

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE**  
**INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA**



**“QoS. EN REDES MOVILES DE CUARTA  
GENERACION”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS DE LA ELECTRONICA  
MENCION EN TELECOMUNICACIONES**

**DARIO UTRILLA SALAZAR**

**CALLAO - 2014**

**PERÚ**

Id. Autor: 10271

Id. Ejemplar: 39205



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA**  
**SECCIÓN DE POSGRADO**

\*AÑO DE PROMOCION DE LA INDUSTRIA RESPONSABLE Y EL COMPROMISO CLIMATICO

**CARGO**  
 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
 VICERRECTORADO ADMINISTRATIVO  
**RECIBIDO**  
 23 JUN 2014  
 N° ORIGEN..... N° EXP.....  
 HORA 12:20 FIRMA.....

Señor:

Presente.-

Con fecha 13 de Junio del 2014, se ha expedido la siguiente Resolución:

**RESOLUCION DIRECTORAL DE LA SECCION DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO N° 044-2014-DSPG-FIEE.**

Visto la solicitud s/n, presentado por el egresado de la Maestría en Ciencias de la Electrónica mención en Telecomunicaciones del Bachiller Dario Utrilla Salazar, solicitando la designación de fecha y Jurado Examinador para la sustentación de la Tesis de Grado de Maestro;

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo a la Resolución N 043-2012-CU - Reglamento de Estudios de Posgrado, en el título IV, Capítulo I, Art. 70°, Considera "... *culminada la etapa del Jurado Revisor y Habiendo, este dado su aprobación a la tesis o Informe, el graduado solicita el nombramiento del jurado examinador pidiendo día, hora y ambiente para la sustentación de la tesis o informe... (sic)* " Art. 71°, *considera: "...La sección de posgrado emite la resolución de emisión del jurado examinador y aprobación de la fecha, hora y local de sustentación. Ello se comunica a los miembros del jurado, asesor y autor(es) de la Tesis con cinco (05) días de antes de la fecha de sustentación, haciéndoles llegar un ejemplar de la tesis o Informe aprobada por el jurado Revisor...(sic)*", Art. 72°, "...*el jurado examinador está integrado por cuatro (04) miembros que tienen como mínimo el mismo grado para el que aspira el (los) autor(res) de la tesis o informe y conformado por los dos miembros del jurado revisor y dos profesores adicionales...(sic)*" ;

Que, con RESOLUCION DIRECTORAL N° 010-2014-DSPG-FIEE de fecha 23 de Enero del 2014, se DESIGNA AL JURADO REVISOR DE LA TESIS TITULADA: "QoS. EN REDES MOVILES DE CUARTA GENERACION";

Que, con RESOLUCION DIRECTORAL N° 024-2014-DSPG-FIEE de fecha 17 de Marzo del 2014, se APRUEBA LA TESIS TITULADA: "QoS. EN REDES MOVILES DE CUARTA GENERACION";

Que, con RESOLUCION DIRECTORAL N° 040-2014-DSPG-FIEE de fecha 17 de Mayo del 2014, se DECLARA EXPEDITO AL BACHILLER DARIO UTRILLA SALAZAR PARA LA SUSTENTACION DE LA TESIS TITULADA: "QoS. EN REDES MOVILES DE CUARTA GENERACION";

Que, el Comité de Asesoramiento de la Sección de Posgrado FIEE, en su sesión ordinaria del 16 de Mayo del 2014, recomienda designar como Jurado Examinador para la sustentación de la tesis del Bachiller Dario Utrilla Salazar, luego de haber revisado el dictamen favorable los miembros del Jurado Revisor y que el Interesado cumpla con los requisitos y que su vez sea declarado Expedito según el artículo 92° del Reglamento de Estudios de la Escuela de Posgrado;

Que, habiéndose revisado que el Interesado cumpla con los requisitos establecidos según el Artículo 89° y 92° del Reglamento de Estudios de la Escuela de Posgrado, el TUPA y las Directivas Internas de la Sección de Posgrado;

Estando la documentación sustentatoria en autos, y en uso de las atribuciones que confiere el Estatuto, el Art. N°29 y Art N°37, Inc. a) y b) del Reglamento Interno de Organización y Funciones de la SPGFIEE, el Reglamento de Estudios de la Escuela de Posgrado Art. 70,71,72,89 y 92°;

