



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

“Mecanismos para el análisis de indicadores de red LTE”

AUTOR:

Ing. Jorge Washington Velez Zambrano

**Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en
Telecomunicaciones**

TUTOR:

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 24 de octubre del 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster Jorge Washington Vélez Zambrano, como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, 24 de octubre del 2018

TUTOR

M. Sc. Manuel de Jesús Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Manuel de Jesús Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Jorge Washington Vélez Zambrano

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**Mecanismos para análisis de indicadores de red LTE**”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento. Consecuentemente este trabajo es mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 24 de octubre del 2018

EL AUTOR

Ing. Jorge Washington Vélez Zambrano



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

Yo, Jorge Washington Vélez Zambrano

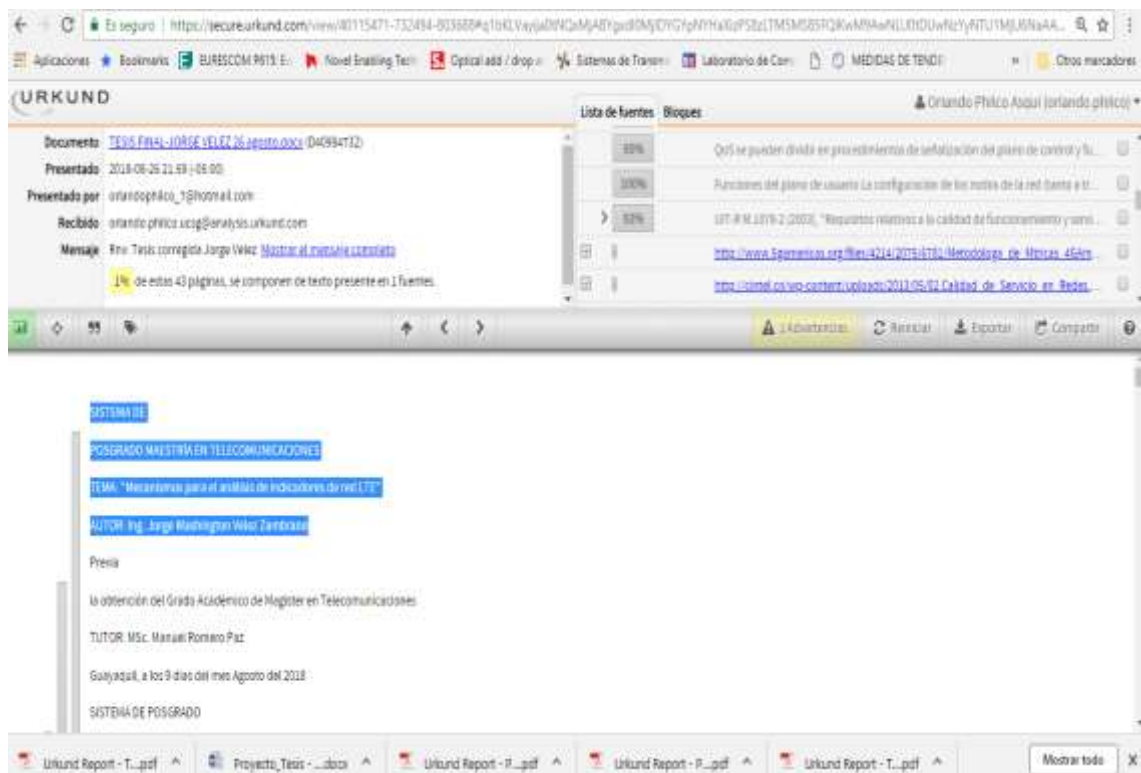
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: “**Mecanismos para análisis de indicadores de red LTE**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 24 de octubre del 2018

EL AUTOR

Ing. Jorge Washington Vélez Zambrano

REPORTE DE URKUND



Reporte Urkund al trabajo de titulación en Maestría de Telecomunicaciones, titulado: **“Mecanismos para el análisis de indicadores de red LTE”** del Ing. **Jorge Washington Vélez Zambrano**, se encuentra al 1% de coincidencias.

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a:

Dios, quien con su imperecedera sabiduría llevó mis pasos para la culminación de este proyecto profesional.

Mi esposa, por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos, por brindarme su amor y su apoyo, por ser el complemento de mi vida

A mis padres y hermanos, que son el pilar fundamental en mi vida, a toda mi familia que me brinda su cariño, apoyo y contagian su alegría de vivir con originalidad.

A todas las personas que de una u otra manera ayudaron para que este trabajo de titulación se materialice.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la vida, por haberme dado las fuerzas necesarias para concluir este proyecto de titulación.

A mis padres que son mi pilar fundamental, por brindarme su apoyo y comprensión en todo momento, por ser ejemplo de esfuerzo, dedicación y trabajo, por influir en mí valores primordiales. A mis hermanos por ser mis compañeros de vida, por creer en mí y darme su apoyo.

A la Universidad Santiago de Guayaquil que me ha formado como persona y como profesional, brindando una educación con altos estándares de calidad.

No hubiera sido posible para mí culminar esta meta profesional sin la ayuda de mi esposa, por su ayuda y comprensión estaré siempre agradecido.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
TUTOR

f. _____
PHILCO ASQUI, ORLANDO
REVISOR

f. _____
CORDOVA RIVADENEIRA, LUIS
REVISOR

f. _____
ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
Resumen	XVI
Abstract.....	XVII
Capítulo I: Generalidades del trabajo de titulación.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Hipótesis	4
1.6 Metodología de investigación	4
Capítulo II: Red de telefonía celular	6
2.1 Primera Generación (1G)	6
2.2 Segunda Generación (2G)	7
2.2.1 Generación 2.5G	8
2.3 Tercera Generación (3G).....	9
2.4 Cuarta Generación (4G)	11
2.4.1 Estandarización LTE.....	12
2.4.2 Arquitectura del sistema LTE	14
2.4.3 LTE como plataforma de IoT.....	16
2.5 Red Troncal LTE.....	18
2.5.1 Segmento EPC	18
2.5.2 Funcionalidades de componentes del EPC.....	22

2.5.3 IMS	24
2.6 E-UTRAN Red de acceso	26
2.6.1 Entidad de red de E-UTRAN.....	27
2.6.2 Equipo de Usuario	28
2.7 Interfaces de red.....	29
2.8 Heterogeneidad	32
2.9 Categorías de calidad de servicio para servicios multimedios.....	34
2.9.1 Tiempo de transmisión (retardo).....	36
2.9.2 Variación de retardos	36
2.9.3 Pérdida de información	36
2.10 Calidad de Servicio (QoS) para LTE	40
2.10.1 QoS para servicios de voz por LTE.....	42
2.10.2 Indicadores importantes y objetivos de calidad	44
2.10.3 Mecanismos de QoS.....	48
2.10.4 Implementación QoS y gestión de políticas.....	52
2.10.5 Criterios cuando la red se diseña.....	55
2.10.6 Metodologías para medir la QoS	55
2.10.7 Propuesta de parámetros a evaluarse	60
Capítulo III: Levantamiento de cobertura red LTE para Manta	63
3.1 Planificación de red	63
3.2 Análisis de cobertura UMTS/HSPA.....	68
3.3 Simulación de Cobertura de Transmisores	72
3.4 Simulación de Cobertura por Nivel de Señal	72
3.5 Simulación de las zonas con solapes	73
3.6 Análisis por calidad de señal	74

3.7 Simulación del nivel de ruido.....	78
3.8 Estudio de relación señal/interferencia en el canal piloto... 80	80
3.9 Estudio del área de servicio	81
3.10 Estudio de traspasos	82
3.11 Google Earth UMTS/HSPA.....	83
3.12 Simulación de cobertura de redes LTE	84
3.13. Simulación de cobertura por nivel de señal	86
3.14 Simulación de zonas de solapamiento.....	87
3.15 Simulación de cobertura por transmisor	88
3.16 Simulación de nivel C/N del canal PDSCH	88
3.17 Simulación por calidad de señal.....	89
3.18 Predicción del área de servicio efectiva.....	91
3.19 Predicción de <i>Throughput</i> efectivo del canal	92
3.20. Representación de señal LTE	92
Conclusiones.....	94
Recomendaciones.....	96
Glosario.....	97
Referencias Bibliográficas	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1 Evolución de la telefonía celular.....	9
Figura 2. 2 Potencial significativo para 4G y LTE.....	11
Figura 2. 3 Arquitectura del sistema LTE.	14
Figura 2. 4 Arquitectura de redes 3GPP	15
Figura 2. 5 Referencia completa de arquitectura LTE	18
Figura 2. 6 Arquitectura EPC	19
Figura 2. 7 Esquema del EPC convencional.....	21
Figura 2. 8 EPC y Core evolucionada con SDN.....	22
Figura 2. 9 Provisión de servicios IMS	26
Figura 2. 10 Comparativa entre E-UTRAN y UTRAN.....	28
Figura 2. 11 Equipo de usuario.....	28
Figura 2. 12 Interfaces de un sistema LTE.....	30
Figura 2. 13 Sistema LTE con conexión a otras plataformas tecnológicas.....	33
Figura 2. 14 Relación entre calidad de servicio y calidad de funcionamiento de la red.....	35
Figura 2. 15 Degradaciones típicas de comunicaciones VoLTE.....	43
Figura 2. 16. Congestión de paquetes en servicio LTE.....	54
Figura 2. 17 Aplicación de política de diferenciación de servicios en LTE.....	54
Figura 2. 18 Drive test y sus conexiones	57
Figura 3. 1 Establecimiento de ubicación de Manta	64
Figura 3. 2 Elección de formato de Mapa	64
Figura 3. 3 Establecimiento o Zona WGS84	65

Figura 3. 4 Conversión en formato GRD en Global Mapper	65
Figura 3. 5 Selección del formato a Exportar	66
Figura 3. 6 Ventana de trabajo Atoll.....	66
Figura 3. 7 Configuración de Zona WGS84 Atoll.....	67
Figura 3. 8 Establecimiento o zona de Análisis	67
Figura 3. 9 Establecimiento de parámetros en plantilla para sector urbano-Manta	68
Figura 3. 10 Bandas de Frecuencia para UMTS/HSPA	69
Figura 3. 11 Establecimiento automático de radio bases	69
Figura 3. 12 Creación de predicciones.....	71
Figura 3. 13 Cobertura por Transmisor	72
Figura 3. 14 Cobertura por nivel de señal	72
Figura 3. 15 Histograma de cobertura por nivel de señal	73
Figura 3. 16 Simulación zonas de solapamiento.....	73
Figura 3. 17 Histograma zonas de solapamiento	74
Figura 3. 18 Establecimiento de celdas vecinas y códigos.....	75
Figura 3. 19 Asignación de parámetros de tráfico	75
Figura 3. 20 Establecimiento de características de usuarios.....	76
Figura 3. 21 Configuración de Ambiente	76
Figura 3. 22 Establecimiento de mapa de tráfico	77
Figura 3. 23 Mapa de Tráfico Urbano Manta.....	77
Figura 3. 24 Simulación de tráfico de usuarios	78
Figura 3. 25 Simulación del nivel de ruido en el servicio de voz.....	78
Figura 3. 26 Simulación del nivel ruido en el servicio de internet móvil	79
Figura 3. 27 Relación señal/interferencia en el canal de voz	80

Figura 3. 28 Relación señal/interferencia para el servicio de internet.....	80
Figura 3. 29 Estudio del área de servicio para voz en el Downlink.....	81
Figura 3. 30 Estudio del área de servicio para voz en el Uplink	81
Figura 3. 31 Estudios de traspasos para el canal de voz	82
Figura 3. 32 Soft hand-off y Softer hand-off	83
Figura 3. 33 Export to Google Earth.....	83
Figura 3. 34 Cobertura por nivel de señal	84
Figura 3. 35 Cobertura por nivel de señal 3D.....	84
Figura 3. 36 Simulación de cobertura por nivel de señal.....	86
Figura 3. 37 Áreas de cobertura de nivel de señal por km ²	86
Figura 3. 38 Predicción de solapamiento	87
Figura 3. 39 Histograma de la zona de solapes	87
Figura 3. 40 Cobertura por transmisor	88
Figura 3. 41 Predicción nivel C/N del canal PDSCH	88
Figura 3. 42 Histograma de predicción nivel C/N del canal PDSCH.....	89
Figura 3. 43 Establecimiento de características de usuario LTE -Manta	89
Figura 3. 44 Establecimiento de Ambiente.....	90
Figura 3. 45 Establecimiento de Mapa de tráfico	90
Figura 3. 46 Calidad de la señal	90
Figura 3. 47 Histograma de Calidad de señal	91
Figura 3. 48 Área del servicio efectiva	91
Figura 3. 49 <i>Throughput</i> efectivo del canal	92
Figura 3. 50 Cobertura por nivel de señal Google Earth	93
Figura 3. 51 Cobertura por nivel de señal	93

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1 Comparativa 3GPP para LTE.....	17
Tabla 2. 2 Criterios de funcionamiento en audio	36
Tabla 2. 3 Parámetros de calidad de vídeo necesarios para diversos servicios	37
Tabla 2. 4 Calidad de funcionamiento para las aplicaciones audio y vídeo	38
Tabla 2. 5 Descripción de funcionamiento para diversos servicios	38
Tabla 2. 6 Calidad de funcionamiento para las aplicaciones de datos	40
Tabla 2. 7 Indicadores de extremo a extremo que percibe el usuario	44
Tabla 2. 8 Clases de QoS desde la perspectiva del usuario	47
Tabla 2. 9 Atributos de QCI estandarizados 3GPP	50
Tabla 2. 10 Atributos de QCI estandarizados 3GPP	51
Tabla 2. 11 Características de mediciones en la red.....	59
Tabla 2. 12 Ejemplos de parámetros a ser evaluados	60
Tabla 3. 1 Localización de radio bases	70
Tabla 3. 2 Localización de radio bases	85

Resumen

El presente trabajo de titulación abarca como objetivo principal el análisis de la tecnología LTE (Long Term Evolution) y sus mecanismos de control de calidad de servicio por medio de indicadores o clases de servicios desde la perspectiva del usuario. La clasificación QoS para los servicios según la ITU son cuatro: Conversacional, Interactiva, Streaming y Background, dichos servicios y sus indicadores son vitales en el rendimiento y grado de servicio de la red. Así también este trabajo emplea simulaciones de escenarios de cobertura LTE. Para la misma, se escogió la ciudad de Manta de la provincia de Manabí; las metodologías de investigación escogidas son, la descriptiva para sintetizar avances de la tecnología LTE, su arquitectura de red; la analítica porque se identifica el mejor escenario de planificación de la red LTE para la ciudad de Manta de la provincia de Manabí y se emplea, además, el método empírico por el manejo del programa Atoll, herramienta profesional en planificación de redes. En base a simulaciones de cobertura y otros parámetros técnicos de la tecnología LTE se pretende realizar recomendaciones para asignaciones de los recursos de la red según las exigencias del servicio para el usuario.

Palabras claves: LTE, QoS, Atoll, Disponibilidad de cobertura

Abstract

The main objective of this titration work is the analysis of LTE (Long Term Evolution) technology and its quality of service control mechanisms through indicators or classes of services from the user's perspective. The QoS classification for services according to the ITU are four: Conversational, Interactive, Streaming and Background, said services and their indicators are vital in the performance and degree of service of the network. This work also uses simulations of LTE coverage scenarios. For the same, the city of Manta of the province of Manabi was chosen; the chosen research methodologies are, the descriptive one to synthesize advances of the LTE technology, its network architecture; the analytical because it identifies the best planning scenario of the LTE network for the city of Manta in the province of Manabí and also uses the empirical method for the management of the Atoll program, a professional tool in network planning. Based on simulations of coverage and other technical parameters of LTE technology, it is intended to make recommendations for allocations of network resources according to the user's service requirements.

Keywords: LTE, QoS, Atoll, Coverage availability

Capítulo I: Generalidades del trabajo de titulación

En este apartado se describe y se puntualiza las generalizaciones del trabajo a desarrollar, el planteamiento del problema, su justificación, objetivos generales y específicos, hipótesis y la metodología de investigación.

1.1 Introducción.

El avance vertiginoso de la tecnología a nivel mundial y específicamente en Ecuador ha impulsado a usuarios de las redes de telefonía móvil a consumir constantemente datos móviles con diferentes aplicaciones multimedia, así los operadores del servicio móvil avanzado deben cubrir la demanda de los usuarios, empleando mecanismos de control de calidad de servicio. Un primer paso es analizar la cobertura de sus transmisores.

En el Ecuador se está desplegando la tecnología LTE (Long Term Evolution; 4G), LTE habilitaría el relevamiento masivo de datos en tiempo real de vehículos, conductores, peatones, sensores y cámaras viales para ayudar a racionalizar el flujo de tránsito; por ejemplo, puede contribuir a la optimización de semáforos y uso de rutas, dirigir al transporte público hacia donde más se lo necesita, 'guiar' vehículos para evitar congestión, etc. (5G-Americas, 2016)

La evolución de las redes móviles viene dada en pasos pequeños como lo son los *upgrades*, parches o instalación de mejoras a nivel de *software*, mejoras en las técnicas de acceso a los medios y avances en las características de las antenas. Luego de desarrollarse varios estándares para la cuarta generación de telefonía móvil, los diversos fabricantes comprendieron que la tecnología no pasaría por *upgrades* de hardware o software de los equipos actualmente instalados, sino que debían de ser equipos completamente nuevos, capaces de satisfacer las demandas de la nueva tecnología. (Castillo, 2017)

No obstante, las redes de tercera generación, mediante la implementación de ciertos *upgrades* son capaces de simular las características de la nueva tecnología de redes LTE; esto es lo que se conoce con el nombre de *LTE Advanced* (Castillo, 2017). Por tanto, para ofrecer servicio LTE con calidad para la ciudad de Manta, se debe levantar información para un análisis de cobertura, tráfico, solapamiento y otros aspectos más.

1.2 Planteamiento del problema

Ante el crecimiento constante de usuarios de la ciudad de Manta de las redes de telefonía móvil y el consumo de datos móviles, me ha motivado a realizar un estudio de los diversos mecanismos, para medir el nivel de desempeño de una red de telecomunicaciones LTE, para resolver de una forma u otra, la congestión de red ocasionada por la cantidad de demanda de usuarios en dicha ciudad.

1.3 Justificación

Como se ha mencionado, el aumento de usuarios de redes de telefonía móvil ante el crecimiento de la población de la ciudad de Manta, promueve efectuar un estudio analizando los mecanismos de control de calidad de una red LTE, por medio de indicadores involucrados en el cálculo de capacidad, rendimiento y grado de servicio de la red. Además, se deberá entender el funcionamiento de una red de datos LTE identificando sus componentes, interfaces y factores principales que afectan el servicio, como así también, se empleará la simulación de cobertura LTE para la ciudad mencionada y finalmente, se evaluará los umbrales mínimos de señal LTE que permitan mayores grados de servicio a los usuarios.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Estudiar mecanismos de control para cobertura de señal LTE en la ciudad de Manta

1.4.2 Objetivos específicos

1. Describir las características tecnológicas de una red de telefonía celular LTE.
2. Identificar mecanismos de control de calidad en una red LTE con cumplimiento de indicadores que busquen otorgar mayores grados de servicio a los usuarios.
3. Evaluar resultados de simulación para cobertura de señal LTE en la ciudad de Manta a través de un software para diseñar y optimizar redes LTE.

1.5 Hipótesis

La simulación para cobertura de señal LTE en la ciudad de Manta permite planificación y optimización de la red, de tal forma que permite las mejores prestaciones de los servicios a los usuarios de la ciudad de Manta.

1.6 Metodología de investigación

Se utilizan los siguientes métodos “método descriptivo”, ya que se describirá la arquitectura de la red LTE; también el “método analítico” porque a través del estudio de mecanismos de control de calidad en red LTE se explicará los grados de servicio a los usuarios de la ciudad de Manta y finalmente se empleará el “método empírico” porque se prevé realizar una simulación de cobertura de red LTE para la ciudad de Manta en la provincia de Manabí. Pues, mediante el programa profesional Atoll el cual modela tráfico unificado, utilizando simuladores Monte Carlo y ACP (Automatic Cell Planning, Módulo de planificación automática de células)

para distribuir dinámicamente el tráfico entre capas de tecnología múltiple y en especial, de LTE.

Capítulo II: Red de telefonía celular

En la publicación de (Inzaurrealde & Isi, 2010) se sintetiza la evolución del celular, con más de 37 años de existencia, pues, ofrece servicios telefónicos a todos los usuarios sin tener la necesidad de estar 'atados' conectados a un cable telefónico. Así una ciudad puede ser dividida en pequeñas "células" (o celdas), lo cual permite extender la frecuencia por toda la ciudad y esto funciona con estaciones de radio que dan cobertura a pequeñas o grandes zonas (celdas), el tamaño de las mismas se define básicamente por la población a la que se brindará el servicio. Pues, cabe mencionar que mientras más densa sea el área, la cobertura serán más pequeñas y se requerirán más celdas para cubrir el área geográfica, mientras que si no es tan poblada, bastará con una o dos celdas para brindar el servicio (Inzaurrealde & Isi, 2010).

Las radiobases son las encargadas de dar cobertura a las celdas, y son administradas por los controladores de radio que son los encargados de gestionar la llamada entre el teléfono móvil y la central telefónica, los controladores de radio son administrados por la central telefónica, que es la encargada de realizar la interconexión con las demás redes fijas o *PSTN* (Public Switched Telephone Network). (Tomasi, 2014). Las transmisiones de las estaciones base y de los teléfonos no alcanzan una distancia más allá de la célula, es por esto que en cada celda se pueden utilizar las mismas frecuencias sin interferir unas con otras o en el mejor de los casos utilizar alternancia de dos frecuencias diferentes entre celdas adyacentes.

2.1 Primera Generación (1G)

La 1G de telefonía celular nació en 1979, continuando su desarrollo a través de la década de los años 80, basada en redes celulares con muchas estaciones base relativamente cercanas unas de otras y los controles necesarios para permitir la movilidad entre estaciones con una llamada en curso. Esta generación se caracteriza por ser estrictamente

para cursar voz en formato analógico, debido a la calidad de los enlaces que era muy precaria.

La tecnología que lideró esta generación fue *AMPS (Advanced Mobile Phone System)*, desarrollada por Bell Laboratories, utilizada en Estados Unidos, luego adoptada por otros países de manera regular. El Sistema de Comunicación de Acceso Total *TACS, (Total Access Communication System)* fue otro sistema que existió durante la 1G, fue adoptado en Reino Unido para luego ser distribuido a otros países (Inzaurrealde & Isi, 2010).

Al ser la primera generación, existían algunas diferencias en las especificaciones de los diversos sistemas, sin embargo, conceptualmente eran similares. La voz era transmitida en forma de frecuencia modulada, existía un canal de control para utilizarlo de manera simultánea para habilitar el traspaso a otro canal de comunicación de ser necesario. Las frecuencias de los canales eran diferentes para cada sistema, *AMPS* utilizaba canales de 30Khz y *TACS* de 25Khz. Los sistemas *NMT (Nordic Mobile Telephony)* *AMPS*, *TACS* y *Radiocom 2000* son conocidos como la primera generación de telefonía celular (Castillo, 2017).

2.2 Segunda Generación (2G)

Al convertir los sistemas analógicos a digitales, se produjeron significativos ahorros en la utilización del espectro. Debido a estos avances en la década de los 90 nacieron algunos sistemas como *GSM (Global System for Mobile Communications)*, *TDMA (Time Division Multiple Access)* y *CDMA (Code Division Multiple Access)*. Esta generación fue caracterizada por los circuitos digitales de datos conmutados por circuitos, Además, se utilizó el acceso múltiple por división de tiempo lo que significó hasta ocho usuarios utilizando canales separados por 200MHz entre sí. Los sistemas básicos se sitúan en la banda de los 900MHz y otros utilizaron las bandas de 1800 y 1900MHz; la banda de 850MHz fue introducida posteriormente (Castillo, 2017).

La 2G desplazó rápidamente a la 1G, debido a que utiliza frecuencias coincidentes con la 1G, por ejemplo, los 900Hz en Europa.

Los protocolos de codificación utilizados en 2G son más sofisticados que sus antecesores, a tal punto que aún son utilizados. Las tecnologías que caracteriza esta generación fueron: GSM; IS-136 (también denominado **TIA** (*Telecommunications Industry Association*)/**EIA-136** (*Electronics Industries Alliance*) ó **ANSI-136** (*American National Standards Institute*); CDMA y PDC (*Personal Digital Communications*), este último fue utilizado en Japón (Castillo, 2017).

Los protocolos de 2G toleran velocidades por voz mucho más altas; pues, son condicionados para la comunicación de datos. Así aparecen los servicios auxiliares como datos, fax y SMS (*Short Message Service*). La gran mayoría de los protocolos utilizados en 2G tienen diferentes niveles de cifrado.

2.2.1 Generación 2.5G

Al mismo tiempo que el internet se difundía, varias aplicaciones para la transferencia de información eran confrontadas. De esta forma, aparece GPRS (*General Packet Radio Service*) desarrollado por GSM y el primero en ver la luz; hasta ese momento todos los circuitos eran dedicados de forma exclusiva a cada usuario o también conocido como “*circuit switched*”. Esto demostraba ineficiencia cuando un canal transmitía información en un pequeño porcentaje y ahora con el nuevo sistema permite a los usuarios compartir un mismo canal, dirigiendo los paquetes de información desde el emisor al receptor. Esto proporciona, además el uso más eficiente de los canales de comunicación. (Castillo, 2017)

Luego de GPRS nació EDGE (*Enhanced Data rates aplicado a GSM Evolution*). Esta tecnología es básicamente GPRS, con un mejor esquema de modulación. GPRS y EDGE fueron tecnologías propias de GSM y por consiguiente los demás sistemas también tuvieron sus

adelantos como *CDMA* que dio el primer paso hacia *CDMA2000 1x* (Inzaurrealde & Isi, 2010).

La tecnología *2.5G* ofrece algunos de los servicios de *3G*, puede utilizar parte de la infraestructura *2G* en sistemas *GSM* y *CDMA*, su característica fundamental es el *GPRS* que provee transferencia de datos en velocidades moderadas utilizando canales *TDMA* no utilizados en los sistemas *GSM*. Los servicios *EDGE* y *CDMA2000 1x* para *GSM* y *CDMA* respectivamente califican oficialmente como servicios *3G*, ya que la tasa de transferencia supera los 144kbit/s pero son considerados por la mayoría como servicios *2.5G*, debido a que son verdaderamente más lentos que los servicios implementados en una red *3G*.

En la figura 2,1 se muestra la evolución de la telefonía celular desde la *1G* hasta la *4G+*



Figura 2. 1 Evolución de la telefonía celular

Fuente: (More, 2017)

2.3 Tercera Generación (3G)

De forma diferente a la tecnología *2G*, el significado de *3G* fue estandarizado por el proceso *IMT-2000* (*International Mobile Telecommunications*), el cual no normalizó la tecnología sino los requerimientos que ésta debía cumplir, por ejemplo, la tasa de 2 Mbps en

ambientes cerrados y 348 kbps en ambientes abiertos. Esta estandarización internacional fue dividida por varios estándares muy diferenciados entre sí.

El servicio celular 3G conocido como UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), es compatible con las redes GPRS y EDGE. Esta tecnología ofrece servicios de voz, mayores velocidades de transmisión de datos y aplicaciones que soportan el protocolo de Internet IP (Internet Protocol). Las bandas en las cuales opera esta tecnología son las de 850 MHz, 900 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz. La tecnología UMTS permite algunos servicios como las videoconferencias, transferencia de archivos pesados, multimedia streaming, televisión y juegos en tiempo real.

También ofrece la posibilidad de servicios de itinerancia global, con acceso potencial al Internet desde cualquier parte del mundo. Soporta voz y datos al mismo tiempo, a diferencia de las redes CDMA. Otros servicios celulares 3G conocidos son CDMA 2000-1x y CDMA 2000 1xEV-DO (1x Evolution-Data Optimized) los cuales utilizan CDMA como interfaz aire (Florido & Navea, 2012).

Una optimización de la red 3G fue la actualización de la tecnología UMTS a HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), la cual también se conoce como 3.5G o 3G+, el cual presenta una mejora en el enlace de bajada, conocido como downlink, haciendo llegar la misma a velocidades de hasta 14 Mbps en sus mejores condiciones. La evolución de la tecnología HSDPA se conoce como HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access), el cual permite tener una mayor velocidad en el enlace de subida, conocido como uplink. Se denomina HSPA (*High-Speed Packet Access*) a la combinación de ambas tecnologías.

2.4 Cuarta Generación (4G)

Son tecnologías totalmente IP, que han sido creadas con el objetivo de proveer tasas de transmisión hasta unos 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en una estación fija. Paralelamente, hace uso de parámetros de QoS (*Quality of Service*) para priorizar el tráfico de datos, dependiendo del tipo de aplicación que esté utilizando el ancho de banda. El despliegue de las redes 4G, mediante la conmutación de paquetes, mantendrá el servicio de voz y a la vez ayudará a mejorar la funcionalidad de las videoconferencias, acceso a videos de alta calidad, juegos en tiempo real, televisión móvil, etc. (Florido & Navea, 2012).

En la figura 2.2 se muestran casos para aplicaciones de máquina a máquina y otras aplicaciones verticales. Una aplicación vertical es la que solamente le sirve a una empresa o a una organización.



