#### **4.2.1.3 Planificación de la red LTE aplicando la herramienta**

Una vez desarrollada la herramienta se procedió con la tercera fase, la planificación de la red LTE en la ciudad de Cuenca, para esto se llevan a cabo varias simulaciones y predicciones con el afán de determinar las posibles opciones de acuerdo a las condiciones y parámetros planteadas para el servicio móvil celular.

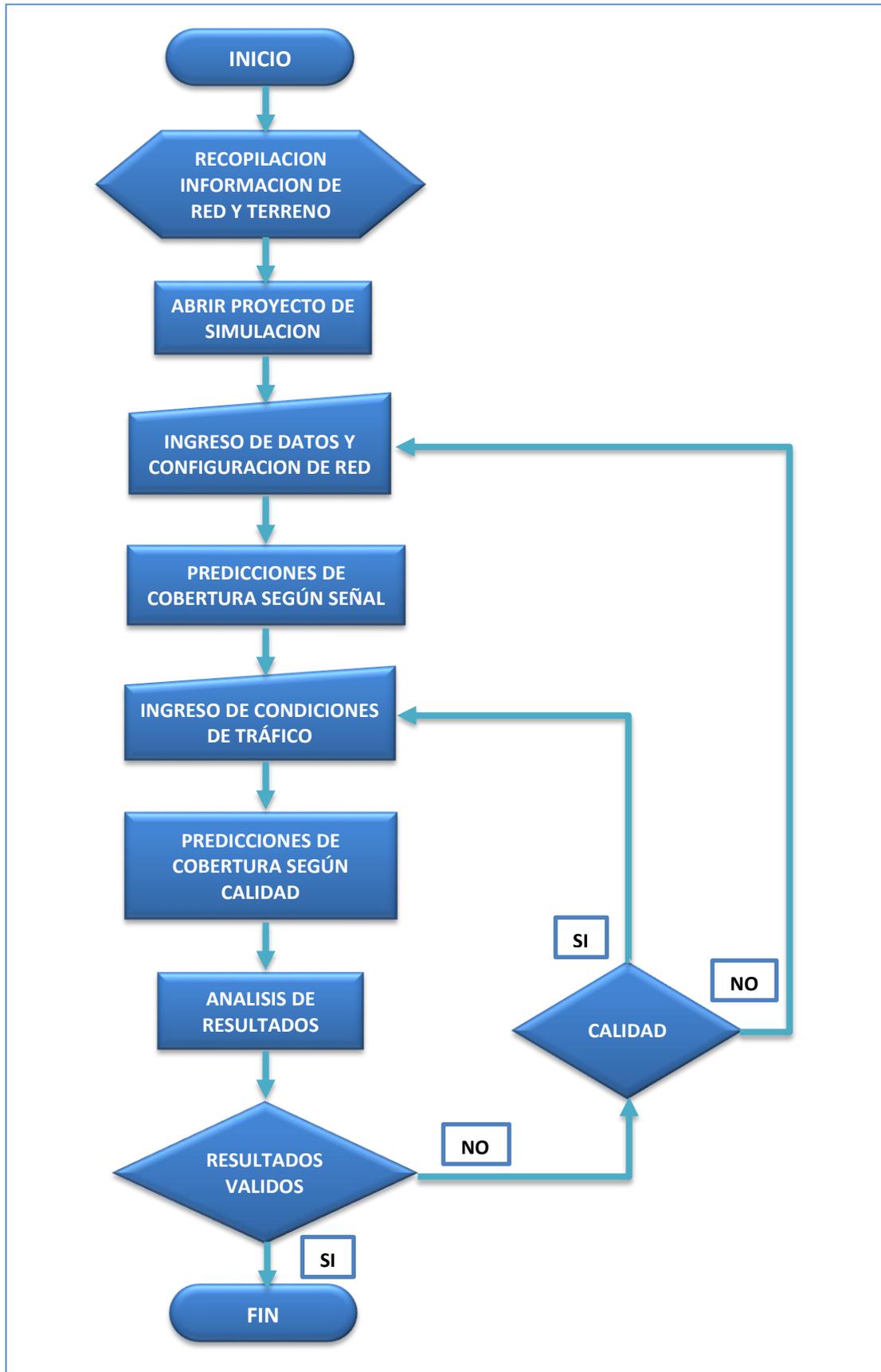
#### **4.2.1.4 Procesamiento y análisis de datos**

Como cuarta y última fase se procedió a procesar y analizar los datos, se compararon los datos para determinar las mejores configuraciones de acuerdo a las necesidades y se obtuvieron conclusiones en base a los datos obtenidos.