*Handwritten signature and date: 23/06/14*

*Handwritten signature and date: 23-06-14*



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**SECCIÓN DE POSGRADO**  
**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA**  
**ELECTRÓNICA MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES**  
**POR LA MODALIDAD DE PRESENTACIÓN Y SUSTENTACIÓN DE TESIS**

A los 27 días del mes de junio del Dos mil catorce siendo las 17:00 horas, se reunió el Jurado Evaluador del Proyecto de Tesis designado con Resolución N° 044-2014-DSPG-FIEE, conformado por los siguientes Docentes Ordinarios, QUE OSTENTAN EL Grado de Maestro o Doctor:

Dr.	<b>CÉSAR AUGUSTO RODRÍGUEZ ABURTO</b>	<b>Presidente</b>
Dr.	<b>JUAN HERBER GRADOS GAMARRA</b>	<b>Secretario</b>
Mg.	<b>JACOB ASTOCONDOR VILLAR</b>	<b>Vocal</b>
Mg.	<b>RICARDO RODRÍGUEZ BUSTINZA</b>	<b>Miembro</b>

Contando con el quórum reglamentario, el Secretario del Jurado Evaluador, da lectura a la Resolución N° 044-2014-DSPG-FIEE con el fin de dar inicio a la sustentación de Tesis del Señor **DARIO UTRILLA SALAZAR** Egresado de la Maestría en Ciencias de la Electrónica mención en Telecomunicaciones quien habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Grado Académico de Maestro en CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES, por la modalidad de Presentación y Sustentación de Tesis, conforme lo señala la normativa vigente, sustentará el Proyecto de Tesis titulado "**QoS EN REDES MÓVILES DE CUARTA GENERACIÓN**"

Efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por APROBADO....., Calificativo Muy BUENO, nota: 17....., al Señor Maestría **DARIO UTRILLA SALAZAR** con lo cual se dio por concluida la sustentación, siendo las 13,00 horas del día del mes y año en curso.

  
PRÉSIDENTE  
Dr. CÉSAR AUGUSTO RODRÍGUEZ ABURTO

  
SECRETARIO  
Dr. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA

  
MIEMBRO  
Mg. JACOB ASTOCONDOR VILLAR

  
MIEMBRO  
Mg. RICARDO RODRÍGUEZ BUSTINZA

Nota: "En caso de que el Egresado sea desaprobado en el Acto de Sustentación, se hará constar en el Acta correspondiente teniendo un nuevo plazo de dos (2) meses para poder solicitar nueva fecha de sustentación, debiendo sujetarse al Art. 94° del Reglamento de Estudios de la Maestría de la UNAC, aprobado con Resolución N° 043-2012-CU.

DÍA .....  
HORA .....

Es copia fiel del folio N° 018 del libro N° 01 de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.

PARA EL USUARIO

## DEDICATORIA

A Dios, por guiar mis pasos y ser la razón de mi existencia

A mis padres Gregorio y Doraida

A mis hermanos Teófilo y Elizabeth

A mi esposa Esther del Pilar

A mis hijos: Gloria Carmen, Darío Gregory, Gloria Esther Elizabeth,

Luz Esther Jackeline, Darío Jesús

A mis colegas de la Maestría

A mis alumnos

A mis maestros que me guiaron con sus conocimientos

A mi Alma Mater.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, en primer lugar, el gran arquitecto y creador del universo, por guiar mis pasos y acompañarme en mi camino a través de este mundo.

A mi asesor el Mg. Wilbert Chavez Irazabal, por su valiosa asesoría, apoyo y dedicación y en forma permanente compartió su experiencia profesional.

A mis profesores, que compartieron conmigo sus enseñanzas y experiencias que me encaminaron en la investigación.

A mis colegas que me brindaron su apoyo y paciencia con sus sugerencias y recomendaciones para completar el proyecto.

A las empresas que me brindaron su confianza y colaboraron en la toma de datos en las encuestas para elaborar el proyecto.

A mis padres Gregorio y Doraida, que me enseñaron el camino de Dios, me dan su amor y con su gran ejemplo, con sus esfuerzos y perseverancias alimentan mis sueños y guían mis pasos.

A mi Esposa Esther del Pilar y mis hijos, por su comprensión durante el desarrollo de la tesis y a la vez son mi fuente de inspiración.

A mis hermanos por su aliento en el camino de mi realización profesional.