Figura 2. 2 Potencial significativo para 4G y LTE

Fuente: (Akayama, Schlautmann, Place, & Keeping, 2012)

Una aplicación vertical es un programa desarrollado específicamente para un mercado determinado y para las necesidades intrínsecas del mismo. Su razón de ser nace de la incapacidad de una aplicación horizontal (al tener un diseño más estandarizado) a adaptarse a mercados específicos, donde se necesiten gestionar procesos propios del sector. Así se dispone

de un software vertical para servicios de tiendas, turismo/hotelería, en domótica, etc., en fin, para las necesidades personales de cada empresa o usuario.

En la figura 2.2 se especifica el dominio Objetos móviles, a aplicaciones de gestión de flotas y carga, telemetría con gran cantidad de datos proveniente de automóviles y transporte público.

El dominio de comercio incluye ejemplos tales como aplicaciones de punto de venta y control de existencias, quioscos automatizados, distribución de medios y señalización digital.

El dominio médico y de salud incluye control y diagnóstico remoto, soporte asistido clínico, etc.

El dominio de procesos industriales, envuelve el modelo de fábrica inteligente (control del consumo de energía y gestión de condiciones y recursos, control de stock, automatización de planta, control de línea de producción, seguridad y vigilancia por video), gas y petróleo (mantenimiento preventivo/condicional de oleoductos y plantas pesadas, uso de sensores y análisis de grandes datos (*big data*), para determinar las reparaciones necesarias y el momento para realizarlas, manejo de oleoducto, sensores a lo largo de extensas tuberías en sitios remotos, con medición de presión y caudales para administración y mantenimiento (5G-Americas, 2016).

Algunas de las tecnologías que definen la cuarta generación son LTE-Advanced y WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). El estándar LTE no es considerado como una tecnología de cuarta generación basándose en las velocidades definidas en el estándar del grupo 3rd *Generation Partnership Project* 3GPP.

2.4.1 Estandarización LTE

LTE es una tecnología estandarizada por el 3GPP. Los documentos del 3GPP se estructuran en *Releases* (Lanzamientos); se presenta como

la evolución de la tecnología celular UMTS creada en noviembre de 2004, conocida como E-UTRA (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access*) y E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) (Florida & Navea, 2012).

Algunos de los objetivos de E-UTRA y E-UTRAN son:

- Velocidades de transmisión de pico de 100 Mbps en downlink y 50 Mbps en uplink, mejorando la velocidad de transmisión obtenible en el extremo de la célula.
- Mejora la eficiencia espectral en un factor 2-4 con respecto al Release 6.
- Latencia del plano de usuario en la red de acceso radio inferior a 10 ms.
- Ancho de banda escalable.
- Interoperabilidad con sistemas 3G y sistemas no 3GPP (Agusti, y otros, 2010).

LTE es una tecnología de alta velocidad y baja latencia que comprende GSM, GPRS, EDGE, WCDMA (*'Wideband Code Division Multiple Access'*) y HSPA. La red LTE presenta mejoras en la interfaz aire, en comparación con las redes 3G, utiliza OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para el downlink, basado en esquemas de acceso múltiple y modulación, y utiliza SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) para el uplink.

Algunos aspectos positivos de LTE son la disminución de las latencias, eficiencia espectral dada por el reuso 1 a 1, entre otras. Este sistema utiliza la modulación QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*) 16, QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) y 64 QAM, donde a medida que se aleje de la antena se irá disminuyendo el nivel de la modulación para obtener más energía de transmisión por bit. Por otro lado, están las técnicas complementarias de radio como, MIMO (*Multiple-input Multiple-*

output) y el mecanismo de corrección de errores FEC (*Forward Error Correction*) (Florido & Navea, 2012).

2.4.2 Arquitectura del sistema LTE

Un sistema LTE está formado por la capa de conectividad IP, llamada EPS (*Evolved Packet System*), el cual está constituida por el equipo de usuario, de red de acceso E-UTRAN y el dominio de paquetes EPC (*Evolved Packet Core*) de la red troncal. Estos proporcionan servicios de transferencia de paquetes IP entre los usuarios y las redes externas.

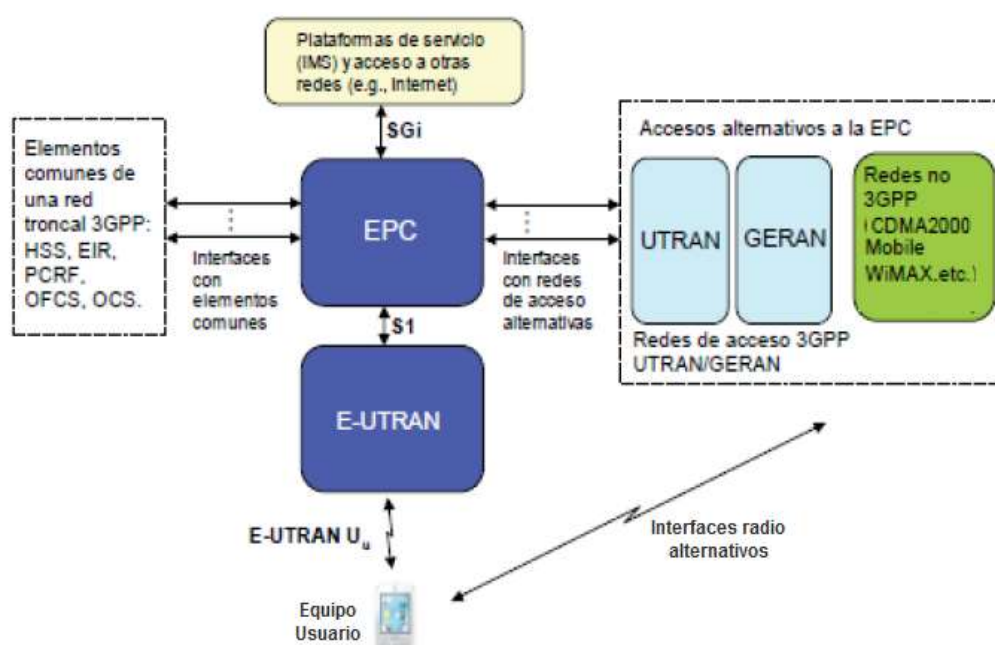


Figura 2. 3 Arquitectura del sistema LTE.

Fuente: (Florido & Navea, 2012)

La interfaz entre E-UTRAN y EPC se llama S1, y la interfaz de radio entre los equipos de usuario y E-UTRAN se denomina E-UTRAN Uu. La interfaz SGi de la EPC es en donde se realiza la conexión a redes de paquetes IP externas.

Los servicios que ofrece el sistema LTE pueden ser basados en redes IMS (IP Multimedia Subsystem), en donde el operador ofrece servicios basados en el protocolo SIP (Session Initiation Protocol), o

servicios basados en redes no IMS, en donde el operador coloca servicios en su red a las cuales el usuario puede acceder. El sistema LTE es diseñado para soportar servicios de telecomunicaciones mediante la conmutación de paquetes. De esta forma, la interconexión entre los equipos se realiza mediante tecnologías de red basadas en IP (Florido & Navea, 2012).

Otra manera de representar la arquitectura de un sistema LTE es la que requiere las interfaces *AN-CN* (*Access Network – Core Network*), véase la figura 2.4.

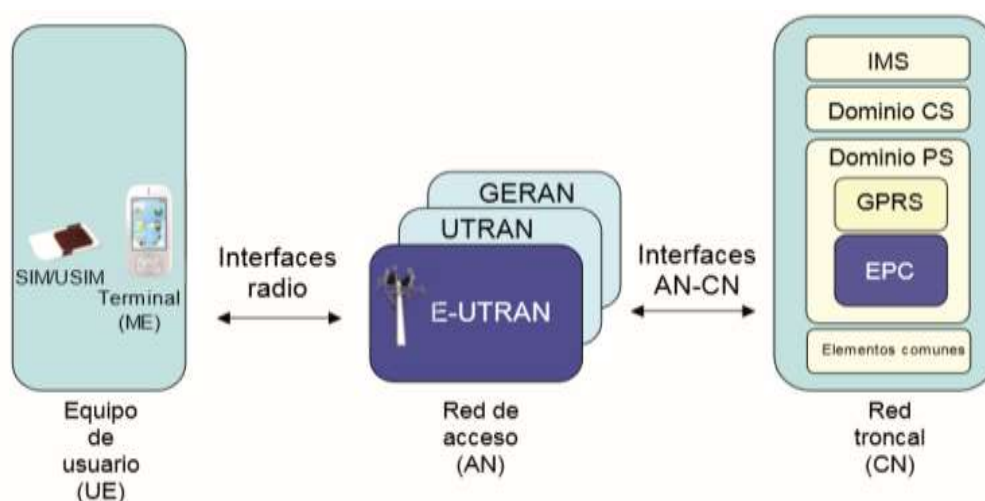


Figura 2. 4 Arquitectura de redes 3GPP

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

El bloque definido como equipo de usuario está conformado por un terminal móvil (Mobil Equipment, *ME*) y por la *SIM/USIM* (*Subscriber Identity Module/UMTS Subscriber Indetity Module*).

El bloque de Red de acceso está definido por tres redes, cuales son: *GERAN* (*GSM/EDGE Radio Access Network*), *UTRAN* (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y *E-UTRAN*. Cada red de acceso pertenece a una generación de redes y la misma, define su propia interfaz de radio. De esta forma, *GERAN* utiliza *TDMA*, *UTRAN* *WCDMA* y *E-UTRAN* trabaja con *OFDM* (Castillo, 2017).

El bloque de Core está compuesto por un dominio de circuitos *CS* (Circuit Switched), un dominio de paquetes *PS* (*Packet Switched*), el subsistema *IMS* y los elementos comunes. El dominio *CS* alberga todos los equipos y entidades necesarias para proporcionar los servicios de telecomunicaciones basados en conmutación de circuitos. (Castillo, 2017)

El dominio *PS* es la parte del *CORE* que brinda los servicios relacionados con la conmutación de paquetes, este dominio tiene dos partes el primero es *GPRS* y el segundo es *EPC*. *El GPRS* es utilizada por las redes de acceso *GERAN* y *UTRAN*, mientras que las redes de acceso *E-UTRAN* utilizan *EPC*, que es la evolución del *GPRS*. *EPC* es una de las características fundamentales de las redes *LTE*, es la encargada de proveer la conectividad *IP* a los equipos de usuarios utilizando la red de acceso (Castillo, 2017).

En el bloque de *CORE* también se encuentra un sub-bloque denominado “Elementos Comunes”, en esta sección están los elementos de software y hardware que permiten la gestión de los bloques de *CS*, *PS* e *IMS* y administran la información almacenada de los usuarios de red registrados.

El *IMS* es el equipo que se encarga de proveer los servicios multimedia basados en *IP* y administra la señalización de estos servicios y su conectividad es otorgada por el dominio *PS* (Castillo, 2017).

2.4.3 LTE como plataforma de IoT

LTE está determinada por elementos de red que la identifican y diferencian de las arquitecturas de red diferente de los sistemas genéricos definidos por la *3GPP*, estos elementos son: *E-UTRAN*, *EPC* e *IMS*.

(Pardal, 2017) Señala que dentro del contexto del Internet de las Cosas (IoT), *3GPP* ha delineado en los últimos años varios modelos de comunicación:

- LTE Cat 1: es la versión 8 del grupo, publicada en 2008. Fue la primera en implantar la tecnología LTE y aunque no fue inicialmente diseñada para el contexto del IoT, sus prestaciones pueden permitir el despliegue de aplicaciones.
- LTE Cat 0: es la versión 12 del grupo, publicada en 2015. Aporta mejoras frente a la primera versión de LTE, pero sin ser aún específica para el mundo del Internet de las Cosas.
- LTE Cat M1 (enhanced Machine-Type Communication, eMTC): es una de las estandarizaciones de la versión 13, publicada en 2016 pensando en aplicaciones hacia el mundo IoT
- LTE Cat NB1 (narrowband Internet of Things, NB-IoT): publicada en 2016, conforma una de las estandarizaciones de la versión 13. Al igual que eMTC, su desarrollo fue focalizado hacia el IoT.

Todas ellas basan su funcionamiento en las actuales redes celulares, aprovechando sus radiobases y la infraestructura ya desplegada. Como su nombre indica, utilizan la tecnología LTE (Pardal, 2017).

En la tabla 2.1 se aprecia un cuadro comparativo, siendo NB-IoT la más adecuada para aplicaciones IoT.

Tabla 2. 1 Comparativa 3GPP para LTE

	LTE Cat 1	LTE Cat 0	LTE Cat M1 (eMTC)	LTE Cat NB1 (NB-IoT)
3GPP Release	Release 8	Release 12	Release 13	Release 13
Tasa pico de enlace descendente	10 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	250 kbps
Tasa pico del enlace ascendente	5 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	250 kbps (multi-tone) 20 kbps (single-tone)
Número de antenas	2	1	1	1
Modo Dúplex	Full Duplex	Full or Half Duplex	Full or Half Duplex	Half Duplex
Dispositivo Rx de ancho de banda	1.08 - 18 MHz	1.08 - 18 MHz	1.08 MHz	180 kHz
Cadenas receptoras	2 (MIMO)	1 (SISO)	1 (SISO)	1 (SISO)
Dispositivo Tx de potencia	23 dBm	23 dBm	20 / 23 dBm	20 / 23 dBm

Fuente: (Pardal, 2017)

2.5 Red Troncal LTE

En la figura 2.5 se muestra el sistema LTE completo y además elementos que no son propios del EPS o capa de conectividad IP, esto conforme a la interoperabilidad de las redes LTE con otras redes 3GPP y no 3GPP.

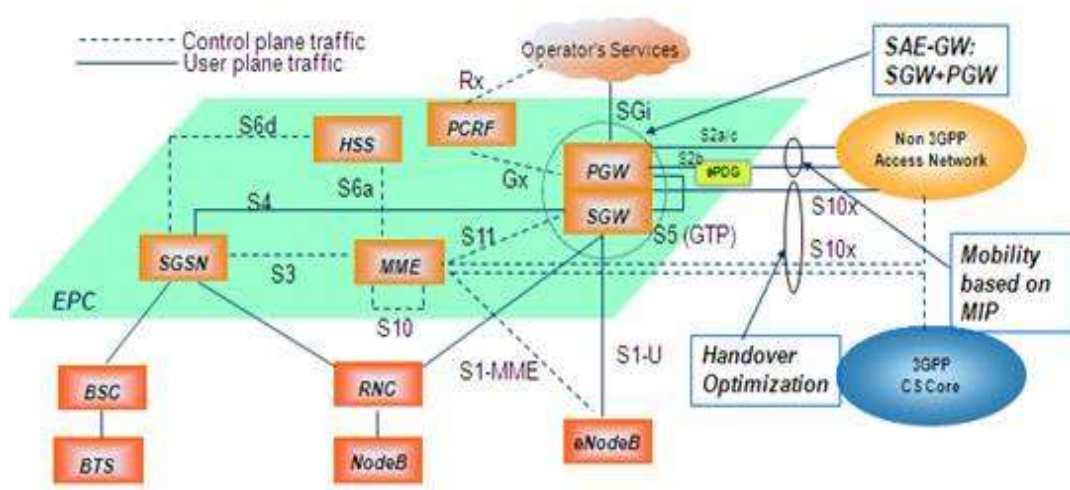


Figura 2. 5 Referencia completa de arquitectura LTE

Fuente: (ZTE, 2015)

El EPS también es conocido como SAE (System Architecture Evolution), comprende según la arquitectura los segmentos eUTRAN y EPC. (Ver figura 2.5)

2.5.1 Segmento EPC

La arquitectura del EPC ofrece un servicio de conectividad IP soportado en la posibilidad de la utilización de sus servicios a través de otras redes de acceso 3GPP (GERAN y UTRAN) como no 3GPP (CDMA2000, WiMax, 802.11). (Castillo, 2017)

En la figura 2.6 se muestra una troncal EPC para el suministro de servicios IP mediante una red de acceso E-UTRAN, los elementos de red de la arquitectura EPC son unidades funcionales, esto significa que son unidades lógicas que desempeñan funcionalidades muy bien delimitadas,

debido a esta razón es muy común encontrar a todas las unidades funcionales dentro de un mismo equipo físico.

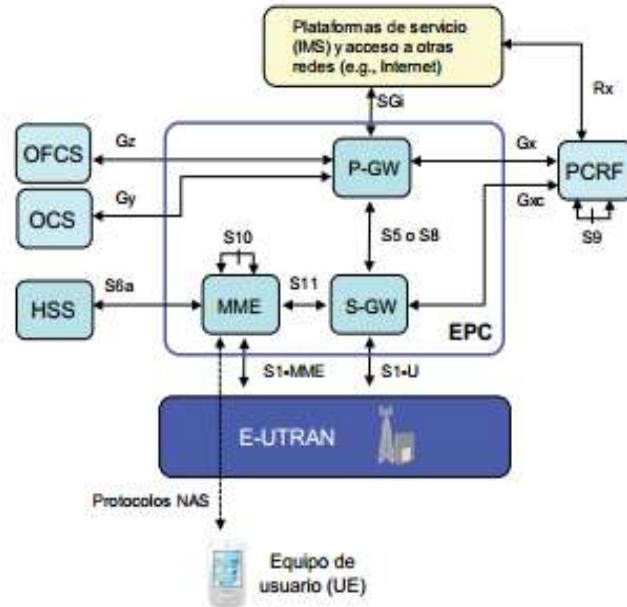


Figura 2. 6 Arquitectura EPC

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

La core network (EPC), está compuesta por:

- *Mobility Management Entity*: nodo principal de control que tiene asignadas multitud de funciones, como el tracking del UE o paging entre otras.
- *Serving GateWay*: está en la frontera entre el Radio Access Network (RAN) y la core network y se encarga de gestionar la movilidad.
- *Packet Data Network*: da servicio y conectividad con redes de paquete externas.
- *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*: se encarga de tarifar. (Castillo, 2017)

En la parte radio, la E-UTRAN, el sistema está formada por:

- Evolved Node B (eNodeB): estación que se encarga de proporcionar la interfaz radio

- User Equipment (UE): el terminal de usuario.

El S-GW y P-GW están asociadas al plano de usuario (*user plane*), mientras que el MME realiza las funciones de señalización o plano de control (*control plane*). La conexión entre la red de acceso E-UTRAN con la red troncal EPC se realiza mediante la interfaz S1, esta interfaz S1-MME corresponde al plano de control y termina en MME, la interfaz S1-U corresponde al plano de usuario y termina en S-GW.

El MME, es quien controla las funciones de plano de usuario en el S-GW mediante la interfaz S11, se conecta al HSS (*Home Subscriber Server*) a través de la interfaz S6a para poder acceder a la información de los usuarios de la red que están permitidos de establecer conexiones mediante E-UTRAN. Es posible que los MME se conecten entre sí, y esto se logra a través de las interfaces S10. (Castillo, 2017)

La interconexión del EPC con redes externas o plataformas de servicio IMS se realiza mediante el P-GW y la interface SGi. El P-GW es el encargado de la asignación de direcciones IP a los equipos de usuarios y también de realizar el control de QoS en las sesiones de datos establecidas. El P-GW se conecta internamente con el S-GW por la interfaz S5, esto siempre y cuando ambos equipos pertenezcan al mismo operador, de no ser el caso se deberán de conectar mediante la interfaz S8 para poder brindar el servicio de *roaming*.

El PCRF forma parte del PCC (*Policy and Charging Control*) que es utilizado para controlar los servicios portadores que se ofrecen en una red LTE como activar y gestionar los parámetros de QoS determinados para cada abonado, supervisión de los mecanismos de tarificación, medición del consumo de datos, entre otros.

El IMS se conecta con el PCRF mediante la interfaz Rx, esta interfaz ofrece la funcionalidad de control necesaria para que los servidores de aplicación externos puedan proporcionar información

asociada a los servicios finales que accede un usuario junto con las características y requerimientos de QoS. (Castillo, 2017).

El OFCS (*Offline Charging System*) y OCS (*Online Charging System*) son el centro del sistema de tarificación de la red. Los modelos de tarificación pueden ser muy variados como, por ejemplo, tiempo de uso, consumo de datos, eventos, entre otros.

La interfaz Gz es el medio por el cual interactúa el OFCS y el P-GW, mientras que con el OCS es la interfaz Gy.

Una EPC convencional se muestra en la figura 2.7 y en la figura 2.8 una red troncal LTE basada en núcleo mejorada por Software Defined Networking (SDN). (Castillo, 2017)

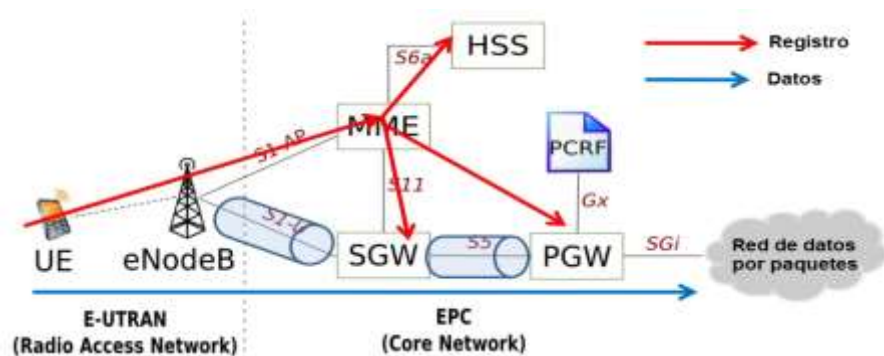


Figura 2. 7 Esquema del EPC convencional

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

La tecnología de Redes Definidas por Software está cambiando la forma en que las redes se conciben con implicaciones disruptivas en el diseño, la implementación, el funcionamiento y el mantenimiento de la red.

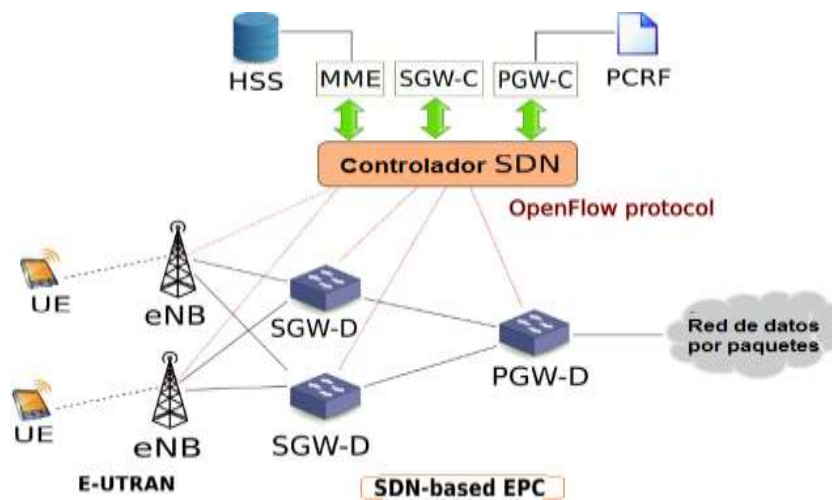


Figura 2. 8 EPC y Core evolucionada con SDN

Fuente: (RCR Wireless News, 2014)

En los últimos años, las comunidades industriales y académicas han dedicado esfuerzos al desarrollo de SDN, y soluciones bien establecidas están disponibles para dominios de red con infraestructura tanto cableada como inalámbrica. El Plano de control es flexible cuando está basado en software ya que los switches SDN en el plano de datos (Default Switch) conectan con mejor rendimiento la RAN a EPC. Se espera que SDN sea un complemento en el rediseño del núcleo del paquete LTE en 5G y más allá.

2.5.2 Funcionalidades de componentes del EPC

A continuación, se explican estos elementos con más detalles:

MME

La entidad de administración de la movilidad (MME), es el componente de la EPC que se encarga principalmente de la señalización y funciones del plano de control que gestiona el acceso de red y la movilidad de los usuarios. Por lo tanto, no transporta paquetes IP con tráfico de datos de usuarios. La ventaja de tener una red con una entidad de señalización separada es que la capacidad de la red para señalización y tráfico crecen independientemente. Las funciones del MME son:

- Administrar los parámetros de seguridad.
- Autenticar las identidades de los equipos de usuario y autorizar el acceso a la red.
- Selección de los P-GW y S-GW.
- Permitir al operador manejar el tráfico de usuario y la señalización (Protocolos de señalización).
- Señalización entre nodos de la red central para la movilidad entre EPS y las redes 3GPP.
- Gestión de movilidad en usuarios en modo idle.
- Gestión de los estados de conexión de los usuarios.
- Funciones de gestión de bearers (Florido & Navea, 2012).

S-GW

El servidor de puerta de enlace es el nodo que actúa como enlace entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Para cada terminal de usuario existe un S-GW único asignado en cada momento. Entre sus funciones están:

- Gestión de movilidad con las redes de acceso 3GPP.
- Enviar el tráfico móvil a otras redes IP.
- Almacenamiento temporal de paquetes IP.
- Enrutamiento y redirección de paquetes.
- Proporcionar al usuario la información del tráfico.

P-GW

Es el nodo que mediante una conexión permite acceder a redes de datos públicas. Puede existir más de un P-GW asignado a cada usuario. Algunas de sus funciones son:

- Brindar soporte para interconexión entre redes 3GPP y no 3GPP.
- Aplicación de las reglas de uso de la red.
- Filtrado de paquetes por usuario.
- Actúa de interfaz entre la red de acceso y redes de paquetes IP.
- Control de tarificación.
- Asignación de la dirección IP a los usuarios.

HSS

Se dice que es una evolución del HLR (*Home Location Register*) de GSM, pues contiene toda la información de los usuarios de la red. Almacena la información de suscripción y los datos de autorización para que el usuario acceda al sistema y pueda hacer uso de los servicios dependiendo de su contrato de suscripción.

PCRF

El *PCRF*, mediante su interfaz *Gx* administra los servicios portadores *EPS* de la red *LTE* a través del envío de reglas *PCC* necesarias para la configuración de la operación de las funciones específicas del plano de usuario del elemento *P-GW*, como, por ejemplo, funciones que limitan la velocidad de transmisión de los servicios. Las funciones del *PCRF* son:

- Autorizar a los recursos de calidad de servicio (QoS).
- Control de los flujos de servicios de datos: detección, gating, calidad de servicio y tarificación.
- Decisiones dinámicas sobre políticas en los flujos de datos. (Castillo, 2017)

El nodo *PCRF* no forma parte del *EPC* en la nueva arquitectura, sino que está definido en el Release 7 del 3GPP (Florido & Navea, 2012).

2.5.3 IMS

El subsistema *IMS* se encuentra integrado al núcleo de la red *LTE* mediante una infraestructura conformada por servidores, *gateways* y base de datos, a través del cual se logra proporcionar los mecanismos de control necesarios para la provisión de servicios multimedia basados en *IP* a los abonados. (Castillo, 2017)

El *IMS* es un elemento muy importante dentro de la arquitectura *LTE*, ya que este equipo es el encargado de brindar el acceso al internet mediante el uso de la red celular, además gestiona la provisión de los

servicios de voz y video sobre *IP*. El acceso al *IMS* es mediante los servicios de conectividad *IP* proporcionados por la red *LTE* (Castillo, 2017). El subsistema *IMS* también permite interactuar con redes de conmutación de circuitos *CS* como las *PSTN* (fijas) o las redes móviles ya existentes, provee soporte para las diversas redes de acceso debido a que se lo considera como un subsistema independiente. Este subsistema fue creado a partir de la necesidad de brindar *QoS* en las sesiones multimedia en tiempo real y de esta manera mejorar los sistemas de tarificación (Castillo, 2017).

El *IMS* utiliza protocolos derivados del *IETF* (*Internet Engineering Task Force*), estos protocolos son creados para la provisión de servicios multimedia en los sistemas de comunicaciones móviles, su utilización facilita la interconexión de diferentes redes de telecomunicaciones ya sean fijas o móviles. (Castillo, 2017)

Particularmente, el protocolo *SIP* fue elegido por el *3GPP* como protocolo base para soportar la señalización referente al *IMS*, establece y administra las sesiones multimedia (telefonía, video conferencia, etc.) en redes *IP*, bajo el modelo de cliente-servidor; el mismo tiene la mayoría de las características de los protocolos *SMTP* (*Simple Mail Transfer Protocol*) y *HTTP* (*HyperText Transfer Protocol*)

El *IMS* realiza la provisión de servicios de acuerdo con el modelo que se muestra en la Figura 2.9.