#### **4.2.2 Diagrama de Bloques**

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques que se seguirá para implementar la red de datos LTE.

Figura 4.1. Diagrama de Bloques Implementación Red LTE.



Como se puede ver en el diagrama de bloques, el primer paso para el proyecto de planificación radioeléctrica es recopilar la información necesaria para la implementación de sistema, esto es: emplazamientos, equipos, antenas, bandas de frecuencias, mapas, etc. El segundo paso corresponde a crear un nuevo proyecto en la herramienta de simulación propio para los sistemas LTE, como tercer paso se agrega la cartografía necesaria, se ejecuta la herramienta y se procede a ingresar la información referente a la configuración de la red LTE.

A continuación se procesa la información y se obtienen las predicciones de cobertura, que no es más que determinar los niveles de la señal recibido en cada uno de los puntos o pixeles del mapa, analizar el solapamiento y determinar la configuración de la red sin tomar en cuenta los datos de tráfico.

El quinto paso ya incluye las condiciones de tráfico, en donde se calcula y establece los vecinos de cada celda para asignar las frecuencias con el correcto re uso de las mismas evitando las interferencias. De igual manera se obtendrán gráficas de cobertura determinando el nivel de señal en cada pixel del mapa de la zona geográfica a cubrir con el sistema LTE. Para realizar predicciones de cobertura un tanto más avanzadas se requiere la información de las cargas de tráfico de cada una de las celdas, puesto que para mantener la calidad en los servicios de la red, el área de cobertura se verá reducida; con este fin se definirán valores de tráfico y se ingresaran en los formularios de la herramienta.

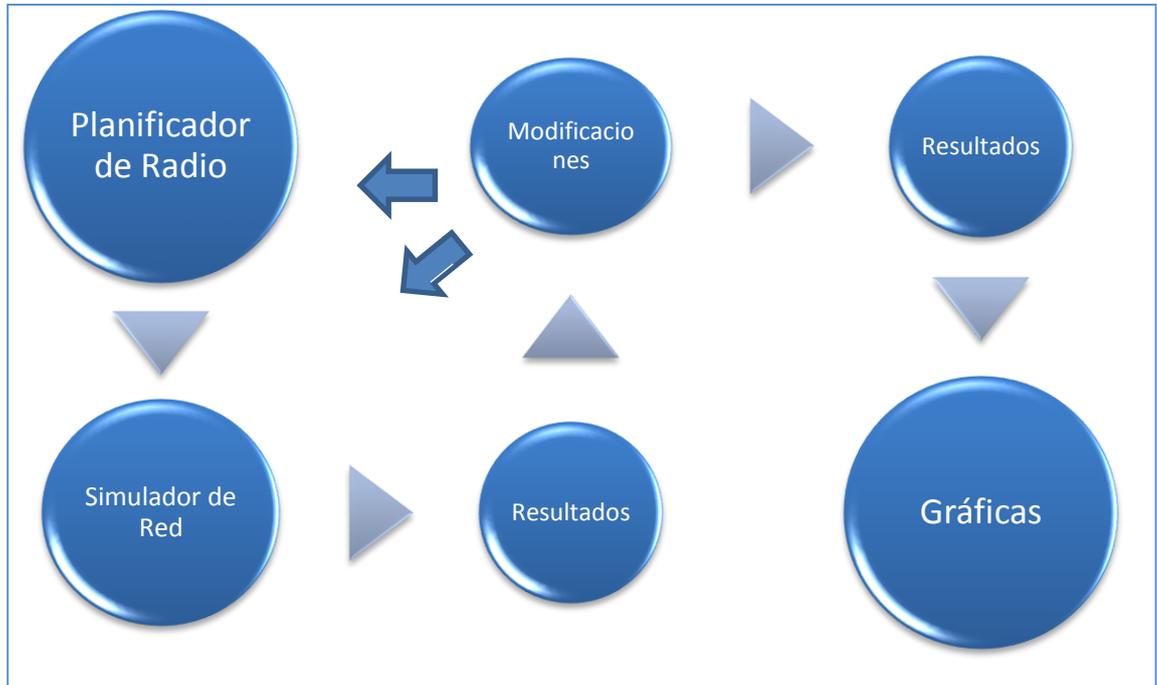
Estas predicciones se calculan en base a la calidad de la señal recibida para lo cual se realiza el cálculo de nivel portadora a interferencia y área de servicio de las celdas.