A mis profesores rectores que participaron en esta tesis

A mi Alma Mater, por ser el escenario  
Para el logro de mis metas.

# ÍNDICE

**CARATULA**

**PAGINA DE RESPETO**

**HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACION**

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**INDICE** 1

**FIGURAS DE CONTENIDO** 4

**TABLAS DE CONTENIDO** 5

**RESUMEN** 6

**ABSTRACT** 7

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION**

1.1 Identificación del problema. 9

1.2 Formulación del problema. 11

1.3 Objetivos de la investigación. 13

1.3.1 General 13

1.3.2 Especifico 14

1.4 Justificación. 15

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1 Introducción 17

2.2 Tecnologías de redes inalámbricas 19

2.2.1 Red de área personal inalámbrica (WPAN) 20

2.2.2 Red de área local inalámbrica (WLAN) 21

2.2.3 Red de área metropolitana (WMAN) 23

2.2.4 Red de área extendida inalámbrica (WWAN)	24
2.3 Característica de los estándares IEEE	25
2.3.1 Norma IEEE 802.11	28
2.3.2 Comparación de las Normas IEEE 802.11	34
2.3.3 Distribución de los canales en las Norma IEEE 802.11b y g	35
2.4 Tipos de redes móviles	39
2.4.1 Redes dedicadas (DSRC)	39
2.4.2 Redes móviles	41
2.5 Aplicaciones de las redes móviles	42
2.5.1 Redes académicas	42
2.5.2 Redes empresariales	42
2.5.3 Tecnologías inalámbricas para el gobierno	43
2.5.4 Tecnologías inalámbricas para la salud	43
2.5.5 Tecnologías inalámbricas para el transporte	44
2.5.6 Redes Industriales	45
2.5.7 Redes sociales	47
2.6 Aplicaciones futuras de las redes móviles	48
2.7 Evolución de redes inalámbricas	52
2.8 Arquitectura LTE	60
2.8.1 Funcionamiento de LTE	65
2.9 QoS en Redes móviles 4G	69
2.10 Medidas del performance de calidad de servicio	69
2.10.1 Modelos de calidad de servicios	72
2.11 Calidad de servicio sobre LTE	82
2.12 Software de simulación OPNET	88
2.13 Glosario de términos	106

### **CAPITULO III**

#### **VARIABLES E HIPOTESIS**

3.1 Definición de las variables	110
3.2 Operacionalizacion de variables	110
3.3 Hipótesis general e hipótesis específica	111

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA**

4.1	Tipo de investigación	113
4.2	Diseño de la investigación.	113
4.3	Población y muestra	116
4.4	Técnicas e instrumentos recolección de datos	116
4.5	Procedimiento estadístico y análisis de datos	116

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

5.1	Retardo medio de transmisión de mensaje	119
5.2	Modelado de trafico	122

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

6.1	Contrastación de hipótesis con los resultados	128
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	130

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

## **CAPITULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

## **CAPITULO IX**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

### **ANEXOS**

Matriz de Consistencia

Características del Software OPNET

## FIGURAS DE CONTENIDO

Figura 2.1: Tecnologías de redes inalámbricas	20
Figura 2.2: Tecnología de red inalámbrica WPAN	21
Figura 2.3: Tecnología de red inalámbrica WLAN	22
Figura 2.4: Tecnología de red inalámbrica WMAN	24
Figura 2.5: Tecnología de red inalámbrica WWAN	25
Figura 2.6: Disposición de equipos bajo la Norma 802.11b	32
Figura 2.7: Distribución de canales según Normas 802.11	36
Figura 2.8: Redes académicas	42
Figura 2.9: Redes empresariales	43
Figura 2.10: Redes informáticas para el gobierno	43
Figura 2.11: Redes informáticas para la salud	44
Figura 2.12: Redes informáticas para el transporte	45
Figura 2.13: Redes informáticas para la industria	47
Figura 2.14: Redes informáticas para redes sociales	48
Figura 2.15: Redes informáticas del futuro	49
Figura 2.16: Tecnologías de materiales para comunicaciones	50
Figura 2.17: Nuevas aplicaciones de las Telecomunicaciones	52
Figura 2.18: Evolución de las redes móviles	54
Figura 2.19: Tendencia de la evolución a LTE	60
Figura 2.20: Arquitectura de red LTE	64
Figura 2.21: Estructura de funcionamiento de Tecnología LTE	67
Figura 2.22: Arquitectura general de sistemas 4G	68
Figura 2.23: Crecimiento de tráfico en redes móviles	84
Figura 2.24: Presentación de Software OPNET	91
Figura 2.25: Establecimiento de proyecto	92
Figura 2.26: Configuración "Startup" del proyecto	93
Figura 2.27: Configuración "Startup Wizard" del proyecto	93