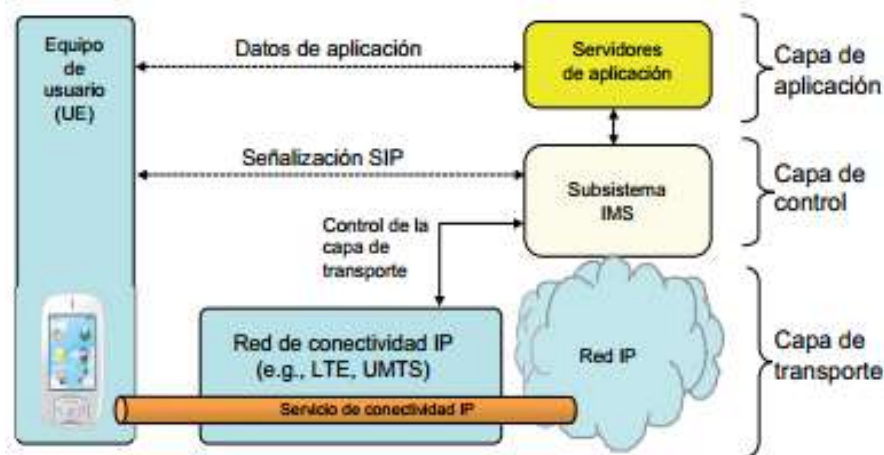


Figura 2. 9 Provisión de servicios IMS

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

- La capa de transporte es representada mediante la infraestructura de la red *IP*, para proporcionar el encaminamiento de los flujos *IP* entre equipos.
- La capa de control alberga los equipos necesarios para la gestión de las sesiones como los servidores de señalización *SIP*, así como otros elementos para la interacción con redes telefónicas tradicionales.
- La capa de aplicación es donde se encuentran los servidores que proporcionan los diferentes servicios brindados a través del *IMS*, en esta capa también existen los elementos conectados con otras plataformas de servicios como redes inteligentes. A través de estas plataformas se suministra servicios desde proveedores de aplicaciones externas conocidas como *ASPs (Application Service Providers)* (Castillo, 2017).

2.6 E-UTRAN Red de acceso

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red, denominada *Evolved NodeB (eNB)* que constituye la estación base de E-UTRAN, el cual integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de la GSM y UMTS compuestas por estaciones base (**BTS-Base Transceiver Station**, NodoB) y equipos controladores

BSC (*Base Station Controller*) y **RNC** (*Radio Network Controller*). La E-UTRAN es también denominada como la interfaz de aire de LTE, se encarga de interconectar los equipos de usuario con la red. A su vez, está constituida por nodos eNB conectados mediante las interfaces X2 (Florido & Navea, 2012).

2.6.1 Entidad de red de E-UTRAN

Evolved NodeB (eNB).- Es el nodo que conforma el E-UTRAN, el cual actúa como una radio base que se ubica con las antenas de radio. Se encarga de crear un enlace entre el equipo de usuario con el EPC para transmitir los paquetes de datos IP y mensajes de señalización. Su función principal es la gestión de los recursos radio; también realiza la selección dinámica del MME y el enrutamiento de los datos hacia el S-GW. Es el encargado de realizar la compresión de la cabecera, el cifrado y la entrega de los paquetes IP.

Comparativa entre E-UTRAN y UTRAN

La principal diferencia es que la red de acceso UTRAN se basa en una arquitectura jerárquica. Véase la figura 2.10 en donde se observa la red troncal LTE y la red troncal UMTS.

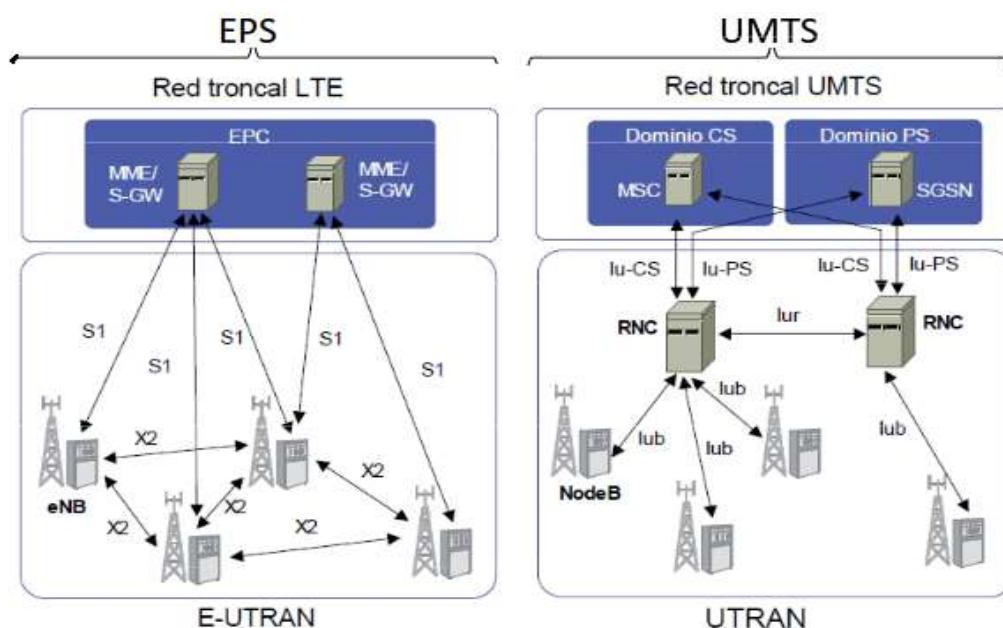


Figura 2. 10 Comparativa entre E-UTRAN y UTRAN

Fuente: (Florida & Navea, 2012)

En la red de acceso de la arquitectura UTRAN, las estaciones base se encargan de la transmisión radio y es controlado por equipos remotos. Las interfaces entre las estaciones base y los equipos de control se llaman lub, y la interfaz entre los equipos de control se denominan lur.

Por otro lado, en la arquitectura E-UTRAN, la voz es tratada como un servicio de datos de alta prioridad. Se elimina el RNC y sus funciones se delegan al eNB en su mayoría. Las interfaces entre los eNBs se denominan X2 y las interfaces entre los eNB y el núcleo EPC se llaman S1.

2.6.2 Equipo de Usuario

Son todos aquellos equipos que permiten al usuario conectarse con el sistema LTE, mediante el uso de la interfaz de radio. El equipo de usuario *LTE* posee una arquitectura que consta de dos elementos: el módulo de suscripción de usuario (*SIM/USIM*) y el equipo móvil *ME*), cuyas funciones se definen en dos entidades funcionales: el terminal móvil (*Mobile Terminal, MT*) y el equipo terminal (*Terminal Equipment, TE*) (Castillo, 2017). Véase la figura 2.11.

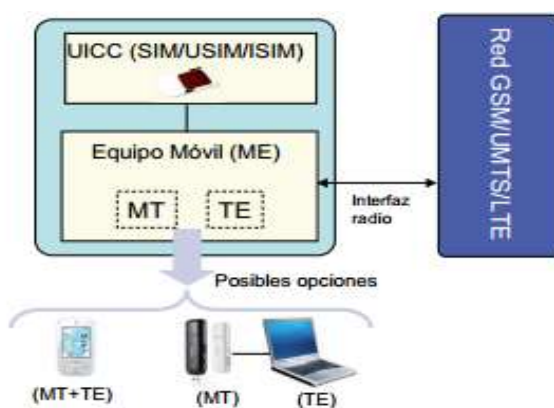


Figura 2. 11 Equipo de usuario

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

Equipo Móvil (ME)

El Equipo Móvil está dividido en dos entidades, *MT* y *TE*. El *MT* es el que se encarga de las funciones de conectividad y él *TE* es el equipo que interactúa con el usuario. Un ejemplo claro para identificar *MT* y *TE* es un modem y una laptop, el modem es el equipo *MT* y la laptop es él *TE*. (Castillo, 2017)

UICC (*Universal Integrated Circuit Card*)

Las UICC son los “chips” utilizados en teléfonos móviles y dispositivos externos como los módems, para las redes GSM y UMTS. La tarjeta inteligente se refiere al circuito integrado y a su capacidad de comunicación y procesado. Entre los datos que se almacenan están los relativos al usuario para su identificación en la red; el IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) asignado a ese usuario, agenda, SMS, entre otros.

Las redes 3GPP gestionan los datos de suscripción de usuarios mediante el uso de los módulos SIM y USIM que forman parte de las aplicaciones UICC. SIM/USIM es un módulo por el cual se logra identificar al usuario en las redes, independientemente del terminal utilizado. Para lograr registrarse en las redes GSM se utiliza el módulo SIM (Subscriber Identity Module), mientras que para las redes UMTS se lo logra a través del módulo USIM (UMTS SIM). Las tarjetas UICC también poseen un módulo por el cual se logra almacenar información relacionada a los servicios IMS, este módulo se denomina ISIM (IP Multimedia Service Identity Module) (Castillo, 2017).

2.7 Interfaces de red

A continuación, se detalla cada interface en un sistema LTE.

Interfaz radio (Uu)

Permite la transferencia de información por el canal radio entre el equipo usuario (UE) y el eNB. Esta interfaz soporta tres tipos de transferencia: de señalización de control dedicada entre el UE y el eNB, de paquetes IP y de difusión de señalización de control (broadcast). Véase la figura 2.12

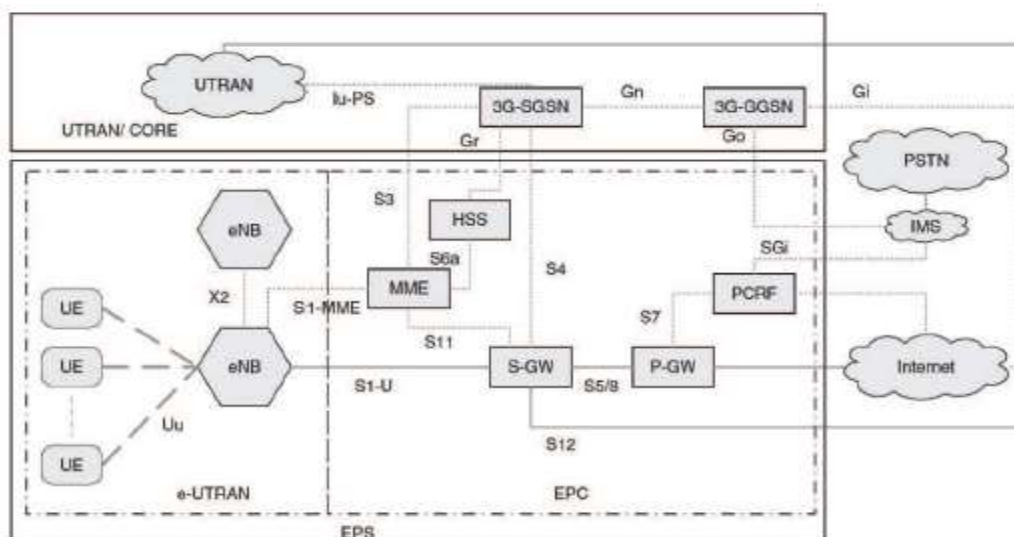


Figura 2. 12 Interfaces de un sistema LTE

Fuente: (Florido & Navea, 2012)

Interfaz eNB – EPC (S1)

Se divide en dos interfaces para realizar la conexión del eNB con dos nodos diferentes de la red troncal, estas son:

- S1-MME (S1-C): sustenta el plano de control, que incluye la señalización y los parámetros necesarios para establecer una llamada. Soporta un conjunto de funciones y procedimientos de control entre eNBs y el MME.
- S1-U (S1-UP): soporta al plano de usuario, abarcando el payload y las informaciones referentes a los detalles del usuario. Proporciona un servicio de transferencia de datos entre el eNB y el S-GW.

Interfaz eNB – eNB (X2)

Conecta a los nodos eNB para transmitir mensajes de señalización y datos de usuario entre los mismos, en especial cuando ocurre el proceso de handover, todo esto sin garantías de entrega, soportes de mecanismos de control de errores, ni controles de flujo.

Interfaz MME - SGSNs (S3)

Permite el intercambio de información de usuario para la movilidad del sistema de las redes de acceso 3GPP en estado activo y/o inactivo. Está basado en el punto de referencia Gn definido entre SGSNs.

Interfaz S-GW - SGSNs (S4)

Provee al plano de usuario del enlace a los equipos S-GW y núcleo del GPRS. Está basado en el punto de referencia Gn definido entre SGSN y GGSN.

Interfaz P-GW – Redes Externas (SGi)

Se realiza la interconexión entre el P-GW de la red LTE y la red externa de paquetes de datos IP. Soporta redes IP versión 4 y versión 6 (Florido & Navea, 2012).

Interfaces P-GW – S-GW (S5 y S8)

Permiten la transferencia de paquetes entre el P-GW y el S-GW.

- **S5:** es utilizada para relocalizar el equipo de usuario cuando ambos gateways pertenecen a la misma red.
- **S8:** es un punto de referencia en casos de itinerancia (roaming). Suministra los planos de usuario y de control entre el S-GW de la red visitante y de la red local.

Interfaz MME – MME (S10)

Es utilizada para llevar a cabo la interconexión entre los MME y para la relocalización y transferencia de información entre los mismos.

Abarca toda la información relacionada a servicios, gestión de movilidad, datos de seguridad, características del terminal, entre otros.

Interfaz MME – S-GW (S11)

Realiza la interconexión entre el MME y el S-GW. También da soporte al proceso de reubicación del S-GW. Permite la supresión, creación, edición y cambio de los servicios que poseen los terminales asignados en la red troncal LTE.

Interfaz HSS – MME (S6a)

Permite la transferencia de datos entre el HSS y el MME para autenticar y suscribir al usuario y permitirle el acceso a la interfaz aire. Da soporte a funciones tales como: mantenimiento de la información de gestión relacionada a la localización de los terminales, autorización de los datos y perfiles del usuario empleando la base de datos del HSS, la autenticación dada en el MME.

2.8 Heterogeneidad

La migración a la arquitectura *all-IP* significa una mejor eficiencia espectral, pero la heterogeneidad de plataformas tecnológicas es un inconveniente latente. Los diferentes tipos de usuarios necesitarán utilizar la red en diferentes lugares y para diferentes aplicaciones. Junto a esto, los operadores que introducen las redes LTE y LTE avanzadas tendrán muchos sistemas heredados disponibles. En cualquier red heterogénea de LTE, será necesario acomodar otras tecnologías de acceso por radio, incluidas HSPA, UMTS e incluso EDGE y GPRS. Además de esto, otras tecnologías que incluyen Wi-Fi también deben ser acomodadas.

Estas soluciones para redes heterogéneas LTE necesitan incorporar no solo las soluciones de red de acceso de radio, sino también la red central. De esta forma, una red verdaderamente heterogénea puede volverse funcional. Para garantizar el mejor uso de las capacidades disponibles, todos los diversos elementos deben ser operados de una

manera que sea realmente transparente para el usuario. El usuario debe recibir la mejor experiencia con la mejor tecnología disponible en un momento dado. El rendimiento y, por lo tanto, las experiencias del usuario también deberían ser muy parecidos, independientemente de la ubicación y de la aplicación.

En la figura 2.13 se muestra un esquema de sistema LTE con conexión a varias plataformas tecnológicas.

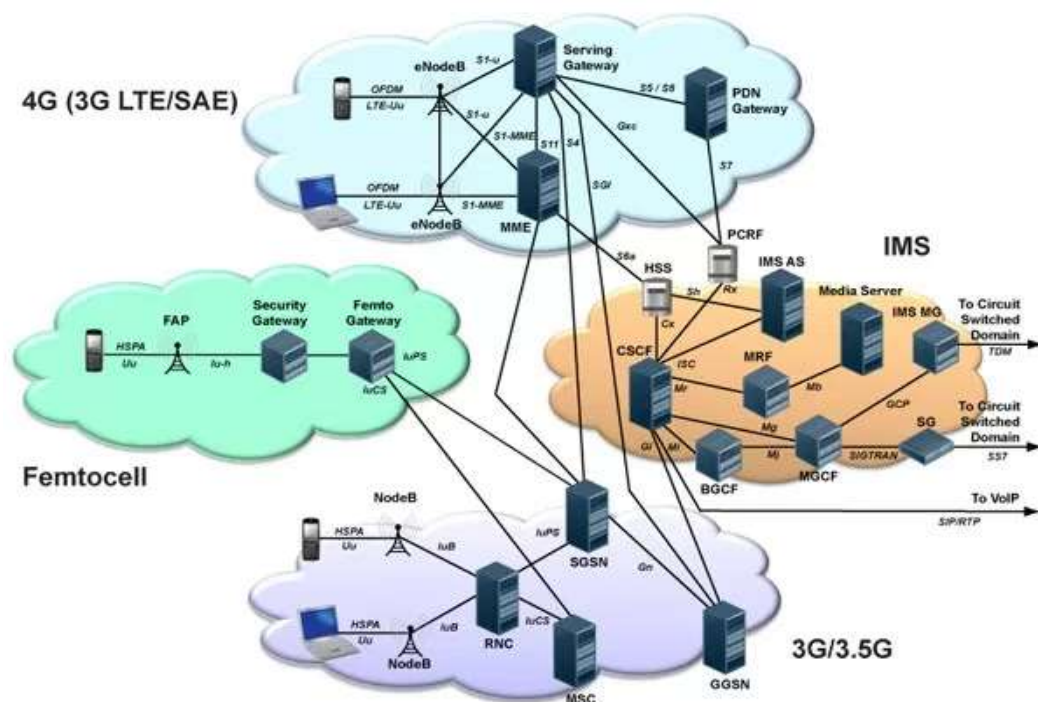


Figura 2. 13 Sistema LTE con conexión a otras plataformas tecnológicas

Fuete: (RCR Wireless News, 2014)

El diagrama de la figura 2.13 muestra la realidad compleja en la que existe LTE, donde debe interactuar con elementos de red preexistente, incluida las redes 3G (y las implementaciones de células pequeñas) y los subsistemas multimedia de Internet (IMS). Las implementaciones del mundo real son donde se manifiestan la complicación y las diferencias de las implementaciones de LTE. La MME (entidad de gestión de la movilidad) autentica los dispositivos inalámbricos y está involucrada en transferencias entre LTE y las generaciones anteriores de tecnología.

El requisito de proporcionar un mejor nivel de cobertura y rendimiento en una mayor variedad de situaciones significa que se requiere una mayor variedad de técnicas. Hacer que todas las diferentes tecnologías, desde las redes de acceso de radio a las tecnologías de estaciones base y las rutas de backhaul se combinen, necesita una planificación cuidadosa.

2.9 Categorías de calidad de servicio para servicios multimedios

La calidad de servicio se refiere a la capacidad de una red para alcanzar el ancho de banda máximo y lidiar con otros elementos de rendimiento de la red, como la latencia, la tasa de error y el tiempo de actividad. QoS también implica controlar y administrar los recursos de la red estableciendo prioridades para tipos específicos de datos (video, audio, archivos) en la red. QoS se aplica exclusivamente al tráfico de red generado para video a pedido, IPTV, VoIP, medios de transmisión, videoconferencia y juegos en línea

Según la Recomendación UIT-TG.1010 proporciona la orientación sobre factores clave que inciden en la calidad de servicio (QoS) desde la perspectiva del usuario extremo, teniendo en cuenta una gama de aplicaciones que utilizan como medio la voz, el vídeo, la imagen y el texto, y los parámetros que permiten conocer la satisfacción del usuario en cuanto a esas aplicaciones.

La Rec. UIT-T G.1000 de Calidad de servicio y de transmisión determina la relación entre la calidad de servicio y la de funcionamiento de la red. Y especifica que la calidad de funcionamiento de la red contribuye a la QoS que experimenta el usuario/cliente.

En otras Recomendaciones UIT-T, como I.350 e Y.1540, detalla la calidad de funcionamiento de la red y la parte de la QoS global que corresponde a interfaz de red a interfaz de red, (NI-to-NI) y se comparan la QoS y la calidad de funcionamiento de la red. Desde el punto de vista

del usuario, la Rec. UIT-T E.800 sigue siendo la más significativa de las definiciones del UIT-T. Así en la figura 2.14 se muestra las relaciones entre la calidad de servicio y la calidad de funcionamiento de la red, desde cuatro aspectos sobre QoS.



Figura 2. 14 Relación entre calidad de servicio y calidad de funcionamiento de la red

Fuente: (UIT-T, 2001) elaborado por autor

Un desafío para redes cableadas e inalámbricas basadas en protocolo IP de reciente instalación es suministrar la calidad de servicio adecuada para los diferentes servicios. El punto de partida para determinar estas necesidades de calidad de funcionamiento debe ser el usuario. Al cliente le interesa comparar la manera en que diferentes proveedores ofrecen el mismo servicio según parámetros de calidad de funcionamiento universal y centrado en el usuario. Esto significa que la calidad de funcionamiento se debería expresar mediante parámetros que:

- Tienen en cuenta todos los aspectos del servicio desde el punto de vista del usuario.
- Se centran en los efectos percibidos por el usuario más que en sus causas dentro de la red.
- Son independientes de la arquitectura o tecnologías de la red.
- Se pueden medir objetiva o subjetivamente en el punto de acceso al servicio.
- Se pueden relacionar fácilmente con los parámetros de calidad de funcionamiento de la red (UIT-T, 2001)

A continuación, se detallan parámetros clave que afectan al usuario

2.9.1 Tiempo de transmisión (retardo)

El retardo tiene un impacto muy directo en la satisfacción del usuario según la aplicación, y se puede producir en el terminal, la red o cualquier servidor.

2.9.2 Variación de retardos

La variación de retardos se incluye generalmente como parámetro de calidad de funcionamiento. En los servicios que son muy intolerantes a la variación de retardos, casi siempre se tomarán medidas para eliminar (o al menos reducir significativamente) dicha variación mediante el almacenamiento en memoria, con lo que se elimina efectivamente la variación de retardos percibida por el usuario (a pesar de que haya que añadir más retardos fijos) (UIT-T, 2001).

2.9.3 Pérdida de información

La pérdida de información (voz, imagen, vídeo o datos) tiene un efecto muy directo en la calidad de la información que se presenta al usuario. En este contexto, la pérdida de información no se limita a los errores de bit o a la pérdida de paquetes durante la transmisión, sino también a los efectos de cualquier degradación introducida por la codificación del medio para conseguir una transmisión más eficaz (por ejemplo, el uso de códecs vocales de baja velocidad binaria para la voz).

La tabla 2.2, muestra una clasificación general del audio en cinco niveles de calidad de audio necesarios para diversos servicios.

Tabla 2. 2 Criterios de funcionamiento en audio

Criterios de funcionamiento para diferentes aplicaciones		
Audio	Voz en conversación	El tiempo de transmisión en un sentido afecta enormemente la voz en conversación. Este retardo tiene dos efectos claramente diferenciados: el primero es la creación de eco en las conversaciones de dos a cuatro hilos e incluso el acoplamiento acústico en el terminal. Esto causa degradaciones cada vez más importantes en la calidad de la voz con retardos de una magnitud de décimas de milisegundos, por lo que hay

		<p>que tomar medidas de control del eco (aplicación de canceladores, etc. El segundo efecto se produce cuando el retardo aumenta hasta un punto en que empieza a afectar la dinámica de la conversación, o sea cuando se percibe un retardo en la respuesta de la otra parte en la conversación. Esto se produce con retardos de una magnitud de varios cientos de milisegundos.</p> <p>Ahora bien, el oído humano tiene muy poca tolerancia a la variación de retardos con fluctuación de fase de corta duración. En la práctica, en todos los servicios vocales hay que eliminar la variación de retardos debida a la variabilidad de los tiempos de llegada de los paquetes entrantes mediante una memoria de eliminación de la fluctuación de fase.</p> <p>Las necesidades relativas a la pérdida de información dependen del hecho de que el oído humano tolera hasta cierto grado la distorsión de la señal vocal. En los sistemas de transmisión con IP, una fuente primaria de degradación de la calidad de la voz es la aplicación de códecs de compresión de la voz de baja velocidad binaria y su funcionamiento en condiciones de pérdida de paquetes.</p>
	Mensajería vocal	<p>Las necesidades en materia de pérdida de información son iguales a la de la voz en conversación (dependen del codificador de la voz), salvo una diferencia muy importante, que estriba en que el retardo se tolera mejor puesto que no hay conversación directa. Entonces, el problema principal es determinar la tolerancia al retardo en el periodo comprendido entre el momento en que el usuario pronuncia la orden de volver a pasar un mensaje vocal y el comienzo efectivo del audio.</p> <p>Los estudios relacionados con la aceptabilidad del retardo estímulo-respuesta en los servicios de telecomunicación indican que un retardo de una magnitud de unos pocos segundos parece razonable para esta aplicación. De hecho, se puede distinguir entre grabación y reproducción porque casi siempre la reacción del usuario ante la reproducción es un requisito más estricto.</p>
	Audio en tiempo real	<p>Se espera que el audio en tiempo real proporcione mejor calidad que la telefonía convencional, por lo que las necesidades en materia de pérdida de información en función de la pérdida de paquete serán más estrictas. Pero al igual que en la mensajería vocal, como no hay un elemento de conversación y necesidades de retardo, los requisitos del tren de audio pueden ser menos estrictos, incluso menos estrictos que los de la mensajería vocal, si bien hay que aplicar correctamente los mecanismos de control.</p>

Fuente: (UIT-T, 2001) elaborado por autor

En la tabla 2.3 se muestra una clasificación general del medio; vídeo en dos aplicaciones.

Tabla 2. 3 Parámetros de calidad de vídeo necesarios para diversos servicios

Criterios de funcionamiento para dos aplicaciones		
Video	Videotelefonía	Se refiere aquí a un sistema dúplex que transporta vídeo y audio para entornos de conversación. Por lo tanto, se debe asegurar ningún eco y efecto mínimo en la dinámica de la conversación, con el requisito adicional de que tanto el audio como el vídeo deben estar sincronizados

		para proporcionar la "sincronización con los labios". El ojo humano tolera alguna pérdida de información, de manera que la pérdida de paquete es aceptable hasta cierto grado. Se espera que los últimos códecs vídeo MPEG-4 proporcionen una calidad de vídeo aceptable con velocidades de borrado de trama de hasta 1%.
	Vídeo en un sentido	La característica que diferencia vídeo en un sentido es que no interviene ningún elemento de conversación, de forma que los requisitos de retardo no serán tan estrictos y pueden ser iguales a los del audio en tiempo real.

Fuente: (UIT-T, 2001) elaborado por autor

La tabla 2.4 muestra calidad de funcionamiento para aplicaciones en a/v.

Tabla 2. 4 Calidad de funcionamiento para las aplicaciones audio y vídeo

Medio	Aplicación	Grado de simetría	Velocidades de datos típicas	Parámetros clave y valores de objetivo para la calidad de funcionamiento			
				Tiempo de transmisión en un sentido	Variación de retardos	Pérdida de información (Nota 2)	Otros
Audio	Voz en conversación	Dos sentidos	4-64 kbit/s	Preferido < 150 ms (Nota 1) Limite < 400 ms (Nota 1)	< 1 ms	Relación de pérdida de paquete (PLR) < 3%	
Audio	Mensajería vocal	Principalmente en un sentido	4-32 kbit/s	< 1 s para reproducción < 2 s para grabación	< 1 ms	PLR < 3%	
Audio	Audio en tiempo real de gran calidad	Principalmente en un sentido	16-128 kbit/s (Nota 3)	< 10 s	<< 1 ms	PLR < 1%	
Vídeo	Videoteléfono	Dos sentidos	16-384 kbit/s	Preferido < 150 ms (Nota 4) Limite < 400 ms		PLR < 1%	Sinc. labios: < 80 ms
Vídeo	Un sentido	Un sentido	16-384 kbit/s	< 10 s		PLR < 1%	

NOTA 1 – Se supone el control de eco adecuado.
NOTA 2 – Los valores exactos dependen del códec específico, pero se supone el uso de un algoritmo de ocultación de pérdida de paquete para minimizar el efecto de esa pérdida.
NOTA 3 – La calidad depende mucho del tipo de códec y de la velocidad binaria.

Fuente: (UIT-T, 2001)

La tabla 2.5 muestra la descripción de operación para diez aplicaciones.

Tabla 2. 5 Descripción de funcionamiento para diversos servicios

Criterios de funcionamiento para diferentes aplicaciones		
Datos	Navegación	Se refiere a la extracción y consulta del componente HTML de una

en la Web	página Web. Desde el punto de vista del usuario, la calidad de funcionamiento es la rapidez con que se presenta la página una vez solicitada. Se aceptan retardos de varios segundos, pero no superiores a 10 segundos.
Gran volumen de datos	Incluye la transferencia de archivos, es razonable suponer que la tolerancia al retardo será un poco mayor que la correspondiente a una sola página Web.
Audio en tiempo real	Se espera que el audio en tiempo real proporcione mejor calidad que la telefonía convencional, por lo que las necesidades en materia de pérdida de información en función de la pérdida de paquete serán más estrictas. Pero al igual que en la mensajería vocal, como no hay un elemento de conversación y necesidades de retardo, los requisitos del tren de audio pueden ser menos estrictos, aún así hay que aplicar correctamente los mecanismos de control.
Transacciones de alta prioridad (comercio electrónico)	El principal requisito de calidad de funcionamiento es proporcionar al usuario la sensación de que la transacción se está realizando sin problemas, y conviene que el retardo no sea mayor que unos pocos segundos.
Modo dirigido/control	El modo dirigido/control implica límites muy estrictos de retardo permisible, muy inferiores a un segundo. Es un elemento diferenciador para los servicios voz en conversación y vídeo con requisitos de retardo bajo muy semejante es la tolerancia nula a la pérdida de información.
Imagen fija	En esta categoría hay varios formatos de codificación, algunos de los cuales pueden tolerar la pérdida de información puesto que las imágenes son vistas por el ojo humano. No obstante, dado que hasta un error de un bit puede causar enormes perturbaciones en otros formatos de imagen fija, se aduce que esta categoría debería tener, en términos generales, una pérdida de información nula. Pero los requisitos de retardo para la transferencia de imagen fija no son estrictos y pueden ser comparables a los de la transferencia de gran volumen de datos, ya que la imagen tiende a componerse a medida que se la recibe, lo que proporciona una indicación de que la transferencia de datos está en proceso.
Juegos interactivos	Los requisitos de los juegos interactivos dependen del juego, pero es evidente que las aplicaciones muy intensivas exigirán retardos muy cortos, de una magnitud de fracción de segundo, como corresponde a las aplicaciones interactivas intensivas.
Telnet	Telnet se incluye aquí con el requisito de un retardo corto de una fracción de segundo para proporcionar fundamentalmente el retorno instantáneo de caracteres con eco.
Correo electrónico (acceso al servidor)	Es un servicio de almacenamiento y retransmisión que, en principio, puede tolerar retardos de varios minutos e incluso horas. No obstante, es importante diferenciar las comunicaciones entre el usuario y el servidor local de correo electrónico y la transferencia entre servidores. Cuando el usuario se comunica con el servidor local de correo, hay una expectativa de que el correo se transmita en unos pocos segundos.
Mensajería	La mensajería instantánea también puede incluir audio, vídeo e

	instantánea	imagen. En cualquier caso, a pesar del nombre, no se trata de una comunicación en tiempo real en el sentido de voz en conversación, y se aceptan retardos de varios segundos.
--	-------------	---

Fuente: (UIT-T, 2001)elaborado por autor

En la tabla 2.6 la calidad de funcionamiento y sus parámetros para datos.