El paso siete nos lleva a un análisis de los resultados de las simulaciones y predicciones de cobertura tanto por el nivel de la señal como por el nivel de la calidad con la opción de realizar modificaciones a los parámetros antes ingresados tanto en la configuración de la red como en las cargas de tráfico, para así volver a ejecutar los pasos 3 y 5 respectivamente.

4.3. Arquitectura y Componentes.

La arquitectura de la herramienta esta descrita en la figura 4.2.

Figura 4.2. Arquitectura de la Herramienta de Planificación Red LTE.



La herramienta de planificación consta de un sistema GIS como plataforma para el manejo de los mapas y cartografías, dentro del cual se ha llevado a cabo la programación de una macro compuesta por:

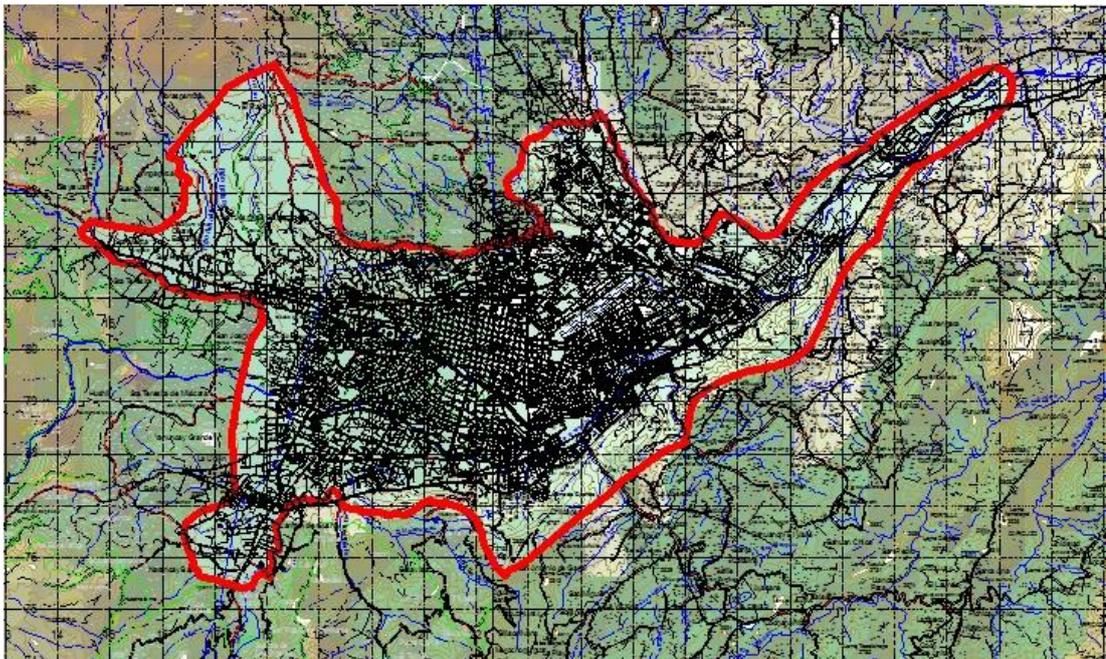
- **Planificador de Radio:** que se encarga de los cálculos del radio de cobertura y las predicciones de cobertura según el nivel de señal.
- **Simulador de Red:** se encarga de considerar las celdas vecinas y de cargas de tráfico y realizar las predicciones de cobertura según el nivel de la calidad del servicio.
- **Resultados:** son las matrices y las capas (layers o shapefiles) en donde se almacena los datos de cobertura con referencia geográfica.
- **Modificaciones:** una vez analizados los resultados se tiene el módulo que permite hacer modificaciones en los datos previamente ingresados sean estos de configuración de red o de tráfico.