Figura 2.28: Configuración del proyecto	94
Figura 2.29: Escenario del proyecto	94
Figura 2.30: Recursos para el proyecto	95
Figura 2.31: Edición de atributos	95
Figura 2.32: Configuración del proyecto	96
Figura 2.33: Atributos (Nodo 1 del proyecto)	98
Figura 2.34: Atributos (Nodo 2 del proyecto)	98
Figura 2.35: "Choose Results" del proyecto	99
Figura 2.36: Network Nodo 1 y Nodo 2	99
Figura 2.37: Configure Simulación Escenario 1	100
Figura 2.38: Estructura del proyecto	102
Figura 2.39: Configuración de aplicaciones	102
Figura 2.40 Atributos de aplicaciones de la red	103
Figura 2.41: Configuración Video Conferencia	103
Figura 2.42: Configuraciones de la red	104
Figura 2.43: Atributo de perfiles	104
Figura 5.1: Gestión de movilidad en una red	120
Figura 5.2: Trafico de voz enviado y recibido	124
Figura 5.3: Trafico de paquetes de información	124
Figura 5.4: Retardo promedio punto a punto	125
Figura 5.5: Trafico Web enviado y recibido	125
Figura 5.6: Numero de paquetes transmitidos	126
Figura 5.7 Retardo promedio punto a punto	126

## TALAS DE CONTENIDO

Tabla 2.1 Comparación de estándares Wireless	38
Tabla 2.2 Familia de estándares 802.11	39
Tabla 2.3 Tendencias tecnológicas de redes móviles	53
Tabla 2.4 Características de LTE-APL	65
Tabla 2.5 Clases de trafico de información en la red	123

## RESUMEN

Esta tesis propone una arquitectura de calidad de servicios para el estándar 4G con la arquitectura LTE. Se han empleado consideraciones de los parámetros de calidad de servicio (retardo ancho de banda, variación de retardo, paquetes y encolamiento) de una red de comunicaciones 4G de LTE para mejorar el rendimiento de las aplicaciones elásticas (Tráfico Web, correo electrónico) e inelásticas (voz y video) ofreciendo una continuidad en la calidad de servicio extremo-extremo en una red IEEE 802.11.

La herramienta computacional empleado es el Software OPNET Modeler en entornos de movilidad y estáticos, en estos escenarios se muestra una mejora en el rendimiento de las aplicaciones LTE.

OPNET Modeler es uno de los simuladores más avanzados en el campo de las redes de telecomunicaciones. Quizás, la característica más relevante, lo que permite interactuar al usuario sin problemas y ofrece una gran facilidad de interpretación y creación de escenarios aparte de tener en cada objeto una serie de atributos configurables. Dispone de multitud de librerías, lo que permite simular gran diversidad de redes donde intervenga un amplio número de protocolos y variables específicas que el usuario puede modificar y estudiar. Número de paquetes perdidos, throughput, jitter, caída de enlaces, potencia de transmisión son algunos de los parámetros que se pueden controlar.

## **ABSTRACT**

This thesis proposes a quality of service architecture for estándar4G with LTE architecture. Have been employed considerations of QoS parameters (delay width band, jitter, and packet queuing) of a communications network 4G LTE to improve the performance of elastic applications (Web traffic, email) and inelastic (voice and video) providing continuity in the quality of end-end service in a network IEEE 802.11.

The software tool used is OPNET Modeler software in mobile environments and static, in these scenarios is shown an improvement in the performance of LTE applications.

OPNET Modeler is among the most advanced in the field of telecommunication networks simulators. Perhaps the most relevant feature, allowing the user to interact smoothly and offers ease of interpretation and creation of scenarios to take apart each object a number of configurable attributes. It has many bookstores, which simulates diverse networks where involving a large number of protocols and specific variables that you can modify and study. Number of lost packets, throughput, jitter, drop links, transmission power are some of the parameters that can be controlled.