Tabla 2. 6 Calidad de funcionamiento para las aplicaciones de datos

Medio	Aplicación	Grado de simetría	Velocidades de datos típicas	Parámetros clave y valores de objetivo para la calidad de funcionamiento		
				Tiempo de transmisión en un sentido (Nota)	Variación de retardos	Pérdida de información
Datos	Navegación en la web – HTML	Principalmente un sentido	~10 KB	Preferido < 2 s/página Aceptable < 4 s/página	N.A.	Nula
Datos	Transferencia/recuperación de gran volumen de datos	Principalmente un sentido	10 KB-10 MB	Preferido < 15 s Aceptable < 60 s	N.A.	Nula
Datos	Servicios de transacciones de alta prioridad, como comercio electrónico, ATM	Dos sentidos	< 10 KB	Preferido < 2 s Aceptable < 4 s	N.A.	Nula
Datos	Medio dirigido/control	Dos sentidos	~ 1 KB	< 250 ms	N.A.	Nula
Datos	Imagen fija	Un sentido	< 100 KB	Preferido < 15 s Aceptable < 60 s	N.A.	Nula
Datos	Juegos interactivos	Dos sentidos	< 1 KB	< 200 ms	N.A.	Nula
Datos	Telnet	Dos sentidos (asimétrico)	< 1 KB	< 200 ms	N.A.	Nula
Datos	Correo electrónico (acceso a servidor)	Principalmente un sentido	< 10 KB	Preferido < 2 s Aceptable < 4 s	N.A.	Nula
Datos	Correo electrónico (transferencia de servidor a servidor)	Principalmente un sentido	< 10 KB	Puede ser varios minutos	N.A.	Nula

Fuente: (UIT-T, 2001)

2.10 Calidad de Servicio (QoS) para LTE

La Calidad de Servicio es la capacidad que tiene la red para ofrecer mejoras en el servicio de cierto tipo de tráfico. La arquitectura de LTE

soporta un “*hard QoS*” con calidad de servicio de punta a punta y un *bit rate* garantizado **GBR** (*Guaranteed Bit Rate*) para los radio portadores.

Los flujos de QoS son llamados portadores EPS, los cuales manejan el tráfico en el plano usuario y el P-GW, y provee soporte para los TFT (Traffic Flow Templates). Para cada portadora LTE se asigna un IP QoS.

Uno de los mecanismos mediante el cual se ofrece QoS, es establecer una regulación para garantizar una velocidad de transmisión de datos. Esto se logra mediante los parámetros de calidad de servicio:

- ✚ GBR: identifica la tasa de bits que se garantizará al portador.
- ✚ NGBR (Non-Guaranteed Bit Rate): establece las conexiones IP.
- ✚ QCI (QoS Class Identifier): relacionado con los valores de prioridad, retardo y pérdida de datos.
- ✚ ARP (Allocation and Retention Priority): hace referencia a la prioridad de datos en contraste con otros y proporciona bases para el control en situaciones de congestión.
- ✚ MBR (Maximum Bit Rate): referente a la tasa máxima de bits del portador.
- ✚ AMBR (Aggregate Maximum Bit Rate): señala la tasa máxima a la cual un usuario puede realizar y mantener una conexión PDN (Packet Data Network), ya que un solo portador puede tener muchos flujos IP).

Un ejemplo para GBR son: VoIP, video llamada, streaming, juegos a tiempo real, entre otros. Y para NGBR son: las aplicaciones con TCP (Transmission Control Protocol), tales como: emails, descarga de archivos, navegación en Internet.

2.10.1 QoS para servicios de voz por LTE

La recomendación de QoS para voz por LTE (UIT-T E.800), muestra los elementos principales de la red (señalización y los elementos de medios, así como las conexiones con RTPC o plataformas móviles) y sus degradaciones. Desde el punto de vista de un cliente (QoS requerida y percibida, como se define en UIT-T G.1000), las degradaciones se dividen en las siguientes categorías:

Calidad de funcionamiento de sesión de llamada:

- Problemas de registro al servicio (IMS/SIP).
- Problemas de establecimiento de la llamada (mala accesibilidad).
- Continuidad fallida (o retenibilidad), incluida repercusión de movilidad (traspasos radioeléctricos y eventos SRVCC (*Single Radio Voice Call Continuity*)). (Telecomhall, 2015)

Calidad vocal percibida durante la llamada (integridad):

- Contenido de frecuencia. Se refiere al espectro vocal de señales presentadas a usuarios finales [**NB** (*Narrow-Band*), **WB** (*Wide-Band*), y/o **SWB** (*Super-Wide-Band*)] y sus posibles distorsiones. (Joskowicz, 2017)
- Interrupciones. Afecta a todos los eventos cuyo resultado es un recorte de la señal de voz durante la conversación.
- Demora de extremo a extremo (repercusión sobre interactividad de conversación).
- Presencia de ruidos no deseados, de cualquier origen.

En la Figura 2.15 se muestran las degradaciones QoS (en cuadros color rosado) que más aparecen en una llamada VoLTE (*Voice over LTE*).

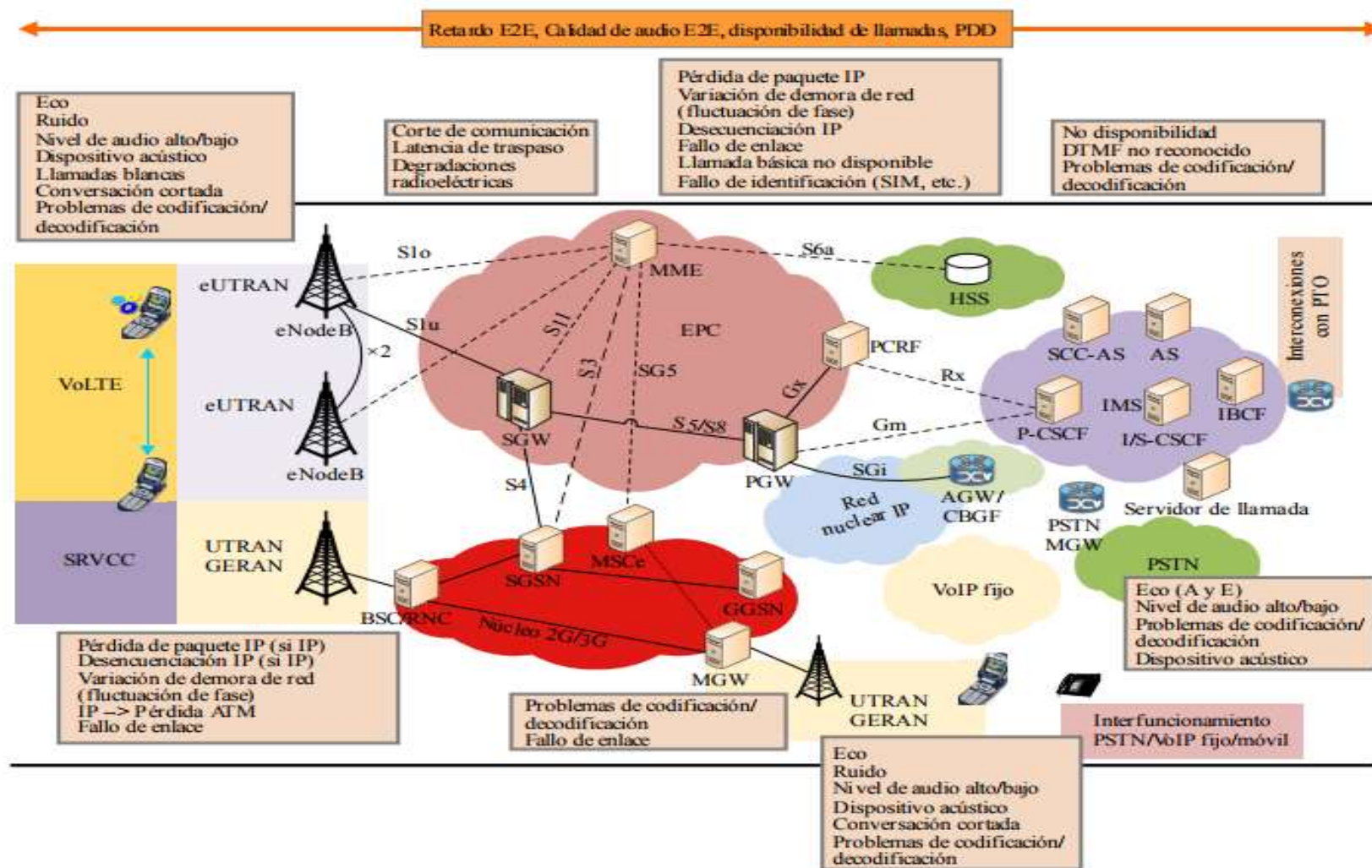


Figura 2. 15 Degradaciones típicas de comunicaciones VoLTE

Fuente: (UIT-T, 2001)

VoLTE también puede repercutir a otros servicios o funcionalidades del dispositivo. Por ejemplo:

- ✚ La calidad de funcionamiento de transferencia de datos puede verse influida si se utiliza VoLTE en la misma célula;
- ✚ La autonomía de batería puede ser fundamental si al utilizar una aplicación en concreto (en este caso VoLTE) se consume demasiada energía.

Para describir, monitorizar y resolver esos problemas de QoS que sufren los clientes deben realizarse métricas coherentes.

2.10.2 Indicadores importantes y objetivos de calidad

Los indicadores importantes desde la perspectiva de extremo a extremo, que percibe un usuario final ubicado bajo una cobertura de red 4G de conformidad con VoLTE y llamadas de origen se aprecian en la tabla 2.7, junto con los posibles indicadores fundamentales de rendimiento IFR (*Instrument Flight Rules*) de red de contribuyente. Véase la tabla 2.7.

Tabla 2. 7 Indicadores de extremo a extremo que percibe el usuario

Indicadores de extremo a extremo	Definición	IFR de red IP
Tasa de registros exitosos	Tasa de intentos de registro exitosos en el servicio VoLTE. Equivalente a tasa de registros IMS exitosos como se define en [ETSI TR 103 219].	Tasa de registros exitosos IFR relativos a IMS y basados en contadores P-CSCF. Equivalente a 1 – Tasa de tentativa de registro ineficaz (IRA) como se define en [IETF RFC 6076].
Disponibilidad de servicio	Disponibilidad de servicio de extremo a extremo en cuanto a capacidad para establecer llamadas de y a cliente VoLTE. Equivalente a 1 – Tasa de establecimiento de sesión VoLTE fallida como se define en [ETSI TR 103 219]. Equivalente a 1 – no accesibilidad a servicio de telefonía como se define en [UIT-T E.804] (cláusula 7.3.6.1).	Tasa de eficiencia de red Mide la habilidad de red, desde el punto de vista de plataforma de servicio, para ofrecer llamadas al cliente VoLTE. Basándose en protocolo SIP, la tasa de errores de red (NER) es equivalente a la tasa de eficacia de establecimiento de sesión (SEER), como se define en [IETF RFC 6076].

Demora después de marcar	Intervalo de tiempo (en segundos) entre el final de la marcación del llamante y la recepción que recibe del tono de llamada adecuado o anuncio registrado. Equivalente a tiempo de establecimiento de llamada, como se define en [UIT-T E.800]. Equivalente a tiempo de establecimiento de llamada telefónica, como se define en [UIT-T E.804] (cláusula 7.3.6.2).	Tiempo de establecimiento de sesión SIP Intervalo entre enviar mensaje INVITE (con SDP) y mensaje ACK (180 o 200) del extremo de origen. Equivalente a demora de solicitud de sesión exitosa (SRD), como se define en [IETF RFC 6076].
Calidad de voz (MOS-LQ)	Equivalente a calidad vocal, como se define en [UIT-T P.10]. Los modelos como los definidos en [UIT-T P.862] y [UIT-T P.863] ofrecen una visión objetiva de la calidad de la señal de voz como la puede percibir el cliente. Puede verse como llamada o como muestra (véase [UIT-T E.804] cláusulas 7.3.6.3 y 7.3.6.4).	Índice de calidad de red ([UIT-T G.107], [UIT-T P.564]) Tasa de pérdida de paquetes IP (véase definición de tasa de pérdida de paquetes de Internet (IPLR) en [UIT-T Y.1540]): diversos puntos de medición posibles.
Demora de boca a oído	El tiempo que tarda la señal de voz desde la boca del hablante al oído del oyente.	Demora de transferencia de paquetes IP (véase definición de retardo de transferencia de paquetes de Internet (IPTD) en [UIT-T Y.1540]). Recorrido entre E/R Corresponde aproximadamente al doble de demora de extremo a extremo. Puede medirse a partir de mensajes de protocolo RTCP.
Tasa de cortes de comunicación	Continuidad de servicio en cuanto a capacidad para mantener llamadas a su extremo normal. Equivalente a tasa de corte de las comunicaciones telefónicas, como se define en [UIT-T E.804] (cláusula 7.3.6.5).	Tasa de compleción de sesión IFR relativos a IMS y basados en contadores P-CSCF. Equivalente a tasa de compleción de sesión (SCR), como se define en [IETF RFC 6076].
Ancho de banda vocal (NB, WB o SWB)	Medición de ancho de banda utilizado (NB o WB normal, o incluso limitación de ancho de banda parcial y no deseada).	Estadística de códec Información relativa a la selección de (AMR y AMR WB) códec y modos de códec, así como conmutación entre ellos, accesible en mensajes de protocolo SIP.

Fuente: (UIT-T, 2001) elaborado por autor

El concepto de QoS toma importancia cuando es necesaria la diferenciación de servicios y usuarios. En este sentido, los mecanismos de QoS deben permitir al operador ofrecer, por un lado, un acceso diferenciado a cada uno de los servicios, puesto que estos tienen

diferentes requisitos de desempeño, como ancho de banda y retardo, y por otro lado, una diferenciación de usuarios, es decir, diversificar el trato por grupos de clientes para el mismo servicio, como por ejemplo diferenciar abonados pre-pago de los post-pago en el acceso a Internet (Rueda & Vargas, 2013) & (Llanos & Yengle, 2013)

2.10.2.1 Clases de QoS desde la perspectiva del usuario

No hay definiciones estándar de satisfacción del usuario para aplicaciones multimedia. Sin embargo, es común medir la satisfacción del usuario por ejemplo, un usuario de VoIP por el número de cuadros perdidos y retrasados. Para usuarios de videos conversacionales, usar la misma métrica aún puede justificarse por el requisito de sincronización con el servicio de voz. Investigadores al respecto establecen una relación entre la tasa de bits, la tasa de retraso/pérdida y la calidad de video subjetiva.

A los usuarios les interesan aquellos aspectos de calidad que pueden ser percibidos por ellos y dependen del servicio que se trate, el cual puede verse en la tabla 2.8. (Cuadros, 2014). Así, un usuario que navega por Internet percibe la QoS, principalmente por el tiempo que transcurre para que una página web se despliegue totalmente después de hacer la petición.

Técnicamente, esta duración depende de una compleja interacción de factores, tales como: el ancho de banda, el retardo y la tasa de error de bits (BER, Bit Error Rate). Por lo tanto, uno de los conceptos clave asociados con QoS en las redes LTE-Advanced, es la clasificación de servicios en clases. Cada una de las clases de servicios forma un flujo de paquetes, al cual se le asignarán los recursos de la red según las exigencias del servicio. Desde la perspectiva del usuario, la clasificación QoS para los servicios según la ITU son cuatro: Conversacional, Interactiva, Streaming y Background. (Rueda & Vargas, 2013)

La clase de servicio conversacional congrega los servicios cuyos requisitos de QoS son más precisos y rigurosos, puesto que dependen directamente de la percepción humana como, por ejemplo, una llamada por voz sobre IP (VoIP). Mientras que la clase de servicio background reúne servicios con requisitos de QoS menores, puesto que el usuario envía y recibe datos en un segundo plano, como por ejemplo, al realizar una transferencia de archivos.

Técnicamente, antes que los paquetes de datos de un servicio sean transmitidos, un filtro se encarga de asociar los flujos de paquetes con una portadora (bearer), la cual recibirá el tratamiento de QoS acorde a la clase de servicio que pertenezca. Cada paquete IP se provee de un encabezado de túnel (tunnel header), compuesto de un identificador de portadora (bearer identifier) y de un valor DSCP (DiffServ Code Point) (Rueda & Vargas, 2013).

Tabla 2. 8 Clases de QoS desde la perspectiva del usuario

Clase de servicio de QoS	Conversacional	Interactiva	<i>Streaming</i>	<i>Background</i>
	Conversación en tiempo real	Clase interactiva al mejor nivel posible	Clase <i>streaming</i> en tiempo real	Clase de <i>background</i> al mejor nivel posible
Características desde la perspectiva del usuario	<ul style="list-style-type: none"> - Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits - Modelo conversacional (estricto y con bajo retardo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Patrón de respuesta a peticiones - Preserva el contenido útil 	<ul style="list-style-type: none"> - Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits 	<ul style="list-style-type: none"> - El destino no espera los datos dentro de un tiempo limitado - Preserva el contenido útil
Ejemplo de la aplicación	- Voz	- Navegación en la web	- <i>Vídeo streaming</i>	- Correo electrónico

Fuente: Recomendación (UIT-R, 2003)

El concepto de portadora y el procedimiento de señalización asociado, permiten habilitar la reserva de recursos antes que los flujos de paquetes que se asignan a esa portadora sean admitidos en la red, esto último se realiza a través de una función de control de admisión que opera en un nivel por portadora (Rueda & Vargas, 2013).

Las portadoras pueden ser de dos tipos: de tasa de bit garantizada (GBR, Guaranteed Bit-Rate) y de tasa de bit no garantizada (non-GBR, Non-Guaranteed Bit-Rate). Los servicios que utilicen una portadora GBR pueden asumir que no ocurrirá una pérdida de paquetes asociada con congestión, mientras que los servicios que utilicen una portadora non-GBR deben estar preparados para experimentar la pérdida de paquetes relacionada con la congestión. Una portadora GBR se establece por demanda, puesto que bloquea los recursos de transmisión al reservarlos en la función de control de admisión. (Rueda & Vargas, 2013)

No obstante, una portadora non-GBR puede asignarse por largos períodos de tiempo, ya que no bloquea los recursos de transmisión. La elección de una portadora GBR o non-GBR depende de las políticas de decisión del operador. Ahora bien, una portadora GBR o non-GBR puede ser a su vez una portadora por defecto (default bearer) o una portadora dedicada (dedicated bearer). La portadora por defecto se establece cuando un terminal se enlaza con la red proporcionando una conectividad básica y puede permanecer por largos periodos de tiempo, por lo cual generalmente se asocia con una portadora non-GBR (Rueda & Vargas, 2013).

El nivel de QoS de la portadora por defecto se asigna sobre los datos de suscripción. Entre tanto, una portadora dedicada puede ser una portadora GBR o non-GBR dependiendo de la asignación del operador para proporcionar QoS acorde a la política y función de carga de recursos (PCRF, Policy and Charging Resource Function). Para proveer diferente QoS a uno o más flujos de paquetes de un mismo terminal, se necesitan una o más portadoras dedicadas (3GPP TS. 23.203, 2011). & (Rueda & Vargas, 2013)

2.10.3 Mecanismos de QoS

Se pueden dividir en procedimientos de señalización del plano de control y funciones del plano de usuario.

Procedimientos de señalización del plano de control

El controlador de las políticas en la red determina como cada flujo de paquetes para cada usuario, debe manipularse en términos de los parámetros de QoS asociados con el manejo de ese flujo de paquetes. El controlador de políticas puede emitir reglas de políticas y control de carga (PCC, Policy and Charging Control) al gateway, que a su vez son utilizadas como disparadores para establecer nuevas portadoras o modificar una existente para manejar un flujo de paquetes específicos o modificar el manejo de los mismos. El flujo de paquetes es descrito por el filtro de ellos en el UL o DL. La solicitud de nivel de portadora es enviada a la LTE RAN y si es admitido por todos los nodos de la red al terminal (3GPP TS. 23.203, 2011) & (Rueda & Vargas, 2013).

Funciones del plano de usuario

La configuración de los nodos de la red (tanto a través de procedimientos de señalización y mediante un sistema de operación y mantenimiento del operador), les permite llevar a cabo funciones de QoS. Estas funciones pueden ser asignadas a los diferentes nodos y clasificadas en funciones que operan por flujo de paquetes, por portadora (o grupo de ellas), o por DSCP (3GPP TS. 23.203, 2011) & (Rueda & Vargas, 2013).

El objetivo del 3GPP es definir un marco de control de políticas independiente del acceso, con el objetivo de estandarizar la QoS y los mecanismos de políticas para despliegues de múltiples proveedores que permitan a los operadores proporcionar servicios y diferenciación de suscriptores. Los estándares 3GPP explican cómo construir rutas de transmisión entre el equipo de usuario (UE) y la red de datos de paquetes externos (PDN) con QoS bien definida. Para este fin, el 3GPP ha definido un extenso "modelo portador" para implementar QoS.

2.10.3.1 Modelo de portador

Un "portador" es el elemento de separación de tráfico básico que permite el tratamiento diferencial para el mismo con diferentes requisitos de QoS. Los portadores proporcionan una lógica, borde a borde vía de transmisión con QoS definida entre el equipo de usuario (UE) y la pasarela de red de datos por paquetes (PDN-GW).

Cada portador está asociado con un conjunto de parámetros de QoS que describen las propiedades del canal de transporte, que incluyen tasas de bits, retardo de paquetes, pérdida de paquetes, tasa de errores de bits y política de programación en la estación base de radio.

Un portador tiene dos o cuatro parámetros de QoS, dependiendo de si se trata de un servicio en tiempo real o mejor esfuerzo:

- ✚ Indicador de clase QoS (QCI)
- ✚ Prioridad de asignación y retención (ARP)
- ✚ Tasa de bits garantizada (GBR) - solo servicios en tiempo real
- ✚ Velocidad máxima de bits (MBR): solo servicios en tiempo real

El QCI especifica el tratamiento de los paquetes IP recibidos en un portador específico. El reenvío de paquetes de tráfico que atraviesa un portador es manejado por cada nodo funcional (por ejemplo, un PDN-GW o eNodeB). Los valores de QCI impactan varios parámetros específicos del nodo, como la configuración de la capa de enlace, los pesos de programación y la administración de colas.

El grupo 3GPP ha definido una serie de tipos de QCI estandarizados, que se resumen en la Tabla 2.9 y 2.10. Para las primeras implementaciones, la mayoría de los operadores probablemente comenzarán con tres clases de servicios básicos: voz, señalización de control y datos de mejor esfuerzo. En el futuro, los portadores dedicados que ofrecen servicios premium, como video conversacional de alta calidad, pueden introducirse en la red.

Tabla 2. 9 Atributos de QCI estandarizados 3GPP

QCI	Tipo de recurso	Prioridad	Presupuesto de demora de paquete	Tasa de pérdida de error de paquete	Ejemplo de servicios
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	Voz conversacional
2		4	150ms	10^{-3}	Video conversacional (transmisión en vivo)
3		3	50ms	10^{-3}	Juegos en tiempo real
4		5	300ms	10^{-5}	Video sin conversación (transmisión en búfer)

Fuente: (3GPP TS. 23.203, 2011). Elaborado por el autor

Tabla 2. 10 Atributos de QCI estandarizados 3GPP

QCI	Tipo de recurso	Prioridad	Presupuesto de demora de paquete	Tasa de pérdida de error de paquete	Ejemplo de servicios
5	Non-GBR	1	100ms	10^{-3}	Señalización IMS
6		6	300ms	10^{-5}	Video (transmisión en búfer) Basado en TCP (por ejemplo, www, correo electrónico, chat, uso compartido de archivos FTP P2P, video progresivo, etc.)
7		7	100ms	10^{-5}	Voz, video (transmisión en vivo), juegos interactivos
8		8	300ms	10^{-3}	Video (transmisión en búfer)
9		9	300ms	10^{-5}	Basado en TCP (por ejemplo, www, correo electrónico, chat, uso compartido de archivos FTP P2P, video progresivo, etc.)

Fuente: (3GPP TS. 23.203, 2011). Elaborado por el autor

Prioridad de asignación y retención

Los estándares 3GPP proporcionan mecanismos para bajar o degradar a los portadores de menor prioridad en situaciones donde la red se congestiona. Cada portador tiene una asignación asociada y prioridad de retención (ARP), la cual se utiliza en el establecimiento de portadores, y puede convertirse en un parámetro particularmente importante en situaciones de traspaso en las que un abonado móvil vaga por una celda que está muy congestionada. La red examina el ARP al determinar si se pueden establecer nuevos portadores dedicados a través de la estación base de radio (RYSAVY , 2015).

Tasa de bits garantizada y portadores no GBR

Los estándares 3GPP proporcionan mecanismos para bajar o degradar la prioridad más baja a portadores en situaciones donde la red se congestiona. Existen dos tipos principales de portadores: tasa de bits garantizada y tasa de bits no garantizada. Los portadores GBR se utilizan para servicios en tiempo real, como voz conversacional y video. Un portador GBR tiene una cantidad mínima de ancho de banda reservada por la red y siempre consume recursos en una estación base de radio, independientemente de si se utiliza o no. Si se implementan correctamente, los portadores GBR no deberían experimentar pérdida de paquetes en el enlace de radio o la red IP debido a la congestión. Los portadores de GBR también se definirán con tolerancias de latencia y fluctuación de fase inferiores que normalmente requieren los servicios en tiempo real.

Los portadores que no son GBR no tienen una asignación de ancho de banda de red específica, y son para servicios de mejor esfuerzo, como descargas de archivos, correo electrónico y navegación por Internet.

Estos portadores experimentarán pérdida de paquetes cuando una red está congestionada. Una velocidad de bits máxima para portadores no GBR no se especifica por portador. Sin embargo, se especificará una tasa de bits máxima agregada (AMBR) por suscriptor para todos los portadores que no sean GBR.

2.10.4 Implementación QoS y gestión de políticas

Los múltiples nodos en el acceso EPC y LTE juegan un papel en la implementación de la QoS y la administración de políticas. PCRF es el servidor de políticas en el EPC, y toma la información de red disponible y las políticas configuradas por el operador para crear decisiones de política a nivel de sesión de servicio, conocidas como reglas PCC, y se envían a la función de cumplimiento de políticas y cargos (PCEF) ubicada en el PDN-GW, la cual aplica las decisiones de política estableciendo

portadores, mapeando los flujos de datos de servicio a los portadores, y realizando la vigilancia y conformación del tráfico.

El PDN-GW asigna portadores a la red de transporte subyacente, la cual generalmente estará basada en Ethernet y puede utilizar MPLS. El transporte no tiene conocimiento del concepto de portador y utilizará técnicas de QoS IP estándar, como DiffServ.

El eNodeB es la estación base de radio en LTE y juega un papel crítico en la QoS de extremo a extremo y en la aplicación de políticas, también realiza el control de la velocidad del enlace ascendente y descendente, así como la programación de recursos de radio de RF. Utiliza ARP al asignar recursos de portador. La efectividad de los algoritmos de programación de recursos de radio en eNodeB tiene un tremendo impacto en la calidad del servicio y el rendimiento general de la red (RYSAVY , 2015).

Habrà muchas oportunidades para que los fabricantes de equipos de red NEM (Network Equipment Manufacturers) separen sus productos eNodeB de otros de la competencia, y es algo que los operadores deben vigilar de cerca. El eNodeB, como el PDN-GW, mapea el tráfico del portador a la red de transporte IP subyacente. La UE también desempeña un papel en la política: en la dirección del enlace ascendente, realiza la asignación inicial de los flujos de datos de servicio a los portadores.

El espectro de radio es finito y las ganancias de la eficiencia del espectro mejorado pueden ir tan lejos. Incluso si se aumenta la capacidad, las aplicaciones y el video que consumen mucho ancho de banda eventualmente lo consumirán. Proporcionar una alta calidad de servicio mediante el aprovisionamiento excesivo de la capacidad de la red, eventualmente dejará a las empresas de telecomunicaciones en una desventaja competitiva para los proveedores que ofrecen la misma o mejor calidad de servicio a un menor costo.