- **Gráficas:** Con los resultados definitivos de la cobertura de nivel de señal y nivel de calidad se definen los mapas cartográficos que serían el resultado de la simulación con los datos de la red LTE a ser implementada.

#### 4.4. Desarrollo.

Para los sistemas LTE se implementó el cálculo del radio de cobertura de cada una de las celdas a través del modelo de propagación de Okumura Hata que es el más utilizado en la actualidad para este tipo de sistemas. En la figura 4.3 se puede ver la ciudad de Cuenca; zona geográfica en la que se llevara a cabo la planificación de la red.

Figura 4.3. Zona geográfica a desplegar la Red LTE.



Una vez obtenido el radio de cobertura y de acuerdo a la zona planteada para la cobertura celular, se ha utilizado el modelo de celda hexagonal, considerando la opción de agrupar en clústers de 3 y de 7 celdas cada uno. De esta manera, según el radio de cobertura calculado y la forma hexagonal de cada celda, se realiza el cálculo del área del hexágono, adicionalmente con la distancia entre la ubicación de la estación base y la estación móvil de referencia para la zona de cobertura se realiza

el cálculo del área a cubrir; y, considerando el porcentaje de solapamiento se determina el número de celdas total requerido para cubrir la zona, graficando en el plano de la ciudad.

A continuación se realiza el cálculo de la distancia de reutilización de acuerdo al factor de reuso ingresado, procediendo así a graficar los clúster uno anexado al otro.

## 4.4.1 Formularios

Como se indica en la Figura 4.4, los parámetros a ingresar están definidos en tres zonas; la zona superior izquierda en la que se ingresan los parámetros de la estación Base, en la zona superior derecha los datos de la estación móvil y en la zona central se ingresan los datos del sistema móvil.

Datos estación Base:

- Nombre de la estación
- Coordenadas
- Ganancia antena
- Altura Base antena
- Potencia
- Umbral
- Filtros

Datos estación Móvil:

- Coordenadas
- Ganancia antena
- Altura Base antena
- Potencia
- Umbral
- Filtros

Datos sistema:

- Frecuencia
- Pérdidas en los cables
- Margen de desvanecimiento
- Penetración edificios
- Factor de Reuso
- Porcentaje de solapamiento

Figura 4.4. Formulario ingreso Sistemas Móviles.

The screenshot shows a software window titled "PLANIFICACION MOVILES" with a close button (X) in the top right corner. The interface is divided into several sections:

- INGRESE DATOS ESTACION BASE:** Includes fields for "NOMBRE ESTACION:", "COORDENADAS: LATITUD:" (with degree, minute, and second inputs), "LONGITUD:" (with degree, minute, and second inputs), "GANANCIA:" (dB), "ALTURA:" (m), "POTENCIA:" (W), "UMBRAL:" (dBm), and "FILTROS:" (dB).
- INGRESE DATOS ESTACION MOVIL:** Includes identical fields for "NOMBRE ESTACION:", "COORDENADAS: LATITUD:", "LONGITUD:", "GANANCIA:", "ALTURA:", "POTENCIA:", "UMBRAL:", and "FILTROS:".
- INGRESE PARAMETROS DEL SISTEMA:** Includes fields for "FRECUENCIA:" (MHz), "MARGEN DE DESVANECIMIENTO:" (dB), "PER. CABLES:" (dB), "PENETRACION EDIFICIOS:" (dB), "FACTOR REUSO:", and "% SOLAPE HANDOVER:" (%).
- ESPECIFIQUE EL NOMBRE DEL SHAPEFILE:** A text input field with a "BROWSE" button.
- RADIO DE COBERTURA:** A table with two columns: "RADIO DE COBERTURA:" and "Km". It has rows for "UPLINK:", "DOWNLINK:", "OUTDOOR:", and "INDOOR:".
- REUSO:** Includes a "REUSO:" field (Km), "DISTANCIA:" (Km), "NUMERO CELDAS:", and buttons for "DOWNLINK OUTDOOR", "DOWNLINK INDOOR", "CELDA DOWNLINK OUTDOOR", and "CELDAS DOWNLINK OUTDOOR".