Véase en la figura 2.16 esquema de congestión en una estación base en una célula básica de LTE.

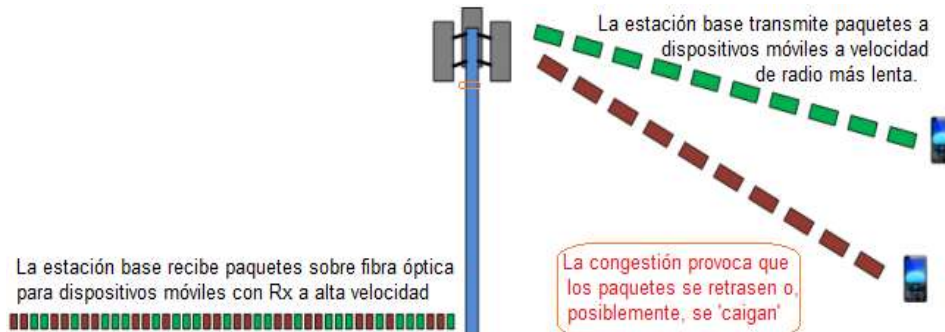


Figura 2. 16. Congestión de paquetes en servicio LTE

Fuente: (RYSAVY , 2015), traducido por autor

Una estrategia de política sólida mantiene el rendimiento de la red durante los picos de tráfico y picos en la demanda de los usuarios, eliminando la necesidad de llevar el exceso de capacidad.

Se espera que la definición detallada y la implementación de políticas se vuelvan más importantes a medida que las redes evolucionan y aumenta la congestión. Las políticas de gestión proactiva, combinadas con otras estrategias de paquetes, como la descarga de red y la calibración de la demanda, ayudarían a las redes con recursos limitados a satisfacer la demanda de servicios *multiplay*.

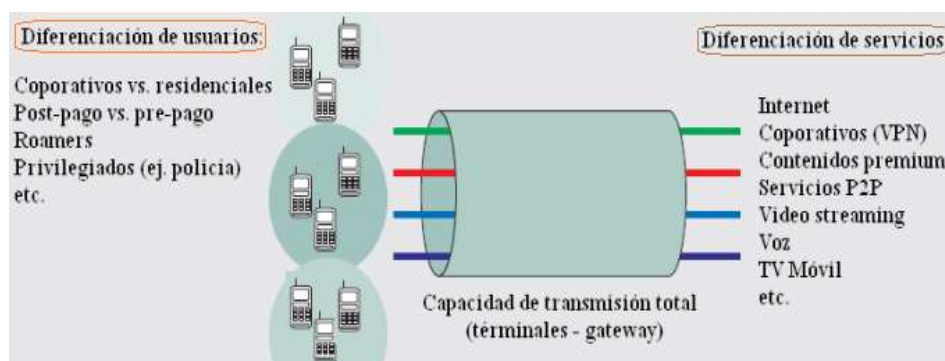


Figura 2. 17 Aplicación de política de diferenciación de servicios en LTE

Fuente: (RYSAVY , 2015)

2.10.5 Criterios cuando la red se diseña

Según recomendación de (ZTE, 2015), se debe probar las siguientes áreas, previa a la implementación:

- ✚ Certificar de que el RAN (Radio Access Network) y el núcleo de la red estén integrados.
- ✚ Medir los **KPI** (*Key Performance Indicators*), incluyendo tasas de datos de enlace descendente y enlace ascendente, **CINR** (*Carrier to Interface Noise Ratio*), **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*), asignación de bloque de recursos, modulación de antena y potencia de transmisión de enlace ascendente.
- ✚ Confirmar la interoperabilidad.
- ✚ Medir la calidad del servicio (rendimiento de latencia y RF).
- ✚ Controlar el rendimiento, incluidas las velocidades de datos.

Los proveedores inalámbricos deben cumplir con los estándares LTE QoS del sistema de paquete evolucionado (EPS) definido por 3GPP. El concepto de QoS proporciona a los operadores de red de acceso un conjunto de herramientas para habilitar el servicio y diferenciación de suscriptores

Como se lo ha mencionado, el elemento central del concepto EPS QoS es el "portador", que es un servicio que permite la transmisión de señales de información entre las interfaces de red. El modelo de control de QoS iniciado por la red, especificado en EPS contiene un conjunto de procedimientos de señalización para gestionar portadores y controlar su QoS asignada por la red. El concepto 3GPP EPS QoS está basado en clases, lo que significa que a cada portador se le asigna un único identificador de clase QoS por parte de la red.

2.10.6 Metodologías para medir la QoS

Existen dos tipos de metodologías para medir la QoS:

1. Medición pasiva: Los paquetes de prueba (uso de paquetes de prueba): se envían desde los sistemas de administración, y las métricas de rendimiento como el retardo, la fluctuación de fase y la pérdida de paquetes se miden a lo largo del camino. Este método también se usa a menudo para solucionar problemas.

Se toma en cuenta las estadísticas de red, los cuales son indicadores calculados con información obtenida al recolectar diversos eventos capturados por los protocolos de comunicación entre los nodos de la red.

Las estadísticas de red pueden medir el desempeño de la red por completo o por sub-unidades geográficas (zonas urbanas, municipios, etc.) o un conjunto de nodos específicos de red o clúster. Esta información entrega una “vista promedio” del desempeño de la red en el periodo de medición de interés.

Estos indicadores presentan ciertas ventajas y desventajas. Por ejemplo, con estadísticas de red se tiene una estimación certera del desempeño promedio de la red o en alguna zona de interés, sin embargo no es posible evaluar la calidad de red a nivel de un usuario final o grupo de estos. Con estadísticas de red tampoco es factible estimar, con alta precisión, las variaciones de un indicador dentro de la zona de cobertura de un nodo en particular. (4G-Americas, 2014)

En consecuencia, es difícil medir la calidad de la cobertura de red en determinadas zonas geográficas. Sin embargo, mediante modelamiento estadístico de los indicadores de red es posible aproximar con exactitud aceptable la experiencia de los clientes en cierto nodo o zona de la red. (4G-Americas, 2014)

2. Medición activa: A través del uso de dispositivos físicos:

Sonda: equipo utilizado para ejecutar diferentes tipos de pruebas simulando el comportamiento de un cliente promedio. Se configura de forma estática, es decir, el dispositivo siempre está localizado en el mismo lugar. Este tipo de sondas son útiles para estimar la calidad de Las

mediciones basadas en estas sondas proporcionan un estado muy preciso de los dispositivos en cualquier momento. (4G-Americas, 2014)

Las fuentes y los sumideros de las sondas pueden ser dispositivos de medición dedicados, enrutadores dedicados a tareas de medición o enrutadores que admiten tanto el tráfico de datos como las sondas de medición. El principal inconveniente de esta medida es que no escala para redes grandes. Esta información puede ser clasificada con gran precisión en diferentes segmentos de clientes (tipo de cobertura, mercado, terminal, etc.). Además, puede ser relacionada con indicadores de satisfacción

Drive Tests: Al igual que las sondas, son dispositivos físicos usados para ejecutar diferentes tipos de pruebas simulando el comportamiento de un cliente promedio, esta vez en movimiento, por ejemplo, conduciendo un automóvil. A diferencia de las sondas, con esta información posible estimar el comportamiento de los indicadores medidos dentro de superficies (recintos cerrados, áreas urbanas, carreteras, etc.).

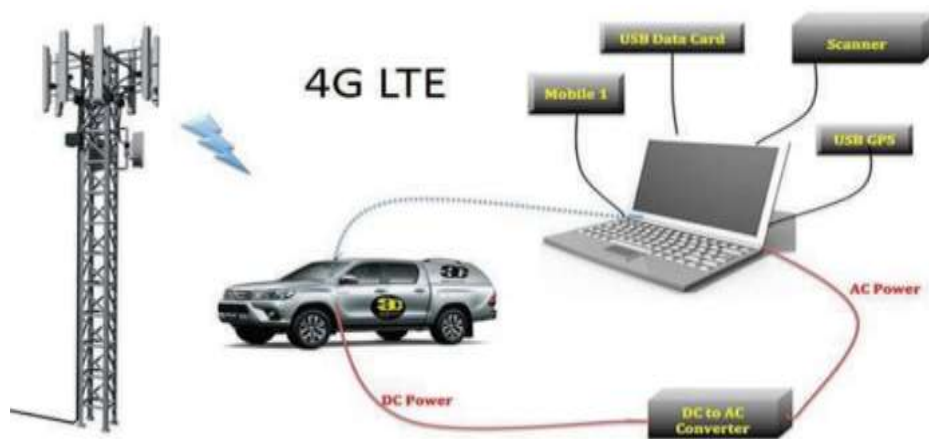


Figura 2. 18 Drive test y sus conexiones

Fuente: (4G-Americas, 2014)

Las pruebas ejecutadas por sondas y Drive-Tests son ejemplos de calidad del flujo completo de los servicios ofrecidos (medición E2E o end-to-end). En consecuencia, esta información es apropiada para la evaluación de diferentes zonas específicas o periodos de tiempo. Al ser esta información

una muestra (en tiempo y cobertura) del desempeño de la red total, es un factor clave el tomar consideraciones en aspectos de confiabilidad estadística, tales como la frecuencia, cobertura espacial y variedad de terminales en los procedimientos de prueba (4G-Americas, 2014).

Aplicaciones de experiencia de usuario

Son aplicaciones a las que los usuarios tienen acceso (de forma gratuita o pagada), las que realizan una serie de pruebas pre-definidas con el objeto de estimar la experiencia de usuario. Generalmente estas pruebas son similares a las realizadas con sondas, con la salvedad de que estas son ejecutadas según los requerimientos del usuario.

La gran ventaja de la información obtenida desde aplicaciones de usuario es la representatividad en las ubicaciones, es decir, a diferencia de las pruebas con sondas, que siguen un esquema arbitrario definido por quien mide, la información de aplicaciones de usuario es capturada en el momento y lugar exactos en que los usuarios hacen uso del servicio de datos. La desventaja de esta clase de mediciones es el sesgo que se puede generar producto de las situaciones que motivan a un usuario a realizar una o varias pruebas consecutivas y la pérdida de control de las condiciones bajo las cuales se realiza la medición.

La información entregada por mediciones de sondas, drive-tests y estadísticas de red, complementada con indicadores de satisfacción de usuario es adecuada para definir el impacto de ciertos indicadores en la satisfacción de usuario, y además, para ajustar la valoración o puntaje en cualquier de esquema de regulación basado en la información al cliente. Algunos de los indicadores entregados por sondas incluyen: medidas de cobertura, velocidad de descarga y subida E2E para múltiples aplicaciones (HTTP, FTP, etc.), velocidad y calidad de navegación web y streaming (Time to Content), latencia, etc. (4G-Americas, 2014).

La Tabla 2.11 resume los aspectos para mediciones del desempeño de una red, la cual refleja las diferencias y ventajas de un método u otro.

Tabla 2. 11 Características de mediciones en la red

	Captura cercana a Experiencia de Usuario	Captura Movilidad de Usuario	Captura Cobertura de Red	Nivel de Confiabilidad Espacial	Nivel de Confiabilidad de Tiempo
KPIs de Red	No	No	No	Total	Total
Sonda	Sí	No	No	Parcial	Total
Drive-Test	Sí	Sí	Sí	Parcial	Parcial
Aplicación de Usuario	Sí	Sí	No	Parcial	Parcial

Fuente: el autor

Los proveedores para acceder a la medición de los parámetros de QoS en varias redes, podrían utilizar uno de los siguientes métodos:

- Cada proveedor acuerda usar un protocolo de medición común y hacer que los puntos de prueba estén disponibles para otros proveedores, permitiendo que las mediciones se realicen a lo largo de la ruta de extremo a extremo.
- Cada proveedor de red usa sus propios métodos y dispositivos de sondeo para recopilar mediciones por proveedor, y estas mediciones se combinan para estimar el rendimiento concatenado de extremo a extremo.

Para poder hacer esto, los parámetros de QoS especificados necesitan ser monitoreados dentro de un marco legal donde las medidas de QoS pueden ser utilizadas para responsabilizar al proveedor de servicios por el desempeño.

Esto puede llevar a la especificación de los parámetros de QoS y a los objetivos deseados vinculados a penalizaciones, en las que un proveedor de servicios puede ser sancionado en consecuencia por el incumplimiento de dichas especificaciones.

Entonces existe la necesidad de llevar a cabo estas mediciones de tal manera que reflejen el desempeño de un proveedor de servicios. Las

mediciones de QoS verdaderamente representativas no solo son críticas para fines regulatorios.

La Recomendación UIT-T E.802 recomienda que, cuando se utilicen muestras en lugar de tráfico real, las mediciones de la QoS proporcionen una precisión de ± 10 como máximo, con un nivel de confianza del 95%. Por ejemplo, si se llevan a cabo 96 mediciones de muestra, hay un nivel de confianza del 95% de que el valor real del parámetro QoS se encuentra dentro de un rango de ± 10 .

2.10.7 Propuesta de parámetros a evaluarse

Se muestra en la tabla 2.12 una breve propuesta de parámetros a evaluar durante las pruebas de ciertas aplicaciones en una red LTE. Cabe recordar que los valores de referencia a obtenerse deben lograr valores mínimos dados por 3GPP en tablas 2.9 y 2.10

Tabla 2. 12 Ejemplos de parámetros a ser evaluados

Ejemplo de Pruebas	Parámetros técnicos involucrados	Datos involucrados para mediciones	Ejemplo de Niveles a obtenerse
Prueba de descarga de archivos desde un servidor FTP	Parámetros de Cobertura RSRP y RSRQ	Parámetros de Cobertura RSRP y RSRQ, Throughput de DL obtenido	Niveles mínimos de cobertura RSRP y RSRQ en el enlace de bajada que permitan obtener velocidades acordes a LTE
Prueba de carga de archivos desde un servidor FTP	Parámetros de Cobertura RSRP y RSRQ	Parámetros de Cobertura RSRP y RSRQ, Throughput de UL obtenido	Niveles mínimos de cobertura RSRP y RSRQ en el enlace de subida que permitan obtener velocidades acordes a la tecnología LTE
Pruebas de solicitudes realizadas a páginas web	Tiempo de carga de páginas web	Parámetros de Cobertura RSRP y RSRQ, tiempo de carga de páginas web	Niveles mínimos de cobertura RSRP y RSRQ que permitan obtener los menores tiempos de carga

Fuente: autor

2.10.7.1 Consideraciones en procedimiento de medición

Para poder establecer un adecuado procedimiento de medición es necesario revisar varios factores, así como definiciones que se encuentran involucradas en dicho proceso como velocidad de datos, tipos de escenarios, tipos de terminal, nivel de señal mínima requerida, disponibilidad de cobertura, bandas de frecuencia y ancho de banda.

Velocidad de datos: La velocidad de datos es uno de los factores importantes que permiten evaluar el servicio que los operadores de SMA entregan a sus usuarios. La velocidad de datos depende de factores como niveles de cobertura, porcentaje de ocupación de la red, velocidad permitida por el tipo de terminal, entre otros. Por tal motivo, para obtener las velocidades teóricas ofrecidas por la tecnología se considera una red con baja carga de tráfico de datos, es decir, se considera que un único usuario se encuentra conectado a la celda y que en celdas vecinas se tiene nivel de tráfico de datos bajo, por lo que es necesario considerar que las velocidades obtenidas sean inferiores a las teóricas y dependerán de la carga de la red, este aspecto se considerará en el momento del análisis debido a que normalmente la red experimenta horas de alto tráfico, en días laborables y en horario de oficina.

Ambiente de medición: En el entorno/ambiente de medición se localizan tanto factores ambientales como geográficos, debido a que no es lo mismo realizar una medición en un entorno con obstáculos que atenúen la señal o provoquen reflexiones. Así mismo, en un ambiente urbano de una ciudad con inmuebles, y con aumento considerable de densidad de usuarios, los horarios de medición, entre otros aspectos más.

Se deberá indicar que en la actualidad 3GPP ha introducido dos tecnologías complementarias LTE IoT de banda estrecha en la Versión 13: eMTC (comunicación tipo máquina mejorada) y NB-IoT (Internet de las cosas de banda estrecha). Ambos están optimizados para una menor potencia, una cobertura más profunda y una mayor densidad del

dispositivo, mientras que coexisten a la perfección con otros servicios LTE, como la banda ancha móvil común.

En el siguiente capítulo se evaluará la simulación para cobertura de señal LTE en la ciudad de Manta. Este aspecto es importante para asegurar la calidad de servicio en esta tecnología o punto de vista técnico, el punto de vista por parte de los usuarios y el punto de vista por parte de los operadores de la red. Se debe encontrar un punto de equilibrio, considerando brindar las mejores prestaciones de los servicios a los posibles usuarios y esto inicia brindando de forma óptima el servicio en la ciudad de Manta

Capítulo III: Levantamiento de cobertura red LTE para Manta

3.1 Planificación de red

Para el levantamiento de cobertura de red LTE se utilizó tres programas:

- Global Mapper
- Atoll
- Google Earth

En general, el cálculo de la cobertura de una red LTE viene dado por los siguientes parámetros:

- 1) Elección del modelo de propagación
- 2) Parámetros de celdas, transmisores y antenas de la red.
- 3) La distribución de las clases de zonas y su porcentaje con respecto al área total.
- 4) El área definida para realizar el análisis (computation zone)
- 5) Las coordenadas o ubicación de las estaciones base.
- 6) Las especificaciones del terminal.

La cobertura de una red LTE es determinada a través de la potencia recibida por las señales de referencia RSRP (Reference Signal Received Power) en el enlace de bajada. (Perrino, 2013)

En ATOLL, se calcula la mejor potencia de la señal recibida a través de la energía por recurso de elemento (RS EPRE, Reference Signal Energy Per Resource Element)

- **Global Mapper**

El uso de esta herramienta en conjunto con la página Earth explorer, permitió obtener información del área de interés. En la figura 3.1 muestra la ciudad de Manta, sitio escogido para el estudio.

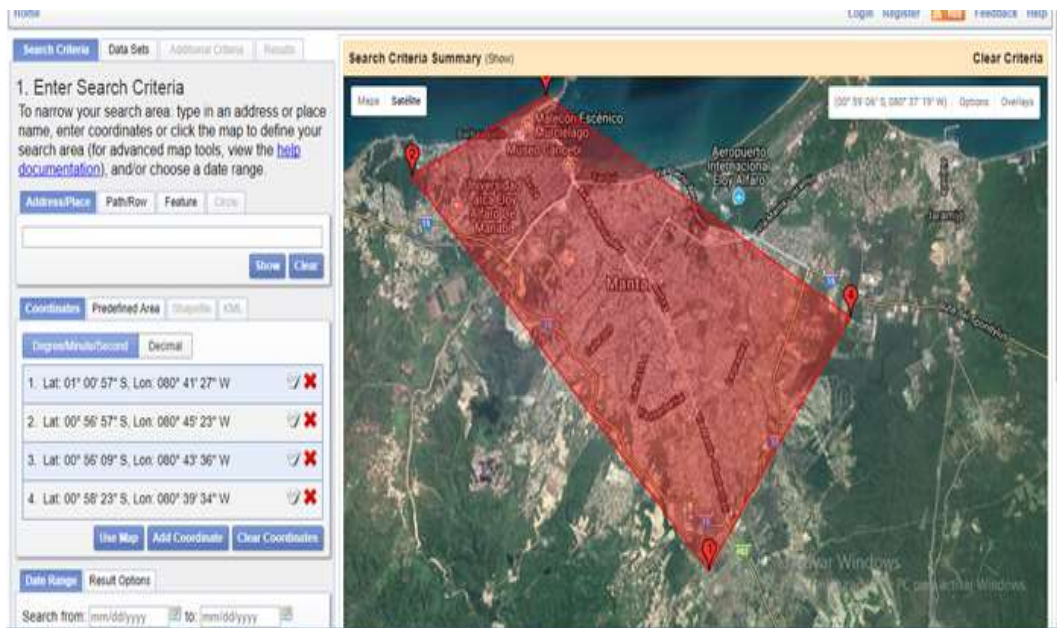


Figura 3. 1 Establecimiento de ubicación de Manta

Fuente: (Global Mapper, 2015)

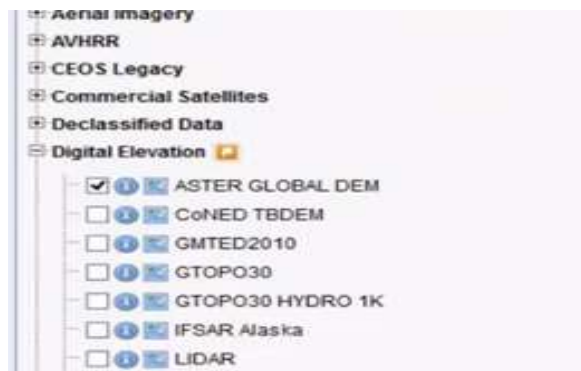


Figura 3. 2 Elección de formato de Mapa

Fuente: El autor

Como se puede ver en la figura 3.2 se establecen 4 puntos. Y a continuación se marcó *data sets*, luego se marca la opción *Aster Global Dem* y se procede a descargar el archivo a utilizar.

Posteriormente, se procede a exportar el archivo a *global mapper*. Pues, en Global Mapper se establece el tipo de proyección y la zona geográfica WGS84. Por tanto, para hacerlo se ejecuta: *tools–configure–Projection*.

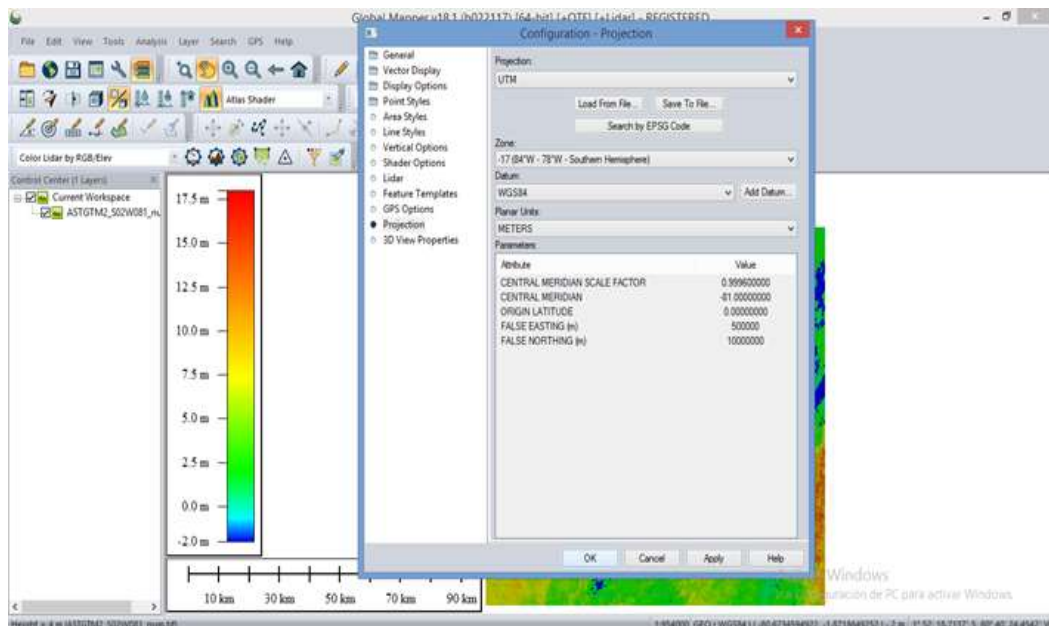


Figura 3. 3 Establecimiento o Zona WGS84

Fuente: El autor

A continuación, se procede a exportar en un formato GRD, como se puede ver en la figura 3.4 donde selecciona la opción Vertical Mapper Grid File.

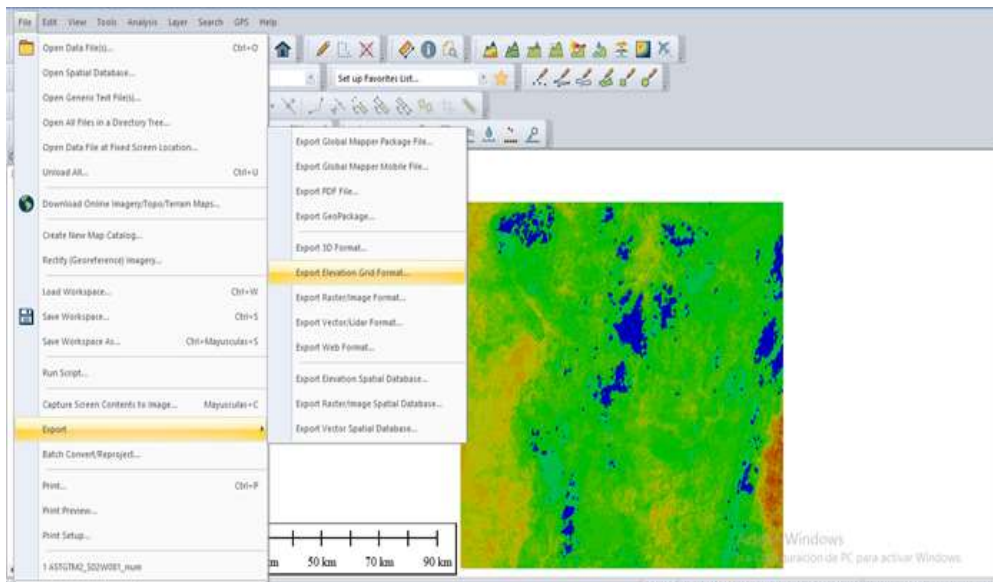


Figura 3. 4 Conversión en formato GRD en Global Mapper

Fuente: El autor



Figura 3. 5 Selección del formato a Exportar

Fuente: El autor

- **Atoll**

A continuación, en la figura 3.6 muestra el entorno de Atoll, que es la herramienta utilizada para la planificación y análisis de las redes inalámbricas.

El primer paso para la planificación es la elección de la plantilla de la red que se va a utilizar. Para hacerlo se seleccionó: File–New–From a document template y luego, la plantilla. Por lo tanto, para el estudio se utilizó la plantilla UMTS/HSPA utilizada para planificar redes 3G y la plantilla LTE utilizada para las redes 4G.

El siguiente paso fue importar el archivo “GRD” a la ventana de Atoll, utilizando el icono *import file*, que se encuentra resaltado en la imagen.

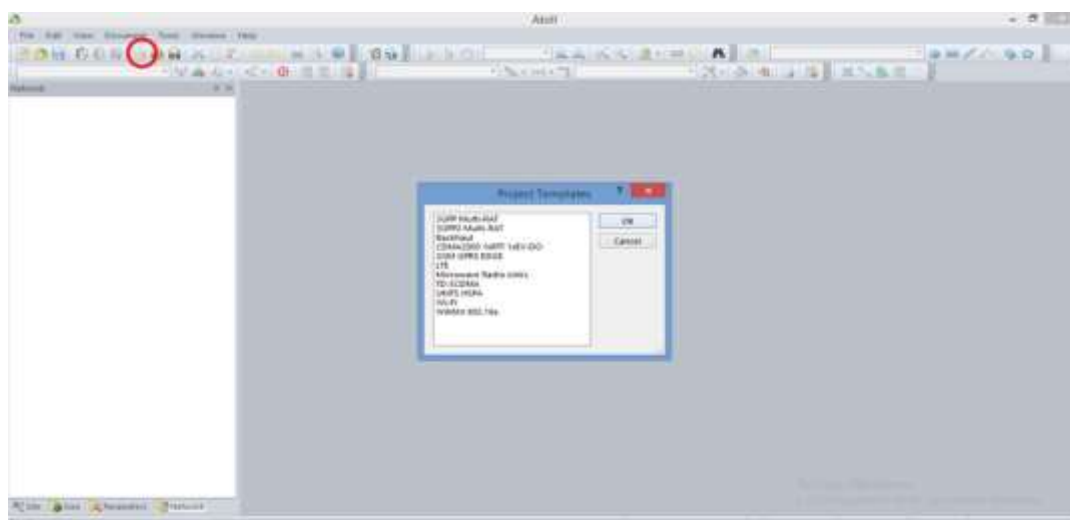


Figura 3. 6 Ventana de trabajo Atoll

Fuente: El autor

Una vez importado el archivo se configuró las coordenadas de la zona de estudio en Atoll. Para hacerlo se seleccionó: Document–poperties, como se puede observar en la figura 3.7.

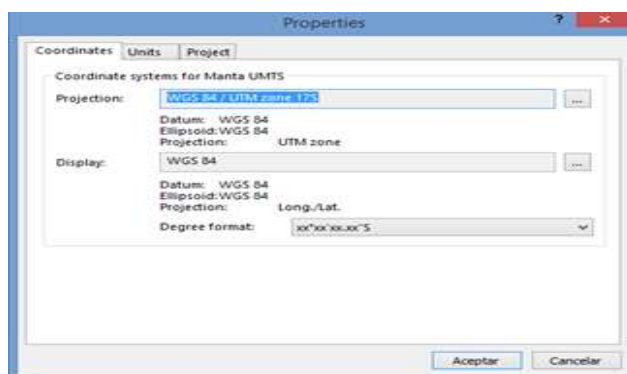


Figura 3. 7 Configuración de Zona WGS84 Atoll

Fuente: El autor

A continuación, se identificó la zona de interés, dado que el mapa que ha importado corresponde a toda una zona y no solo al sector que se escogió en Earth Explorer. La opción Google earth como referencia para dicho estudio y una vez identificada la zona, se utilizó la herramienta *computation zone* ubicada del lado izquierdo para resaltar el área sobre el resto de la zona. Para hacerlo se hizo clic derecho en *computation zone – Draw polygon*.