On the right side of the interface, there are four buttons: "UBICAR", "CALCULAR", "GRAFICAR", and "CANCEL".

Los datos necesarios de visualizar luego del cálculo son:

- Radio de cobertura UPLINK – INDOOR
- Radio de cobertura UPLINK – OUTDOOR
- Radio de cobertura DOWNLINK – INDOOR
- Radio de cobertura DOWNLINK – OUTDOOR
- Distancia entre estaciones referenciales
- Número de celdas necesario para cubrir la zona

Figura 4.5. Formulario con datos Sistemas Móviles.

The screenshot shows the 'PLANIFICACION MOVILES' application window. It is divided into several sections for data entry and calculation.

**INGRESE DATOS ESTACION BASE:**

- NOMBRE ESTACION: ETAPA CENTRO
- COORDENADAS: LATITUD : 02 ° 53 ' 55.40 " S; LONGITUD : 79 ° 00 ' 18.20 " W
- GANANCIA : 16.3 dBi
- ALTURA : 60 m
- POTENCIA : 15 W
- UMBRAL : -117 dBm
- FILTROS : 6 dB

**INGRESE DATOS ESTACION MOVIL:**

- NOMBRE ESTACION: CERRO BARABON
- COORDENADAS: LATITUD : 02 ° 53 ' 35 " S; LONGITUD : 79 ° 05 ' 15 " W
- GANANCIA : 0 dBi
- ALTURA : 1 m
- POTENCIA : 0.8 W
- UMBRAL : -105 dBm
- FILTROS : 2 dB

**INGRESE PARAMETROS DEL SISTEMA:**

- FRECUENCIA : 850 MHz
- MARGEN DE DESVANECIMIENTO : 10 dB
- PER. CABLES : 3.9 dB
- PENETRACION EDIFICIOS : 15 dB
- FACTOR REUSO : 7
- % SOLAPE HANDOVER : 20 %

**ESPECIFIQUE EL NOMBRE DEL SHAPEFILE :**

C:\Documents and Settings\usuario\Escritorio\DICIEMBRE\CUENCA CENTRO.shp

**RADIO DE COBERTURA:**

UPLINK:		
OUTDOOR:	3.36299	Km
INDOOR:	1.19025	Km
DOWNLINK:		
OUTDOOR:	3.53736	Km
INDOOR:	1.25197	Km

**REUSO:**

- DISTANCIA: 16210.2 Km
- NUMERO CELDAS: 3.60746

Buttons: UBICAR, CALCULAR, GRAFICAR, CANCEL, BROWSE, DOWNLINK OUTDOOR, CELDA DOWNLINK OUTDOOR, CELDAS DOWNLINK OUTDOOR, DOWNLINK INDOOR.

**4.4.2 Grafica del Clúster y Radios de cobertura**

En la capa generada en el SIG para estos sistemas se incluye el radio de cobertura DOWNLINK INDOOR, DOWNLINK OUTDOOR y el clúster necesario para cubrir la zona requerida.