Figura 3. 8 Establecimiento o zona de Análisis

Fuente: El autor

El proceso antes mencionado, se realiza de forma independiente para cada plantilla con la que se desee trabajar. A partir de este punto se procede a la ubicación de radio base y configuración de estas, de acuerdo a las normas o criterios técnicos del diseñador.

3.2 Análisis de cobertura UMTS/HSPA

Para la elaboración del trabajo de investigación se procedió a crear una plantilla, de acuerdo con las características de nuestra red. Atoll presenta plantilla modelos que sirven de base para la elaboración de las mismas. Para hacerlo se seleccionó: Station Templates–Managment, luego se escogió la plantilla para posteriormente editar. Dado que Manta es un sector urbano se usó como modelo la plantilla Urban (3 sector). Como se puede ver en la figura 3.9, esto permite hacer las configuraciones necesarias de acuerdo al criterio de diseño.

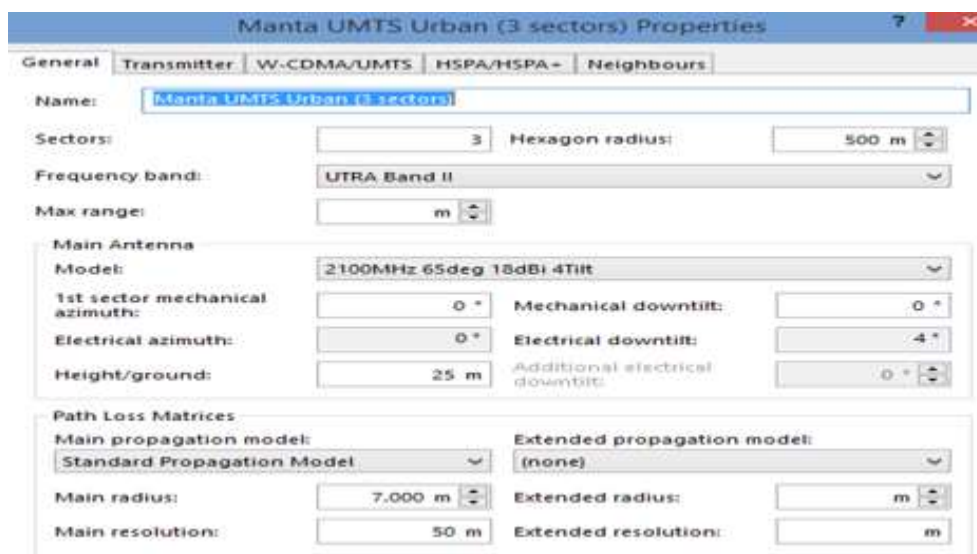


Figura 3. 9 Establecimiento de parámetros en plantilla para sector urbano-Manta

Fuente: El autor

Como se observa en la figura 3.9, el programa permite caracterizar la red en las diferentes pestañas de la ventana. De esta manera, se optó por utilizar radios de 500 metros, dado que aseguran el servicio en sectores urbanos. Además, se escogió la Banda UTRA II que de igual manera

puede ser editada. Para hacerlo se seleccionó: Frequency – Bands y se procedió a editar los valores.

Name	DL Start Frequency (MHz)	First Carrier	Last Carrier	Bandwidth (MHz)	Step
UTRA Band I	2.110	10.562	10.612	5	25
UTRA Band II	1.930	9.662	9.712	5	25
UTRA Band VIII	925	2.937	2.987	5	25

Figura 3. 10 Bandas de Frecuencia para UMTS/HSPA

Fuente: El autor

En la ventana mostrada anteriormente también se puede editar el tipo de antena, el tamaño y se puede configurar la potencia de la misma.

Una vez configurados los parámetros, se guarda los cambios, luego se selecciona la opción resaltada con azul, como se muestra en la figura 3.11 y se utiliza la opción Hexagonal Desing, que se encuentra resaltada con rojo y se procede a trazar sobre el área resaltada y de forma automática aparecerán las radio bases distribuidas simétricamente.

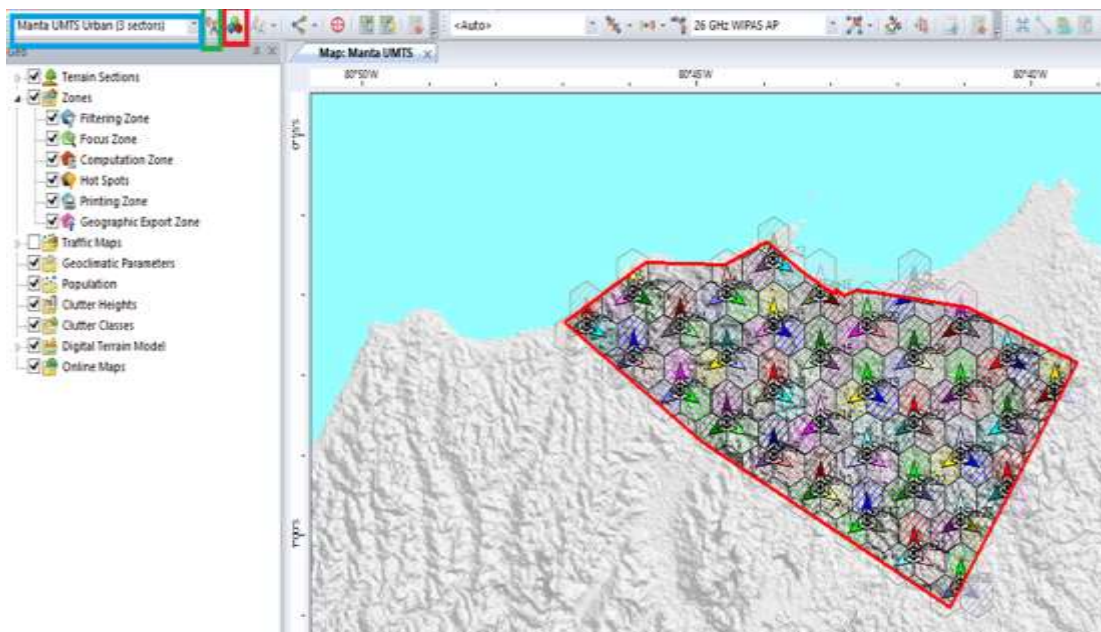


Figura 3. 11 Establecimiento automático de radio bases

Fuente: El autor

Atoll permite ubicar antenas independientemente, sin tener que realizar el proceso antes mencionado, ya sea para dar cobertura a un solo sector o

para mejorar la cobertura la sectorización que se realiza de forma automática.

Tabla 3. 1 Localización de radio bases

Nombre	Longitud	Latitud
Site0	80°46'39,24"W	0°57'22,04"S
Site1	80°45'57,2"W	0°57'46,46"S
Site10	80°43'51,11"W	0°58'10,88"S
Site11	80°43'51,11"W	0°57'22,02"S
Site12	80°43'51,12"W	0°56'33,17"S
Site13	80°43'9,07"W	0°59'24,16"S
Site14	80°43'9,08"W	0°58'35,3"S
Site15	80°43'9,08"W	0°57'46,45"S
Site16	80°43'9,08"W	0°56'57,59"S
Site17	80°42'27,04"W	0°59'48,58"S
Site18	80°42'27,04"W	0°58'59,73"S
Site19	80°42'27,05"W	0°58'10,87"S
Site2	80°45'57,21"W	0°56'57,61"S
Site20	80°42'27,05"W	0°57'22,02"S
Site21	80°41'45"W	1°0'13"S
Site22	80°41'45,01"W	0°59'24,15"S
Site23	80°41'45,01"W	0°58'35,29"S
Site24	80°41'45,02"W	0°57'46,44"S
Site25	80°41'45,02"W	0°56'57,59"S
Site26	80°41'2,97"W	1°0'37,43"S
Site27	80°41'2,98"W	0°59'48,57"S
Site28	80°41'2,98"W	0°58'59,72"S
Site29	80°41'2,98"W	0°58'10,86"S
Site3	80°45'15,17"W	0°58'10,88"S
Site30	80°41'2,99"W	0°57'22,01"S
Site31	80°40'20,95"W	0°59'24,14"S
Site32	80°40'20,95"W	0°58'35,29"S

Site33	80°40'20,96"W	0°57'46,43"S
Site34	80°39'38,92"W	0°58'10,86"S
Site4	80°45'15,17"W	0°57'22,03"S
Site6	80°44'33,14"W	0°58'35,31"S
Site7	80°44'33,14"W	0°57'46,45"S
Site8	80°44'33,15"W	0°56'57,6"S
Site9	80°43'51,1"W	0°58'59,73"S

Fuente: El autor

Para hacer las predicciones una vez realizadas las configuraciones, se envía a *Transmitters–Calculation–Create a new prediction* y se procede a realizar las predicciones, como se puede ver en la figura 3.12.

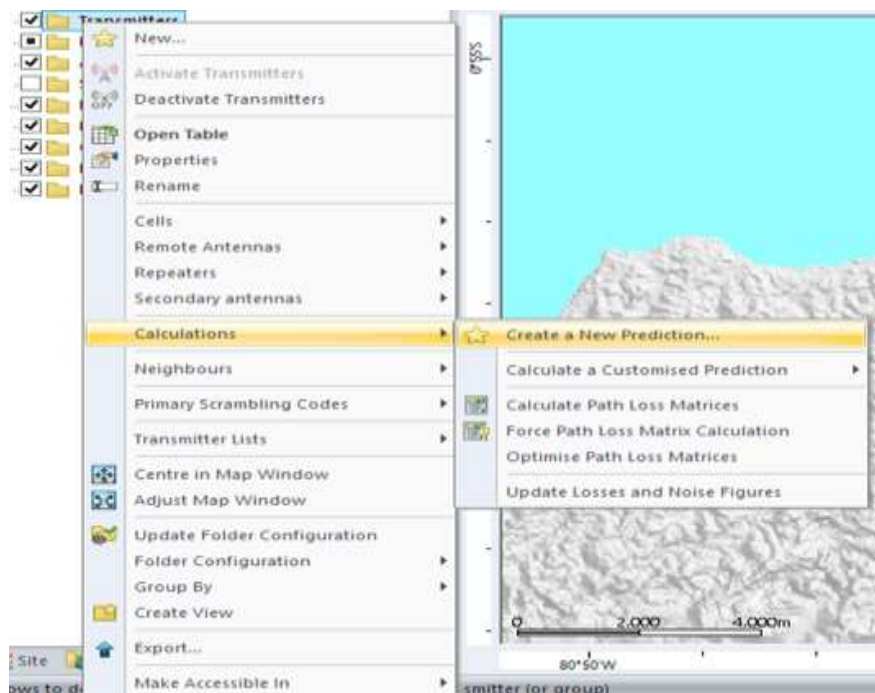


Figura 3. 12 Creación de predicciones

Fuente: El autor

3.3 Simulación de Cobertura de Transmisores

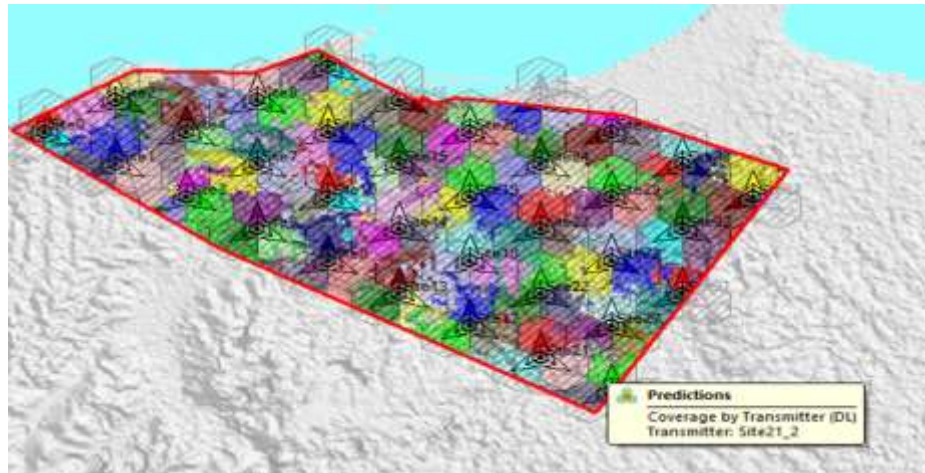


Figura 3. 13 Cobertura por Transmisor

Fuente: El autor

Como se visualiza en la figura 3.13, dicha predicción consistió en utilizar colores diferentes en los distintos sectores del mapa, donde se representa la cobertura de cada transmisor.

3.4 Simulación de Cobertura por Nivel de Señal

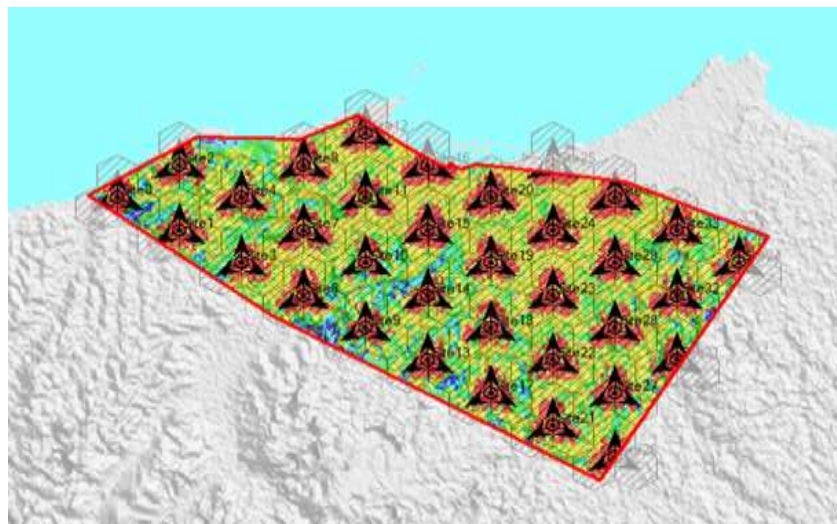


Figura 3. 14 Cobertura por nivel de señal

Fuente: El autor

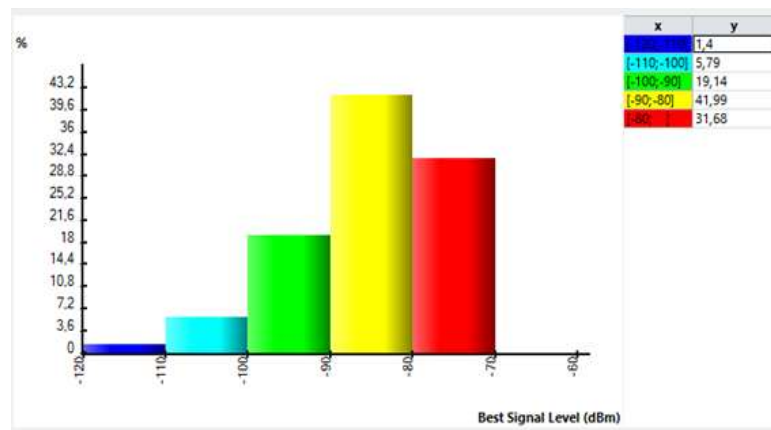


Figura 3. 15 Histograma de cobertura por nivel de señal

Fuente: El autor

En la figura 3.14 se muestra un estudio de nivel de señal. Dicho estudio presenta los niveles en cada pixel del mapa y está representado por medio de colores. La figura 3.15 muestra el histograma del estudio, donde se muestran los niveles de señal en dBm que representa cada color. En este caso, el color rojo representa una mayor potencia y el azul, lo contrario.

3.5 Simulación de las zonas con solapes

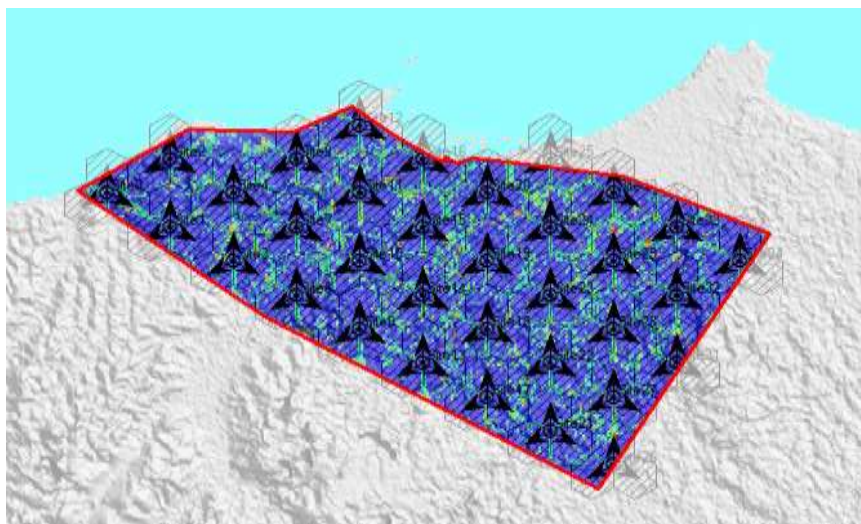


Figura 3. 16 Simulación zonas de solapamiento

Fuente: El autor

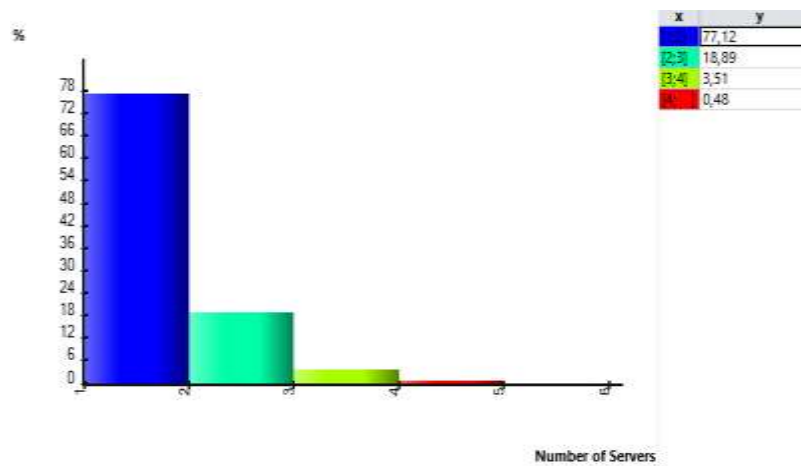


Figura 3. 17 Histograma zonas de solapamiento

Fuente: El autor

El solapamiento es producto de la recepción de señales de otras celdas, que son de la misma banda de frecuencia. Las figuras 3.16 y 3.17 muestran simulaciones, en donde se observa que el color azul hace referencia a la presencia de 1 o 2 transmisores, lo que resulta por relación con problemas de interferencias.

3.6 Análisis por calidad de señal

A continuación, es necesario definir parámetros que influyen en resultados del análisis a realizar.

Para el análisis de este trabajo se tuvo en cuenta la cantidad de usuarios que Atoll considera por km^2 para sectores urbanos. Pues, como primer paso se consideró la asignación de celdas 'vecinas' y de códigos que se realiza de manera manual o automática. Para dicha asignación, se utilizó la herramienta *automatic allocation*; en el cual se definió el número de celdas vecinas y la distancia entre los mismos, para lo que se suele establecer valores de 1200 m normalmente para el sector urbano.

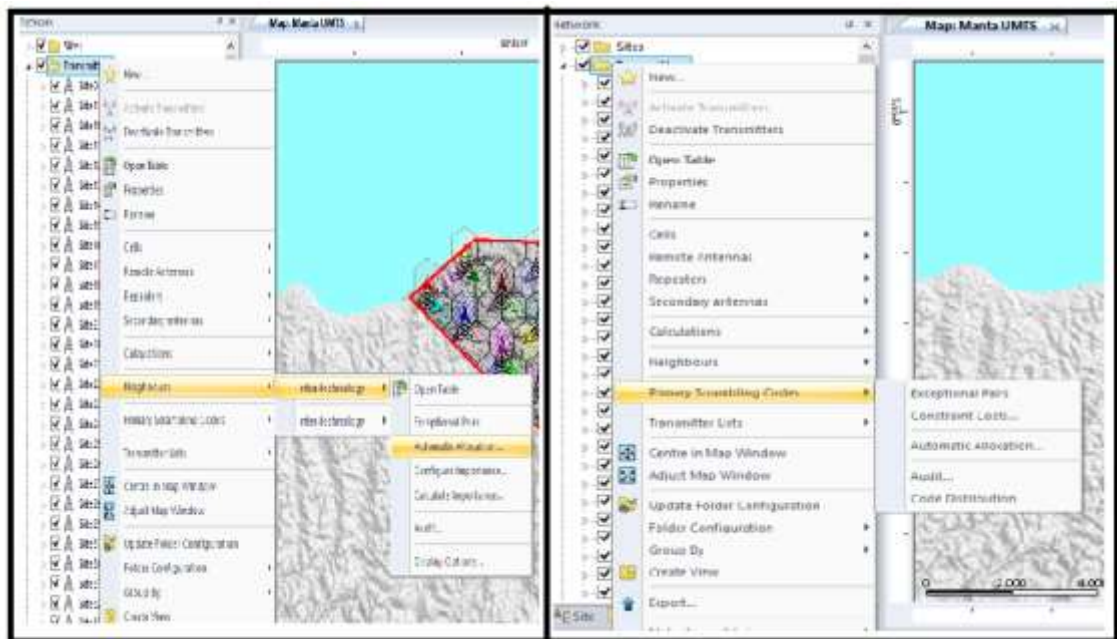


Figura 3. 18 Establecimiento de celdas vecinas y códigos

Fuente: El autor

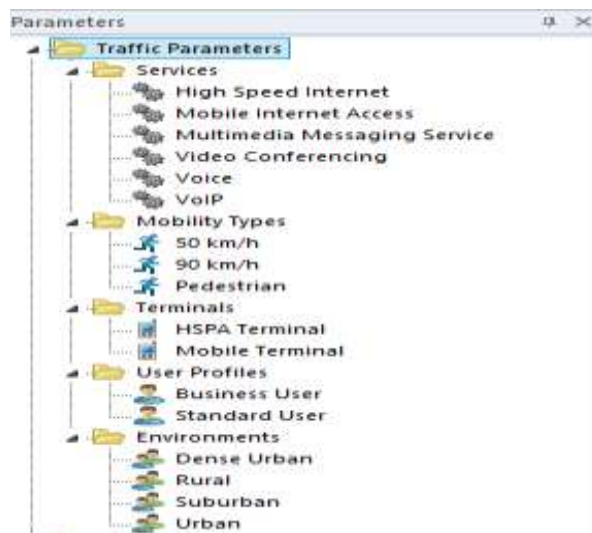


Figura 3. 19 Asignación de parámetros de tráfico

Fuente: El autor

Atoll presenta plantillas con los parámetros de tráfico para cada ambiente. A partir de las plantillas se realizó la creación o modificación de los diferentes ambientes o usuarios para adaptar la red a los requerimientos que se han solicitados. Para hacerlo se seleccionó: Environment-New. Luego, se le asigna un nombre al ambiente y se

establecen las características que se quiera asignar (tipo, movilidad y el número de usuarios por Km².)

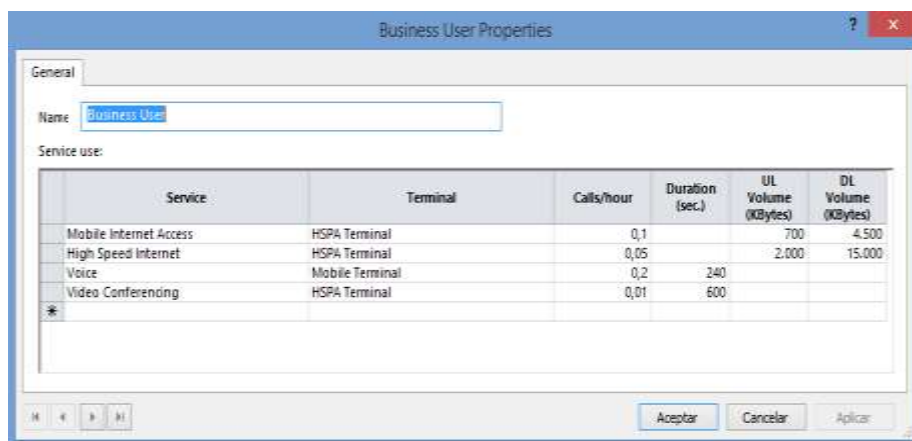


Figura 3. 20 Establecimiento de características de usuarios

Fuente: El autor

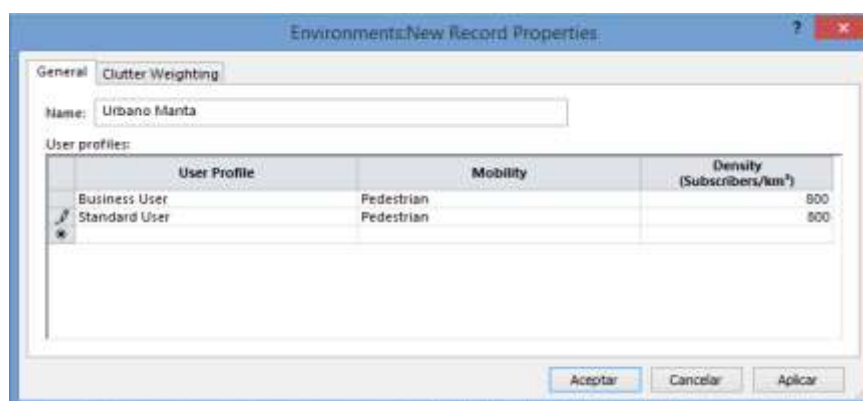


Figura 3. 21 Configuración de Ambiente

Fuente: El autor

En *Atoll* se puede determinar diferentes zonas de tráfico a partir de los parámetros anteriormente modificados. Para hacerlo se seleccionó: *Traffic Maps–New Map*, mediante el cual, se estableció el ambiente creado previamente para darle el nombre de Urbano Mapa.

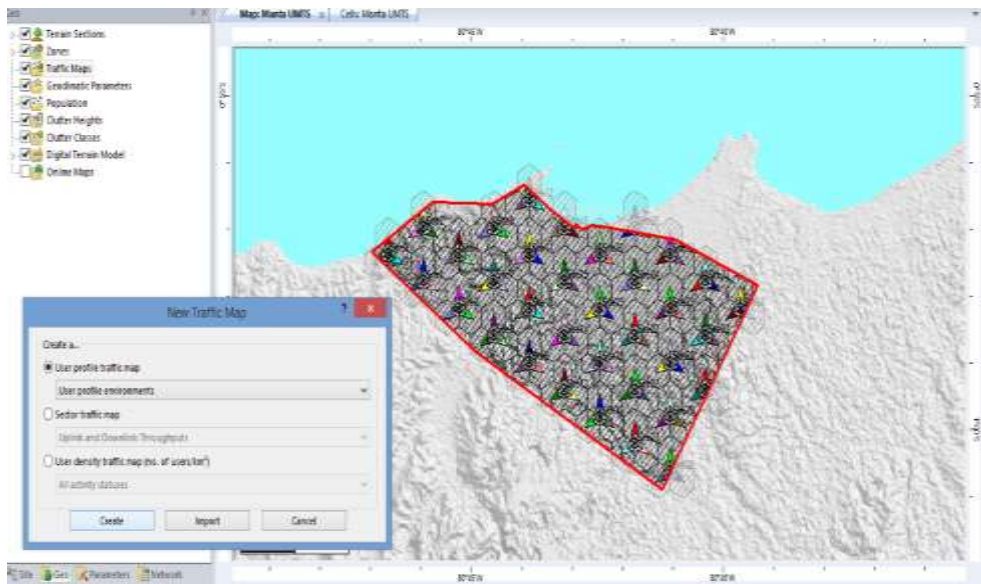


Figura 3. 22 Establecimiento de mapa de tráfico

Fuente: El autor



Figura 3. 23 Mapa de Tráfico Urbano Manta

Fuente: El autor

Como último paso se realizó una simulación de tráfico. Para hacerlo se seleccionó: *Simulation–New*. En la figura 3.23 se puede apreciar los diferentes puntos que representan a varios usuarios en la celda, donde cada color representa un servicio diferente.

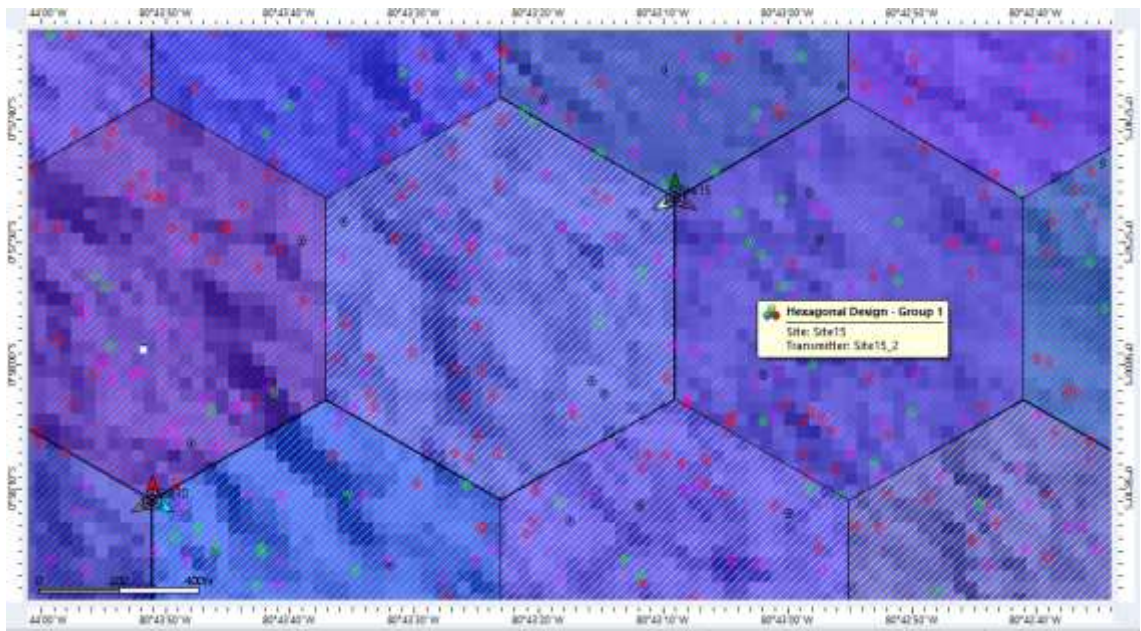


Figura 3. 24 Simulación de tráfico de usuarios

Fuente: El autor

3.7 Simulación del nivel de ruido

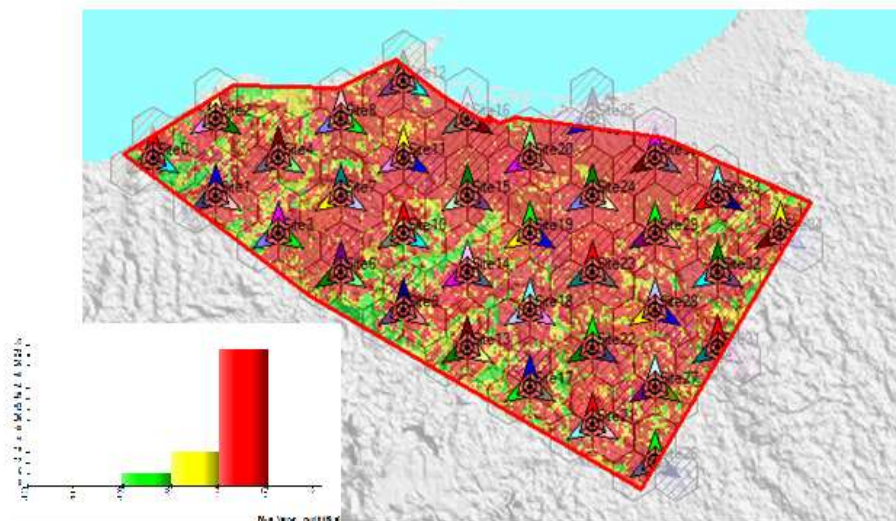


Figura 3. 25 Simulación del nivel de ruido en el servicio de voz

Fuente: El autor

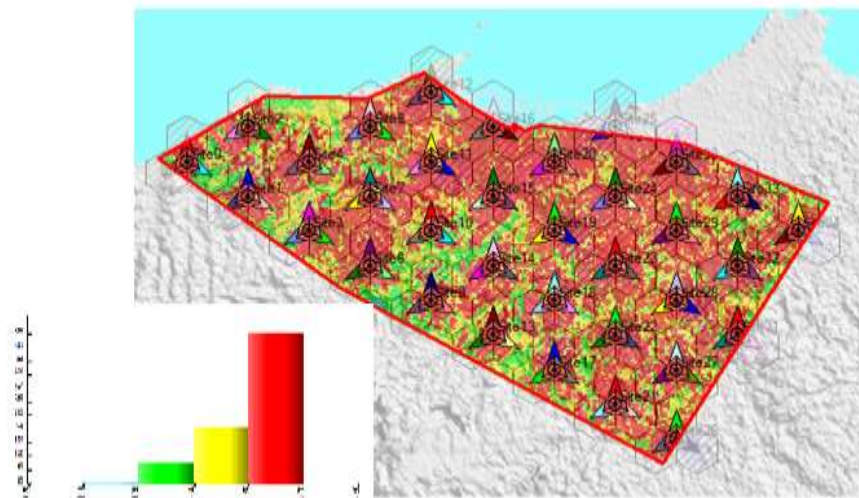


Figura 3. 26 Simulación del nivel ruido en el servicio de internet móvil
Fuente: El autor

En las figuras 3.25 y 3.26 se visualiza la simulación del nivel de ruido en los servicios de voz e internet. Además, cabe destacar que aunque se presentan niveles de ruidos altos, UMTS utiliza la técnica de CDMA que la hace resistente a interferencias dado que separa el ruido de la señal deseada.

Cabe mencionar también, que en la red UMTS se produce un aumento de ruido a medida que aumenta el tráfico. Sin embargo, en este estudio de simulación se está utilizando el 75% de la carga para efecto de análisis.

3.8 Estudio de relación señal/interferencia en el canal piloto

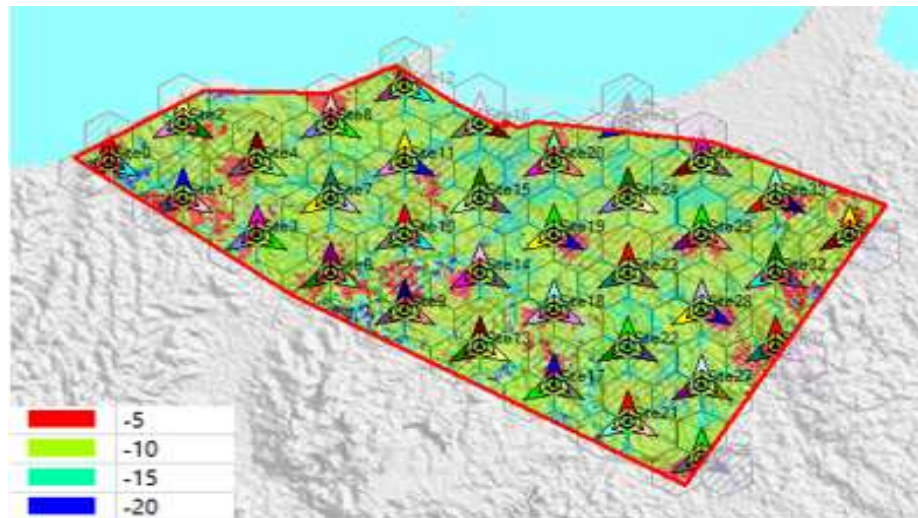


Figura 3. 27 Relación señal/interferencia en el canal de voz
Fuente: El autor



Figura 3. 28 Relación señal/interferencia para el servicio de internet
Fuente: El autor

E_c/I_0 es una relación que sirve para medir la señal de canal piloto y evaluar la calidad del mismo. Este factor tiende a variar de acuerdo a los niveles de tráfico, RF y el escenario. Su análisis es de gran importancia, sobre todo en funciones de traspaso. Para esta relación se consideran valores de aproximadamente 14 dB como buenos en la práctica. En las figuras 3.27 y 3.28 se observan valores sobre los 15 dB en la mayor parte de la zona de estudio, con una mínima probabilidad de rechazos por mala calidad.

3.9 Estudio del área de servicio

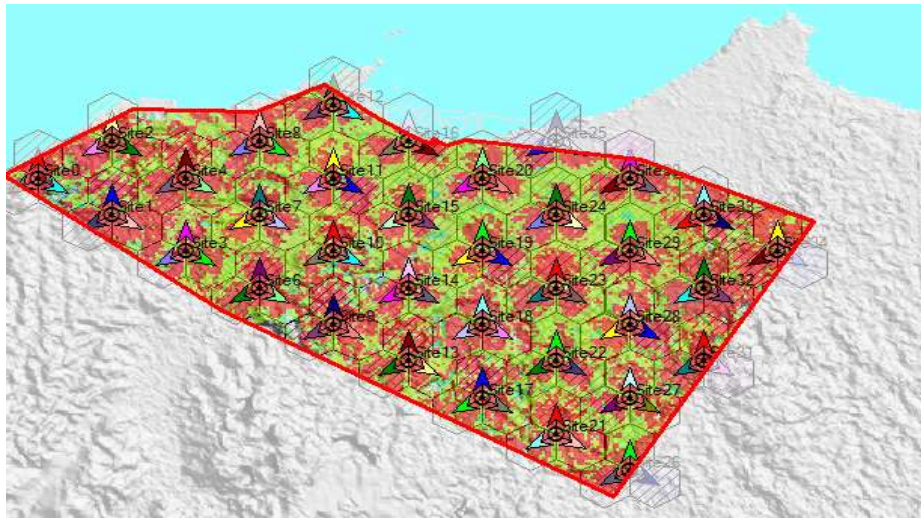


Figura 3. 29 Estudio del área de servicio para voz en el Downlink
Fuente: El autor

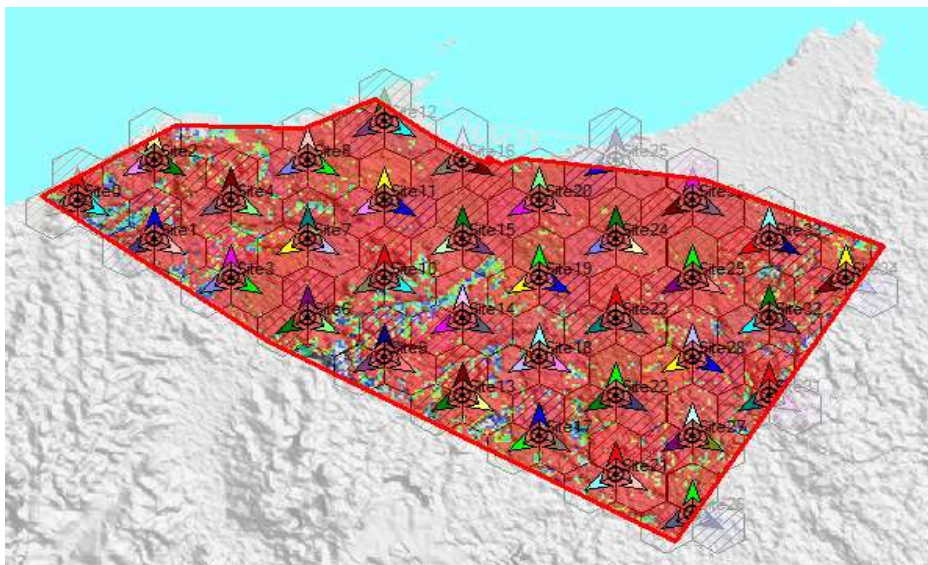


Figura 3. 30 Estudio del área de servicio para voz en el Uplink
Fuente: El autor

Las figuras 3.29 y 3.30 muestran un estudio del área de servicio para voz, realizado tanto en el *downlink* como en el *uplink*. Dicho estudio consiste en saber si se puede tener servicio de acuerdo con los niveles de potencia empleados en función al tráfico. Esto quiere decir, que en situaciones donde se exceda la máxima potencia en los canales podría haber tráfico rechazado, es decir no se garantiza el servicio.

3.10 Estudio de traspasos

El traspaso es lo que ocurre cuando el usuario se mueve de una celda a otra. En esta situación, el usuario combina las señales de dos celdas distintas y a la vez, puede estar conectado a dos celdas diferentes hasta que exista una atenuación, lo suficientemente grande para que el usuario se desconecte a una de ellas; cómo se puede ver en la figura 3.31.

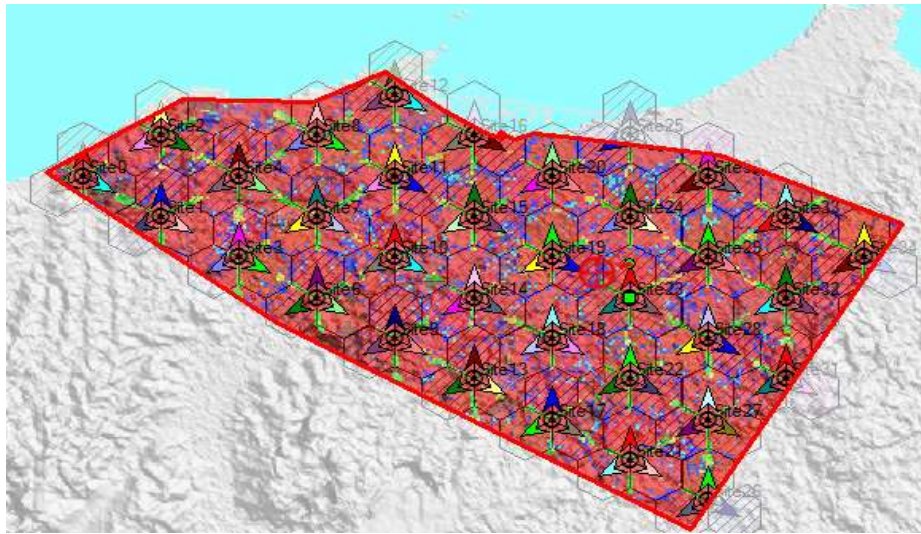


Figura 3. 31 Estudios de traspasos para el canal de voz
Fuente: El autor

Seguidamente, en la figura 3.32 se puede observar dos tipos de traspaso: el de lado izquierdo el “softer hand-off”, que es el caso de las celdas sectorizadas y en lado derecho el “soft hand-off”, que ocurre cuando dos estaciones base se encuentran en emplazamientos distintos.

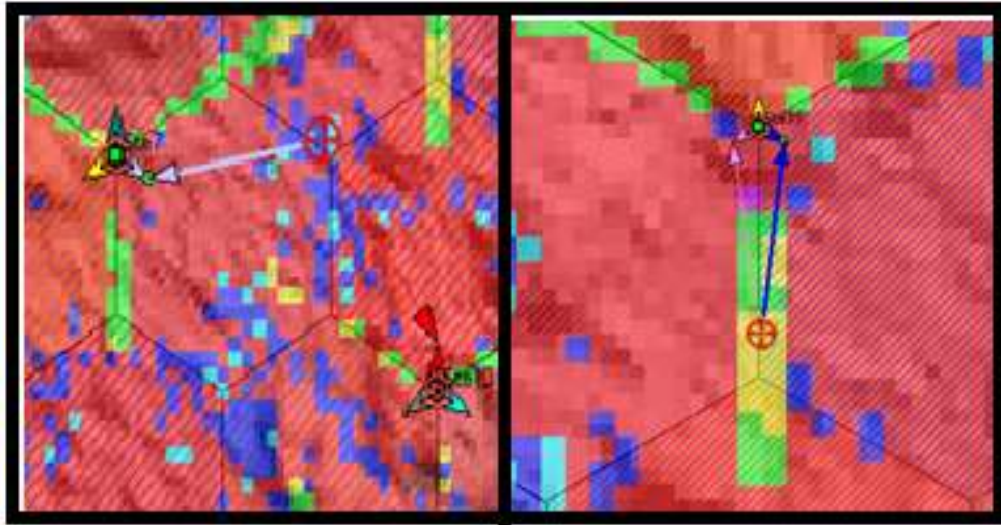


Figura 3. 32 Soft hand-off y Softer hand-off

Fuente: El autor

3.11 Google Earth UMTS/HSPA

Atoll permite exportar los resultados obtenidos en las simulaciones a Google Earth, de manera que se pueda tener una mejor visión de las áreas a las que se ofrece el servicio.

En las figuras 3.33 y 3.34 se han procedido a exportar los estudios por nivel de señal. Para hacerlo se utilizó el icono *Export to Google Earth* y se seleccionó el resultado que se desea exportar.



Figura 3. 33 Export to Google Earth

Fuente: El autor

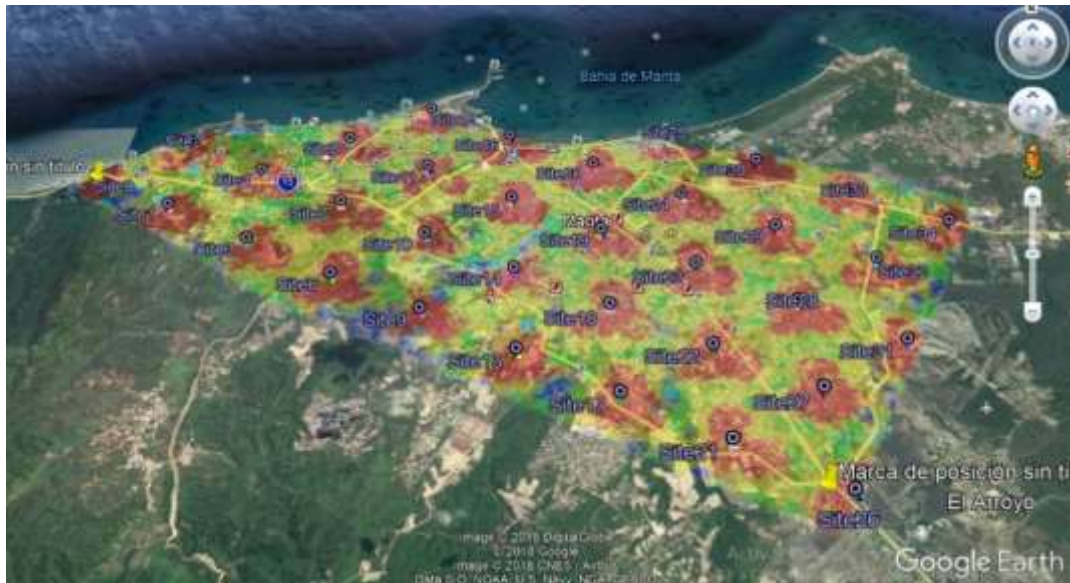


Figura 3. 34 Cobertura por nivel de señal
Fuente: El autor

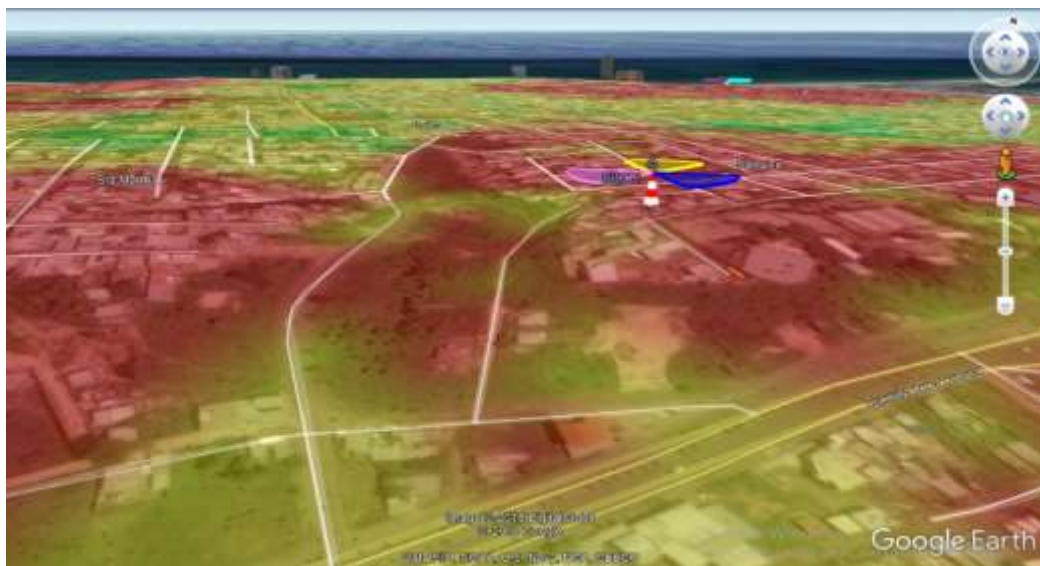


Figura 3. 35 Cobertura por nivel de señal 3D
Fuente: El autor

3.12 Simulación de cobertura de redes LTE

Se realizó el mismo procedimiento, efectuado anteriormente.

- El modelo de propagación escogido para este trabajo, es el modelo de Propagación Estándar.
- Para las antenas se tuvo en cuenta una altura de 30 metros.
- Se utilizó una potencia de 46dBm y una ganancia de 18dBm.

- Se asignó un radio de 550 m a las celdas, considerando a que se ha trabajado en sector urbano.
- La banda escogida para la simulación, es la banda 4 con un ancho de banda de 10 Mhz.

Tabla 3. 2 Localización de radio bases

Nombre	Longitud	Latitud
Site0	80°46'11,6"W	0°57'52,94"S
Site11	80°42'16,2"W	1°0'9,72"S
Site12	80°42'16,2"W	0°59'1,32"S
Site13	80°42'16,21"W	0°57'52,92"S
Site15	80°41'17,37"W	1°0'43,91"S
Site16	80°41'17,38"W	0°59'35,51"S
Site17	80°41'17,38"W	0°58'27,12"S
Site18	80°41'17,39"W	0°57'18,72"S
Site19	80°40'18,52"W	0°59'1,31"S
Site2	80°45'12,74"W	0°58'27,14"S
Site20	80°40'18,53"W	0°57'52,91"S
Site3	80°45'12,75"W	0°57'18,74"S
Site4	80°44'13,92"W	0°59'1,33"S
Site5	80°44'13,92"W	0°57'52,93"S
Site6	80°44'13,93"W	0°56'44,54"S
Site7	80°43'15,06"W	0°59'35,52"S
Site8	80°43'15,06"W	0°58'27,13"S
Site9	80°43'15,07"W	0°57'18,73"S

Fuente: el autor

3.13. Simulación de cobertura por nivel de señal

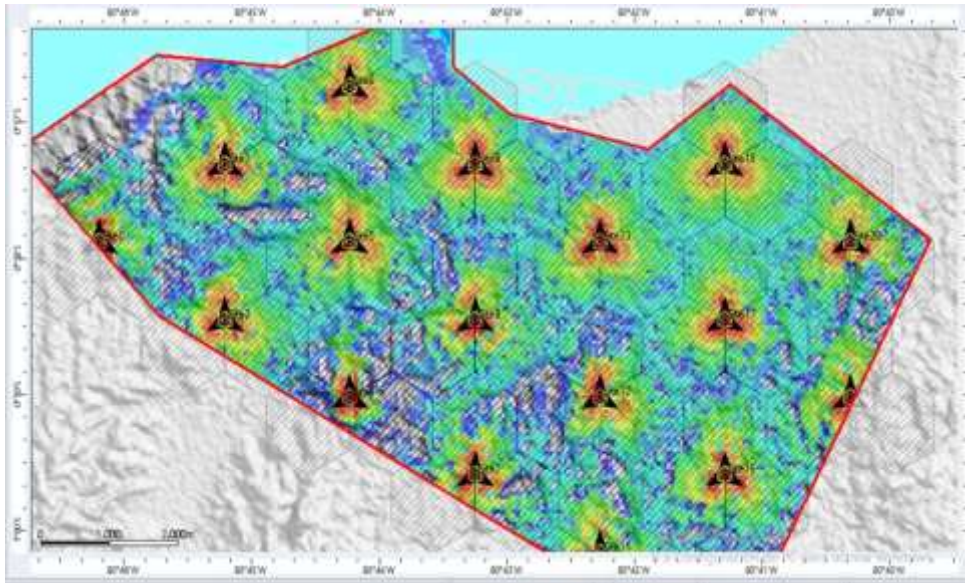


Figura 3. 36 Simulación de cobertura por nivel de señal
Fuente: El autor

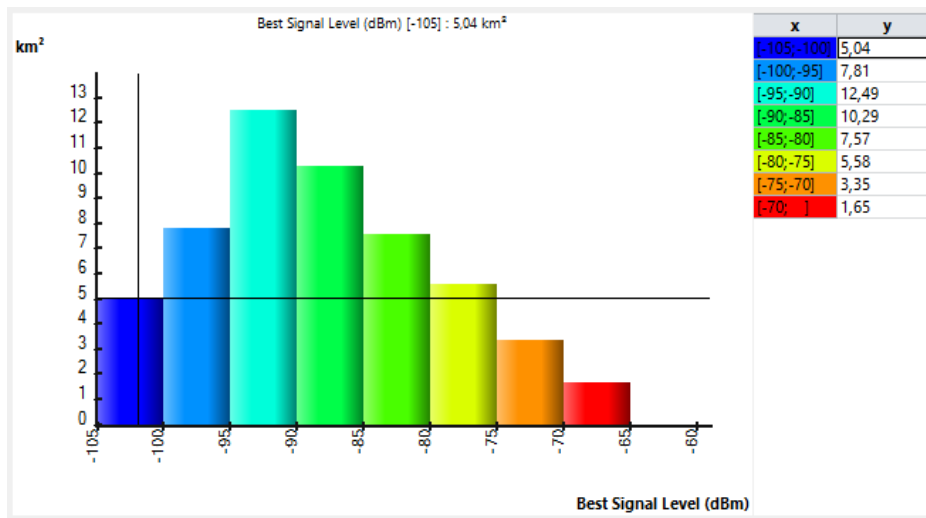


Figura 3. 37 Áreas de cobertura de nivel de señal por km²

Fuente: El autor

Los niveles de señales son recibidos en diferentes áreas y se utilizó el color rojo para indicar el mejor nivel de señal y se degrada hasta llegar al color azul donde no se asegura el servicio (mala calidad), cuyos valores están por debajo de los -100 dBm. Sin embargo, de acuerdo con el lugar

escogido para dicho análisis, las áreas representan aproximadamente 5 km², una mínima parte del lugar de interés.

3.14 Simulación de zonas de solapamiento

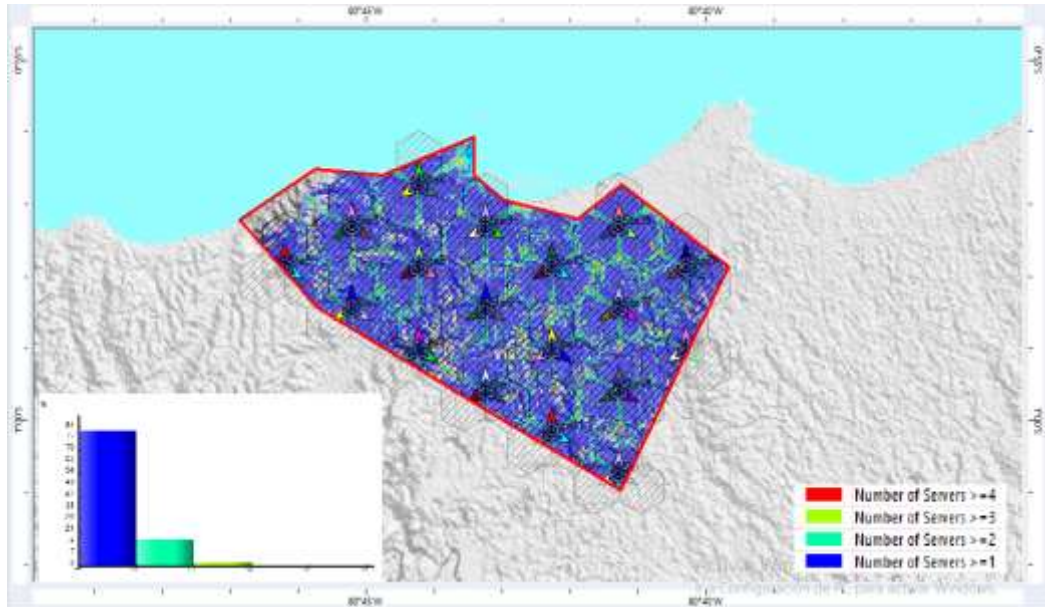


Figura 3. 38 Predicción de solapamiento

Fuente: El autor

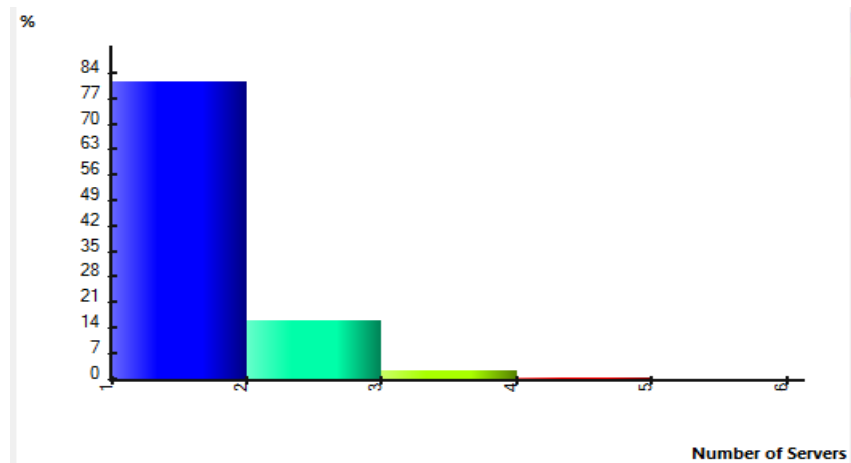


Figura 3. 39 Histograma de la zona de solapes

Fuente: El autor

Las figuras 3.38 y 3.39 muestran las zonas de solapamiento, en donde se puede observar el color azul que hace referencia a la presencia de 1 o 2 transmisores/servidores, lo cual resulta favorable en relación a los

problemas de interferencias. Además, los resultados representan valores favorables para la simulación realizada.