**Figura 4.6. Gráfica de los Niveles del Campo Eléctrico.**

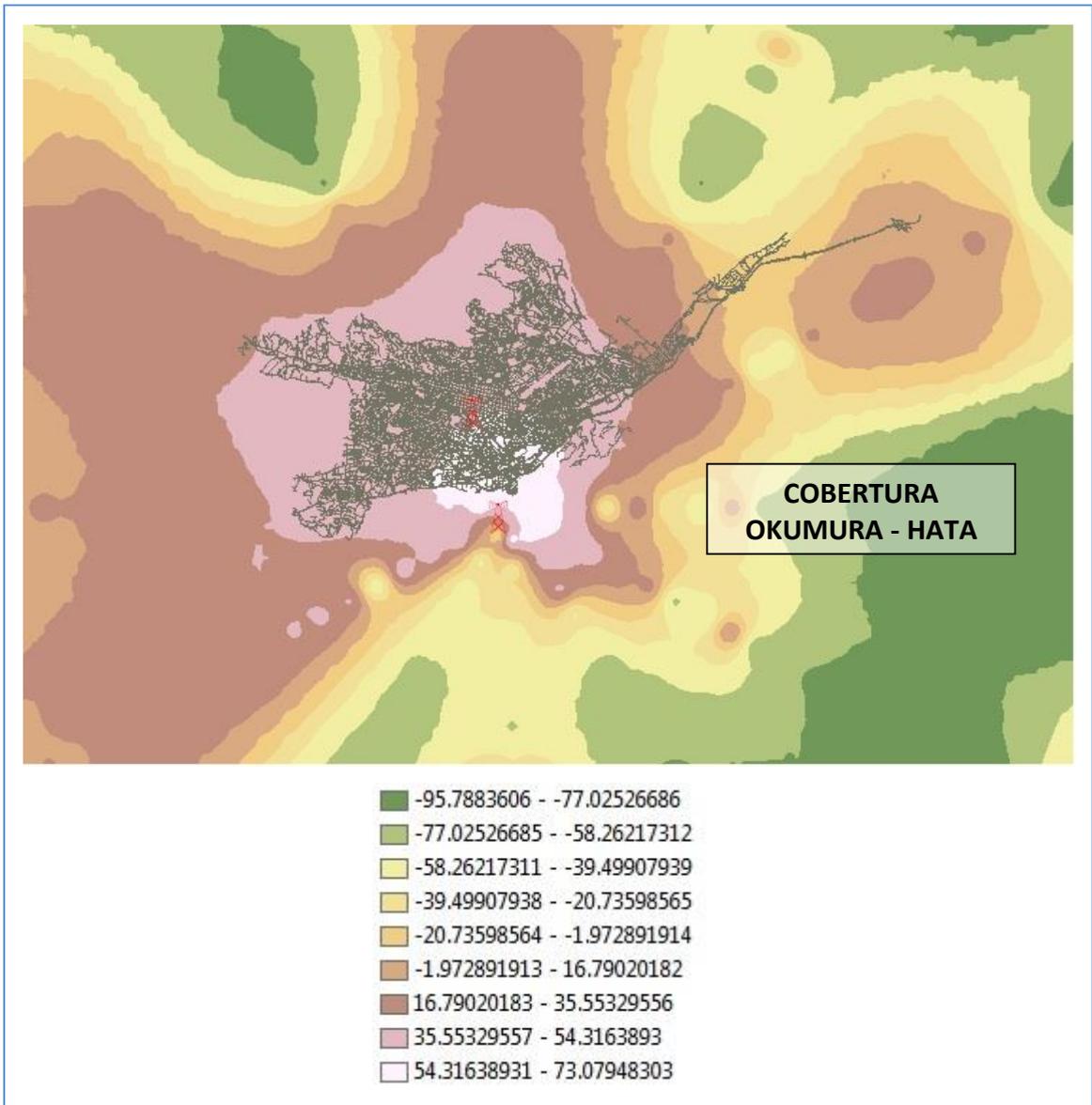
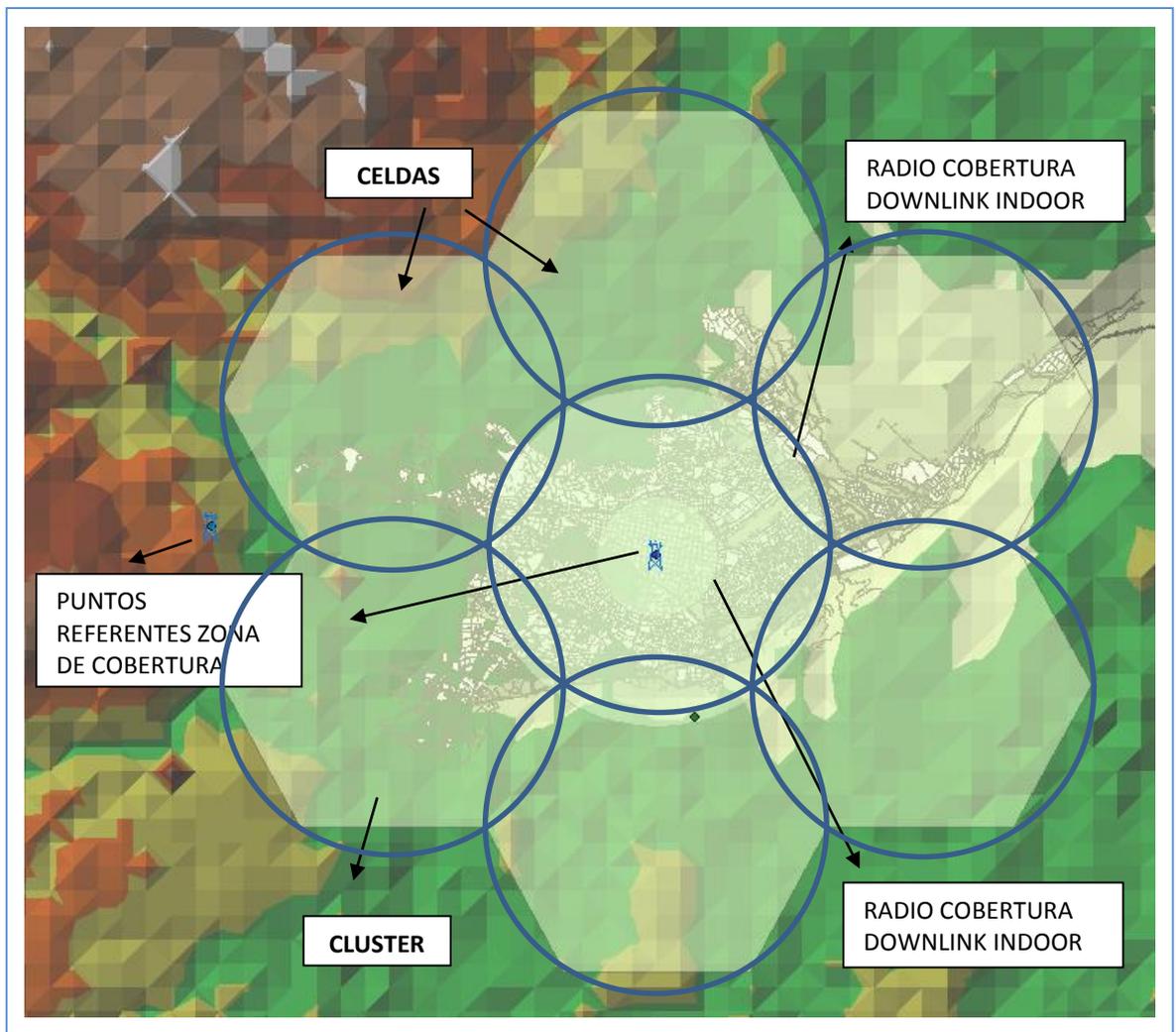