3.15 Simulación de cobertura por transmisor

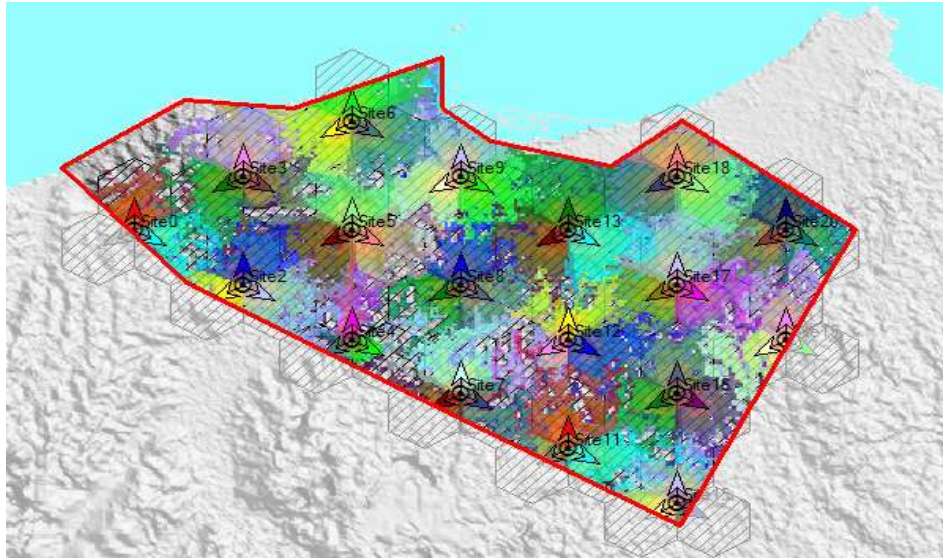


Figura 3. 40 Cobertura por transmisor

Fuente: El autor

Como se aprecia en la figura 3.40, el nivel de cobertura de cada transmisor en una zona determinada.

3.16 Simulación de nivel C/N del canal PDSCH

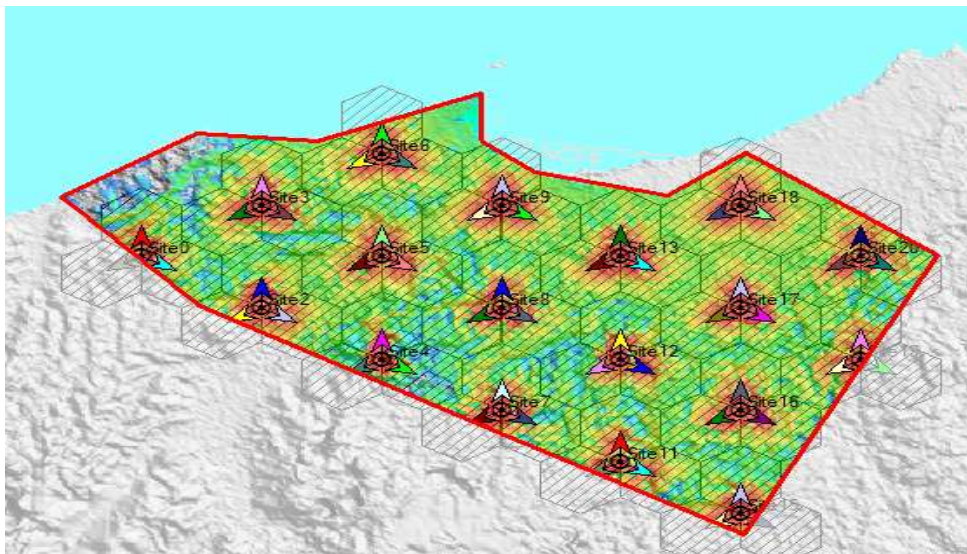


Figura 3. 41 Predicción nivel C/N del canal PDSCH

Fuente: El autor

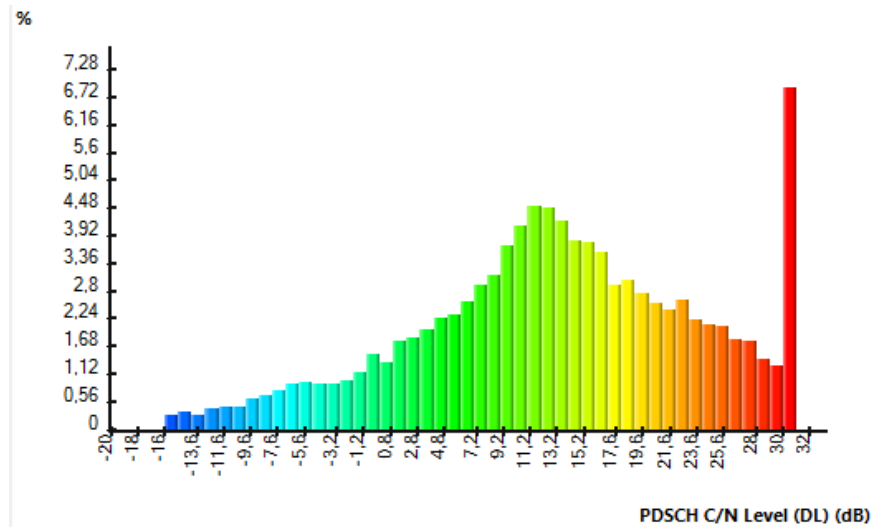


Figura 3. 42 Histograma de predicción nivel C/N del canal PDSCH
Fuente: El autor

La predicción presentada en las figuras 3.41 y 3.42 hace referencia a la relación portadora al ruido del canal PDSCH (canal físico del enlace de bajada). Asimismo, la imagen se traduce como una mejor señal recibida en las zonas donde se presentan los colores verde, amarillo y rojo, las cuales son las más cercanas a la estación.

3.17 Simulación por calidad de señal

Para la simulación de calidad de señal se ha considerado la cantidad de usuarios que *AtoII* considera por km² para sectores urbanos de Manta.

- Establecimiento de características de usuario
- Establecimiento de Ambiente
- Establecimiento de Mapa de tráfico

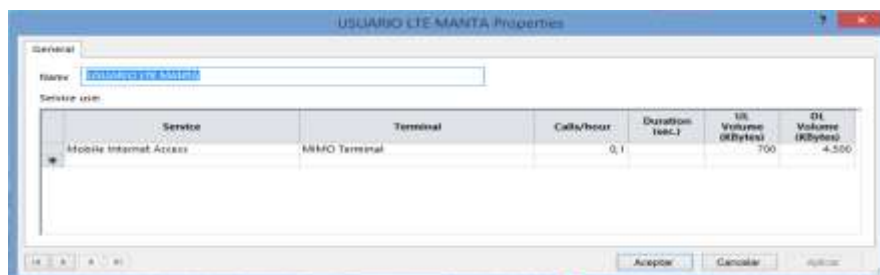


Figura 3. 43 Establecimiento de características de usuario LTE -Manta
Fuente: El autor



Figura 3. 44 Establecimiento de Ambiente
Fuente: El autor

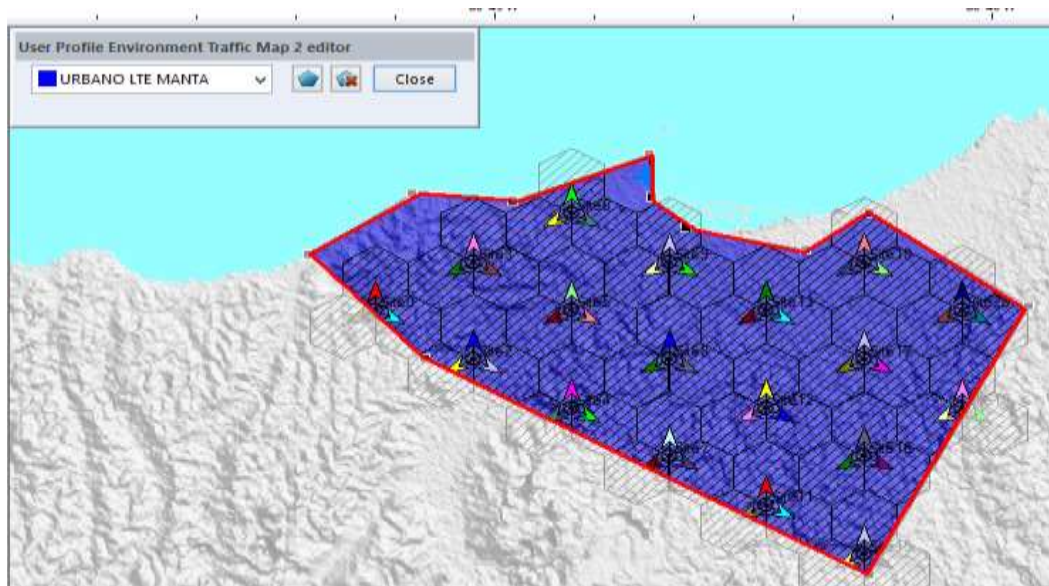


Figura 3. 45 Establecimiento de Mapa de tráfico
Fuente: El autor

En figura 3.46 se muestra la predicción de calidad de señal LTE para Manta.

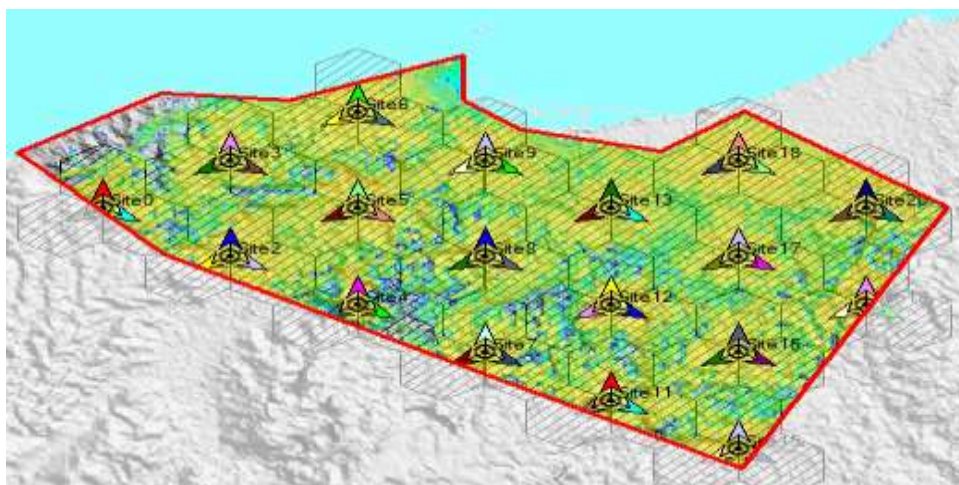


Figura 3. 46 Calidad de la señal

Fuente: El autor

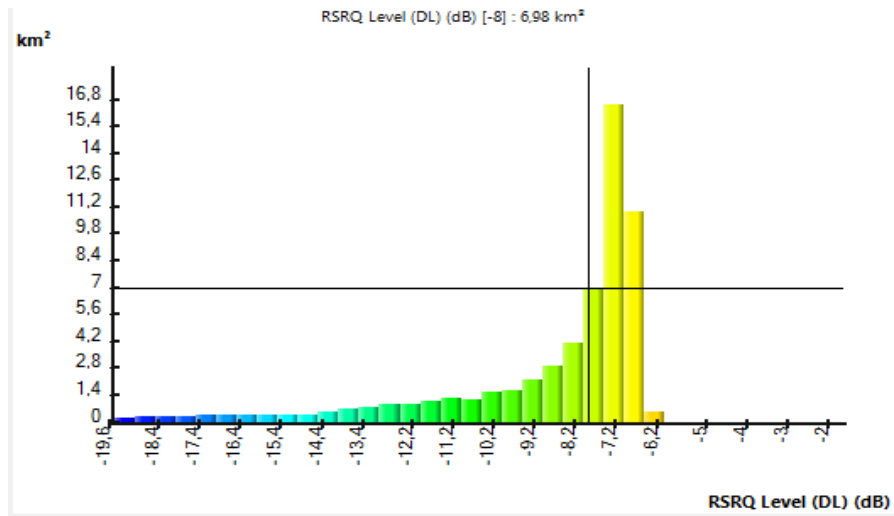


Figura 3. 47 Histograma de Calidad de señal

Fuente: El autor

Este análisis está basado en el mismo patrón de colores que se ha mostrado anteriormente, donde los colores verde, amarillo y rojo, representan la mejor calidad de señal. Lo que se confirma en el histograma donde se establece que en su gran mayoría se tiene valores superiores a 8dB de acuerdo con los colores mostrados.

3.18 Predicción del área de servicio efectiva

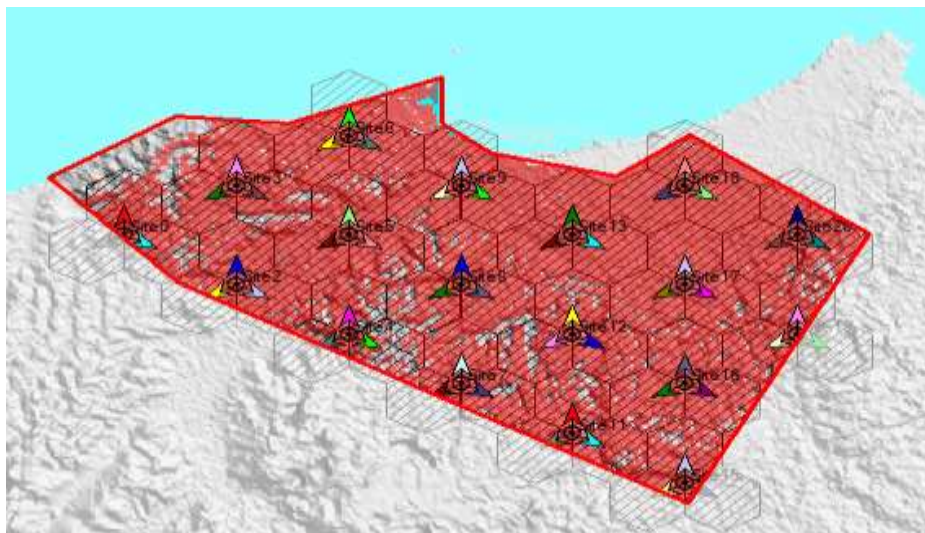


Figura 3. 48 Área del servicio efectiva

Fuente: El autor

La figura 3.48 muestra en su totalidad un color rojo, color que hace referencia a las zonas donde se tiene acceso al servicio que brinda la tecnología que se está analizando. Las áreas donde no se dispone del servicio se relacionan con obstrucciones presentes en el terreno.

3.19 Predicción de *Throughput* efectivo del canal

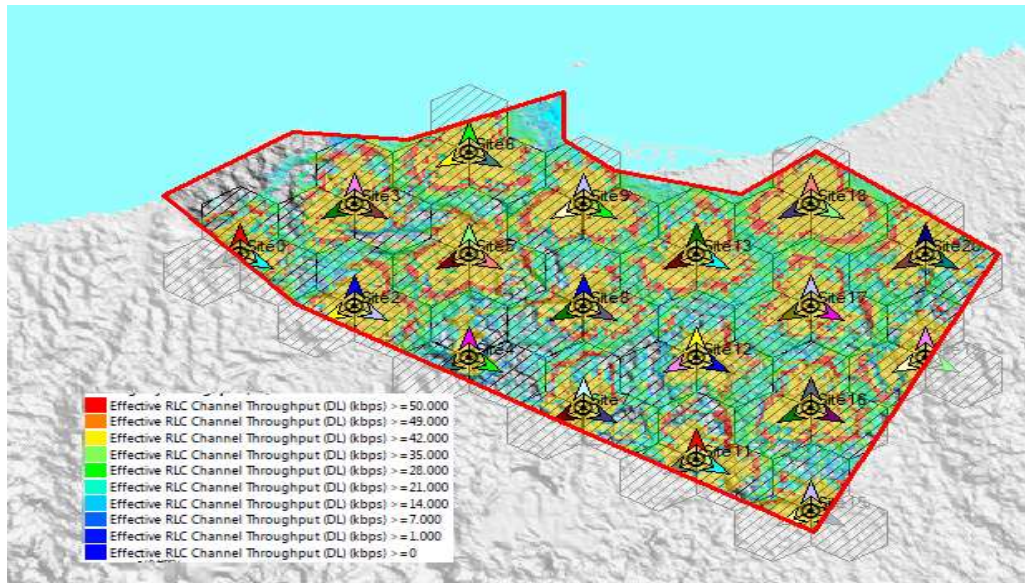


Figura 3. 49 *Throughput* efectivo del canal

Fuente: El autor

La predicción del Throughput efectivo del canal que se ve en la figura 3.49 muestra las zonas en las que se obtiene mejores velocidades o valores más altos de conexión a internet.

3.20. Representación de señal LTE

Para asegurar la calidad de servicio en la tecnología LTE, esta se inicia con el diseño y optimización de la señal LTE para así, brindar las mejores prestaciones de los servicios a los usuarios, para este caso; la ciudad de Manta, Por consiguiente, en las figuras 3.50 y 3.51, muestran los resultados del estudio de cobertura por nivel de señal que se realizó al principio del estudio de LTE.



Figura 3. 50 Cobertura por nivel de señal Google Earth
Fuente: El autor



Figura 3. 51 Cobertura por nivel de señal
Fuente: El autor

Conclusiones

1. Se ha descrito características de LTE señalando que es una infraestructura capaz de soportar servicios multimedia, también llamada sistema de paquete evolucionado (EPS), consta de dos partes principales. Red de acceso de radio (RAN) que es un grupo de radiobases celulares interconectadas llamadas NodeBs evolucionadas (eNB) que conectan los equipos de usuario (UE) a la red LTE.

El modelo de calidad de servicio está basado en el uso de servicios portadores, los cuales se clasifican como portadores por defecto, para transportar ciertos datos relacionados con señalización, control y de aplicaciones que no requieren calidad de servicio, o como portadores dedicados, para transportar los flujos de tráfico asociados a servicios y aplicaciones con requisitos de calidad de servicio.

Los portadores por defecto no garantizan la tasa de bit, mientras que los portadores dedicados pueden o no garantizarla, dependiendo de los servicios y aplicaciones que transporten

El EPC es una red central móvil basada en IP simplificada con una arquitectura plana y soporte solo para conmutación de paquetes.

2. Se ha identificado mecanismos de control de calidad LTE, estos son indicadores de rendimiento y se basan en mediciones de la red y son esenciales para la operación y el mantenimiento, estos mecanismos no aumentan la capacidad, pero al priorizar el tráfico, pueden permitir que ciertas aplicaciones funcionen de manera confiable, o de manera más confiable en comparación con otras, incluso cuando la celda está congestionada.

La diferenciación del tráfico en las redes LTE, se realiza a través de la clasificación de servicios en clases, cada una de las cuales forma un flujo de paquetes, al cual se le asignarán los recursos de la red. Por tanto, las clases de servicios son consideradas conversacional, interactiva,

streaming y background. Las clases conversacional y streaming están designadas para transportar tráfico de servicios de tiempo real, los cuales dependen directamente de la percepción humana. Igualmente, son muy sensibles al retardo, las clases interactivas y background están pensadas para ser usadas por las aplicaciones de datos, donde se debe garantizar una transferencia libre de errores sin tener en cuenta el retardo.

Los operadores de telecomunicaciones no pueden usar QoS para diferenciar sus servicios unos de otros, lo que desmejora la capacidad de un óptimo servicio.

Aun así, los operadores de telecomunicaciones deben aplicar mecanismos aplicando reglas para la asignación de recursos y el uso de la red. En el mejor de los casos un QoS altamente flexible con prioridades para ciertos clientes o servicios durante la congestión y que soporte los desafíos futuros.

3. Se ha evaluado resultados de simulación de cobertura LTE en la ciudad de Manta y el servicio de conectividad IP proporcionado por las redes LTE soporta calidad de servicio. Sin embargo, logra que los paquetes de datos de una conexión determinada puedan ser tratados de forma diferenciada para ajustarse a las necesidades de transmisión de cada uno de los servicios, a los cuales pueden acceder los usuarios. Esto faculta que las redes LTE soporten múltiples servicios con diferentes requisitos de desempeño y que reconozcan y garanticen a los usuarios una adecuada experiencia de uso de los servicios y a los operadores móviles, una gestión eficiente de los recursos de red.

Recomendaciones

Para el cumplimiento de mecanismos que busquen otorgar mayores grados de servicio LTE a los usuarios, los operadores usarán QoS para este propósito y se hace recomendaciones con respecto a la implementación y el monitoreo para satisfacer los principios de neutralidad de red.

1. Los operadores LTE deben diseñar un plan para usar QoS de manera generalizada para la gestión de la congestión, y planear cómo hacer disponible el control de QoS para la banda ancha móvil. aplicaciones en general, en todo caso.
2. El QoS se está considerando para ciertas aplicaciones, como voz sobre LTE (VoLTE), pero hay que centrarse en gestión de la congestión de otros servicios banda ancha.
- 3 Se recomienda registrar valores o tasas de los indicadores de gestión de la red, como informes pues ayudará a procedimientos de operación, mantenimiento y auditorías en la red LTE.
4. Al ser la gestión QoS algo compleja, deberá ser un proceso a mediano plazo la determinación de modelos comerciales y usos apropiados, y la posibilidad de desarrollar interfaces de aplicaciones y redes para aplicaciones de terceros.
5. Proponer a consumidores la experiencia de la tecnología LTE para la ciudad de Manta tomando en cuenta simulaciones de cobertura LTE realizadas.

Glosario

dBm Decibel-milliwatts

DHCP Dynamic Host Configuration Protocol

DL Download

EPS Evolved packet system

ETSI European Telecommunications Standards Institute

FTP File transfer protocol

GPRS General Packet Radio Service

GSM Global system for mobile communications

HSPA High speed packet access

HTML HyperText Markup Language

HTTP Hypertext transfer protoco

ICMP Internet Control Message Protocol

IETF Internet Engineering Task Force

IMS IP multimedia subsystem

IoT Internet of Things

IP Internet Protocol

IPTV Internet Protocol Television

ISDN Integrated services digital network

ISP Internet service provider

ITU International Telecommunication Union

IVR Interactive voice response

KPI Key performance indicators

LTE Long-Term Evolution

M2M Machine-to-machine

PSTN Public switched telephone network

QCI Quality classification identification

QoS Quality of Service

RAB Radio access bearer

RRC Radio resource control

RTCP Real-time transport control protocol

RTP Real-time transport protocol

RTT Round-trip time

SQA Service quality agreement

SRD Session request delay

SSL Secure Sockets Layer

TCP Transmission control protocol

TDMA Time Division Multiplex Access

TE Terminal equipment

TLS Transport Layer Security

UL Upload

UMTS Universal Mobile Telecommunications System

UNI user-network interface

VoIP Voice-over-IP

VoLTE Voice over LTE

VPN Virtual private network

Referencias Bibliográficas

Agusti, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrús, R., Pérez-Romero, J., & Sallen, O. (2010). *Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Madrid: España: Fundación Vodafone.

Akayama, S., Schlautmann, A., Place, J., & Keeping, S. (2012). *The Business Benefits of 4G LTE*. Obtenido de Arthur D. Little: <http://www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/business-benefits-4g-lte>

Castillo, D. (2017). *Estudio comparativo entre redes LTE Advanced y LTE a nivel de CORE*. Obtenido de Repositorio Digital UCSG: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8609/1/T-UCSG-POSTEL-82.pdf>

Cuadros, R. (2014). *Determinación de principales parámetros para la formulación de un Proyecto de Implementación de una Red 4G LTE para la ciudad de Arequipa*. . Obtenido de UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA -Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales : <https://core.ac.uk/download/pdf/54219781.pdf>

Florido, P., & Navea, G. (2012). *Estudio y caracterización de la integración e implementación del estándar LTE (Long Term Evolution) a las redes existentes de la Corporación DIGITEL C.A*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad Católica Andrés Bello UCAB:

<http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7538.pdf>

Inzaurrealde, M., & Isi, J. (2010). *Telefonía celular*.
https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-06_11-27-11104608.pdf.

Joskowicz, J. (2017). *Calidad de Voz y Video*. Obtenido de
https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/67094/mod_resource/content/5/calidad_de_voz_y_video/Calidad%20de%20voz%20y%20video%20%28presentacion%29.pdf

Llanos, L., & Yengle, B. (2013). *DISEÑO LOGICO Y SIMULACION DE UNA ARQUITECTURA DE RED INALÁMBRICA CONVERGENTE LTE AVANZADA*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO-FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS:
<http://www.inf.unitru.edu.pe/revista/25.pdf>

More, J. (2017). *Evolución Telefonía Móvil*. Obtenido de
<http://gadgerss.com/2017/01/08/del-1g-al-4g-evolucion-la-telefoniamovil/evolucion-telefoniamovil/>

Pardal, P. (2017). *Redes de Área Extensa para aplicaciones de IoT: modelado de comunicaciones Sigfox*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

Perrino, G. (2013). *Análisis del impacto del uso de técnicas de múltiples antenas en una red móvil LTE con la herramienta de simulación*

ATOLL. Obtenido de
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18251/PFC_-_Gian_Piero_Perrino.pdf

Rueda, D., & Vargas, M. (2013). *Calidad de Servicio en Redes LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced)*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia. CINTEL: https://cintel.co/wp-content/uploads/2013/05/02.Calidad_de_Servicio_en_Red.es.pdf

Rueda, D., & Vargas, M. (2013). *Calidad del Servicio en Redes LTE Advanced*. Obtenido de CINTEL: https://cintel.co/wp-content/uploads/2013/05/02.Calidad_de_Servicio_en_Red.es.pdf

RYSAVY . (2015). *LTE Congestion Management*. Obtenido de Enabling Innovation and Improving the Consumer Experience: <http://mobilefuture.org/wp-content/uploads/2015/01/011515-Rysavy-LTE-Congestion-Management-FINAL.pdf>

Sabando C., J. (2011). *Fundamentos de Comunicaciones Inalámbricas*. México: Pearson Educación.

Telecomhall. (2015). *Qué es CSFB y SRVCC en LTE*. Obtenido de <http://www.telecomhall.com/es/que-es-csfb-y-srvcc-en-lte.aspx>

Tomasi, W. (2014). *Advanced Electronic Communications Systems* (Sixth ed.). Pearson Education Limited.

UIT-R. (2003). *RECOMENDACIÓN UIT-R M.1079-2*. Obtenido de Requisitos relativos a la calidad de funcionamiento y servicio en las

redes de acceso a las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000) : https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1079-2-200306-!!!PDF-S.pdf

UIT-T. (2001). *Categorías de calidad de servicio para los usuarios de extremo de servicios multimedios*. Obtenido de Recomendación UIT-T G.1010: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.1010

ZTE. (2015). *EPC: Evolved Packet Core*. Obtenido de http://www.zte.com.cn/cn/events/epc_en/2/201101/t20110107_367309.html

3GPP TS. 23.203. (2011). *"Policy and Charging Control Architecture"*. Obtenido de http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/23_series/23.203/

RCR Wireless News. (2014). LTE Network Architecture Diagram. Obtenido de <https://www.rcrwireless.com/20140513/network-infrastructure/lte/lte-network-architecture-diagram>

4G-Americas. (2014). Metodologías de métricas de desempeño comparativas para la provisión del servicio de acceso a internet móvil en américa Latina. Obtenido de http://www.5gamericas.org/files/4214/2075/6781/Metodologia_de_Mtricas_4GAmericas_Diciembre_2014_FINAL.pdf

5G-Americas. (2016). Tecnologías celulares para habilitar la Internet de las Cosas. Obtenido de http://www.5gamericas.org/files/7214/6982/7154/Internet_de_las_Cosas_en_America_Latina_FINAL_ESP.pdf



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Vélez Zambrano, Jorge Washington** con C.C: 1310471576 autor del Trabajo de Titulación: **Mecanismos para análisis de indicadores de red LTE**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, a los 24 días del mes octubre del 2018

Vélez Zambrano, Jorge Washington

C.C: 1310471576

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Mecanismos para análisis de indicadores de red LTE		
AUTOR(ES)	Vélez Zambrano, Jorge Washington		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Philco Asqui, Orlando; Cordova Rivadeneira, Luis; Manuel Romero Paz		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	24 de octubre del 2018	No. DE PÁGINAS:	101
ÁREAS TEMÁTICAS:	Propagación, Comunicaciones Inalámbricas, Calidad de servicio		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	LTE, QoS, Atoll, Disponibilidad de cobertura		
RESUMEN/ABSTRACT:			
<p>El presente trabajo de titulación abarca como objetivo principal el análisis de la tecnología LTE (Long Term Evolution) y sus mecanismos de control de calidad de servicio por medio de indicadores o clases de servicios desde la perspectiva del usuario. La clasificación QoS para los servicios según la ITU son cuatro: Conversacional, Interactiva, Streaming y Background, dichos servicios y sus indicadores son vitales en el rendimiento y grado de servicio de la red. Así también este trabajo emplea simulaciones de escenarios de cobertura LTE. Para la misma, se escogió la ciudad de Manta de la provincia de Manabí; las metodologías de investigación escogidas son, la descriptiva para sintetizar avances de la tecnología LTE, su arquitectura de red; la analítica porque se identifica el mejor escenario de planificación de la red LTE para la ciudad de Manta de la provincia de Manabí y se emplea, además, el método empírico por el manejo del programa Atoll, herramienta profesional en planificación de redes. En base a simulaciones de cobertura y otros parámetros técnicos de la tecnología LTE se pretende realizar recomendaciones para asignaciones de los recursos de la red según las exigencias del servicio para el usuario.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-984173270	E-mail: jorgevelez_88@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: +593-994606932		
	E-mail: mromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			