Figura 4.7. Grafica Clúster y Radios de Cobertura de Sistemas Móviles.



#### 4.5. Conclusiones

1. Si bien es cierto que la posibilidad de acceder a la cartografía de la ciudad a través del GIS no es complicada, es necesario conocer como están considerados y almacenados los datos para poder realizar las diferentes operaciones con los mismos y poder obtener los resultados deseados.
2. Para el desarrollo del sistema de simulación se requirió la programación dentro de VBA (Visual Basic Application), pues es una interfaz incluida dentro del mismo programa ArcGis que si bien no permite cálculos extremadamente extensos ha servido para los cálculos dentro de este proyecto.

3. El sistema ArcGis tiene un módulo para el desarrollo de aplicaciones muy completo y accesible a través de la Web, el cual maneja programación de objetos y clases, esto permitió el total desarrollo del sistema.
4. La posibilidad de realizar varias corridas para una determinada área de cobertura facilita el análisis y la planificación de los sistemas LTE.

# CONCLUSIONES

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

**CONCLUSIONES:**

1. LTE es una tecnología 4G que accede a frecuencias de alto rendimiento, permitiendo altas velocidades de transmisión y recepción en dispositivos móviles y que coexiste con tecnologías 2G y 3G.
2. LTE utiliza un esquema de acceso múltiple que provee ortogonalidad entre los usuarios reduciendo interferencias y maneja flexibilidad del espectro con variaciones del ancho de banda.
3. Analizando entre los datums disponibles, se determinó que el más conveniente es el UTM WGS84, pues aparte de ser el exigido por el ente de regulación en el Ecuador para la presentación de estudios radioeléctricos en las solicitudes de los diferentes sistemas; es el que menor error genera entre la representación gráfica y la realidad, con una tolerancia de 50 metros aproximadamente.
4. En lo referente a los diferentes sistemas de información geográfica, se determinó que el más óptimo para el desarrollo del sistema de simulación es el software denominado ArcGis bajo la tecnología ESRI, pues aparte de todos los atributos y potencialidades del mismo, es el software que la Universidad del Azuay tiene licencia y es utilizado por su instituto IERSE.
5. En la aplicación de los modelos se debe considerar los rangos de frecuencias para los sistemas que permita que el sistema de simulación pueda garantizar buenos resultados.
6. Para los sistemas LTE se debe tener muy en cuenta para el radio de cobertura de las estaciones base y para la ubicación de las mismas y su separación, el tráfico que soportara la red, el número de abonados y las velocidades a las que se movilizan los terminales de los usuarios.
7. Si bien es cierto que la posibilidad de acceder a la cartografía de la ciudad a través del GIS no es complicada, es necesario conocer como están considerados y almacenados los datos para poder realizar las diferentes operaciones con los mismos y poder obtener los resultados deseados.

8. Para el desarrollo del sistema de simulación se requirió la programación dentro de VBA (Visual Basic Application), pues es una interfaz incluida dentro del mismo programa ArcGis que si bien no permite cálculos extremadamente extensos ha servido para los cálculos dentro de este proyecto.
9. La posibilidad de realizar varias corridas para una determinada área de cobertura facilita el análisis y la planificación de los sistemas LTE.

# BIBLIOGRAFÍA

REDES MÓVILES LTE: HERRAMIENTA DE  
PLANIFICACIÓN BASADA EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ing. Ana Cecilia Piedra

**BIBLIOGRAFÍA:**

1. HERNANDO RÁBANOS, José María. *Transmisión por Radio*. Madrid – España, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S. A., 1993.
2. PARSONS J. D., GARDINER J. D. *Mobile Communication Systems*. Londres \_ Inglaterra. Blackie and Son Limited, 1989.
3. LEE William C. Y., *Mobile Cellular Telecommunications*. Segunda Edición. New York, - USA, McGraw-Hill, Inc., 1995.
4. MURGUET Roberto. *Comunicaciones Móviles, GSM, GPRS, EDGE*. Cuenca – Ecuador, Universidad del Azuay, 2006.
5. HOLMA Harri and TOSKALA Antti, *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. Finlandia-USA, John Wiley & Sons, Ltd., 2009.
6. FAROOQ Khan, *LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performance*. Cambridge-USA, Cambridge University Press, 2009.
7. 4G Americas, *Global 3G and 4G Deployment Status HSPA / HSPA+ / LTE / 9* April 2013, [www.4gamericas.org](http://www.4gamericas.org).
8. [www.conatel.gob.ec](http://www.conatel.gob.ec); Consejo Nacional de Telecomunicaciones. Ecuador.
9. [www.itu.int](http://www.itu.int); International Telecommunications Union.
10. [www.esri.com](http://www.esri.com)
11. [www.ArcObjects.com](http://www.ArcObjects.com)
12. [www.wilac.net](http://www.wilac.net)
13. [www.unex.es/eweb/kraken](http://www.unex.es/eweb/kraken)