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

### 1.1 Identificación del problema

El avance de las redes móviles en la actualidad se hace necesario en vista de la cada vez más creciente necesidad de aplicaciones que requieren velocidad y alcance, así las redes de hoy permiten implementar comunicación entre terminales lejanos y móviles sin necesidad de cables, procurando que esta comunicación se realice en tiempo real y con velocidades de acceso que van siendo mayores con el aumento de las necesidades.

La existencia de lugares de difícil acceso o el costo de la obra civil necesaria para la provisión de redes fijas es un limitante para éstas, en dichas situaciones resaltan la importancia de las redes móviles; asimismo éstos factores exigen el mejoramiento constante de las redes móviles generando la necesidad de creación de nuevas tecnologías o el mejoramientos de los anteriores para que la complementación de las redes físicas y los sistemas utilizados satisfagan una calidad del sistema de comunicación.

Una de las principales dificultades de las redes móviles es la satisfacción de la QoS (Calidad de servicio), es necesario tener parámetros de calidad, por lo que se crean estándares y son los que se consideran en el presente proyecto.

En relación a la QoS, los mismos servicios disponibles para los sistemas de comunicación 3G deberán estar disponibles para el usuario móvil. Pero como la movilidad habitualmente viene acompañada de un acceso a la red inalámbrico, su variabilidad hace difícil cumplir este requisito. Además, el movimiento del terminal móvil implica cambios frecuentes de punto de acceso o enlace a la red, un hecho que repercute muy perjudicialmente en las comunicaciones en curso. En este marco cambiante se pueden producir variaciones menores de la calidad percibida, que pueden ser ocultadas por el nivel de aplicación, sin embargo si se produce un cambio severo en las condiciones iniciales de la comunicación se requiere de la intervención del nivel de red para solucionarlo. Las arquitecturas de movilidad se encargan no sólo de la gestión de la localización de los usuarios móviles si no que también incluyen métodos para la gestión, asegurándose que los parámetros de Calidad de Servicio no se vean comprometidos por el movimiento, medioambiente, ruido ni otros factores transitorios del Sistema de Comunicación..

## 1.2 Formulación del problema

Pueden existir problemas de señal en el servicio y hasta falta del mismo, si el usuario se encuentra en el límite del área de cobertura ó si él se encuentra fuera del mismo. Aun estando dentro del área de cobertura y con buena señal, el nivel del servicio puede atenuar si la celda está congestionada. Por otra parte, no olvidemos que en eventos como, por ejemplo, las fiestas de fin de año y fechas similares se producen momentos de congestión que son inevitables y que obviamente afectan la percepción de calidad sobre el servicio.

Entre las principales causas de problemas, las fallas técnicas representan un porcentaje mínimo, siendo la principal la cobertura y seguido a ésta, la capacidad de usuarios de cada celda.

La solución de problemas de congestión y de cobertura es posible resolver con ampliaciones de capacidad y/o instalación de nuevas celdas o estaciones Radio Base. Pero este tipo de trabajos necesariamente requiere un costo y tiempo debido al aspecto crítico y las características del mismo. Este es el tiempo que el cliente estará afectado. La solución de despliegue puede tomar meses en terminarse. Otras fallas como problemas técnicos de la celda son solucionadas en cuestión de horas o, máximo días.

Los trabajos de ingeniería para el diseño de ampliación de capacidad y puesta en servicio de nuevas celdas se realizan permanentemente. Por otra parte, el crecimiento en las ventas de modem varía en proporción diferente cada año y en cada lugar. Por consiguiente, la solución de los

problemas de congestión o cobertura toma su tiempo, y se ejecutan con el conocimiento previo del tráfico de cada zona.

No obstante, se trabaja de manera incesante en la adecuación permanente de las redes a las nuevas tecnologías y satisfacer la demanda de los usuarios.

- **Generales:**

- ¿Cómo es la estructura de los sistemas de comunicaciones móviles 4G.?

- ¿Qué métodos, tecnología e instrumentos, se usarán en la implementación del proyecto?

- ¿Qué software especializado se aplicará en este diseño?

- **Específicas:**

- ¿Qué normas ó estándares se aplican en la industria de las telecomunicaciones?

- ¿Qué es calidad de servicio QoS?.

- ¿Qué es contraste y calibración de equipos?

- ¿Qué es analizador de espectro?

- ¿Qué es S/N, C/N?.

- ¿Para qué sirve el prototipo de investigación?

- ¿Qué es una onda de Radio?.

- ¿Qué es polarización?

- ¿Qué es espectro electromagnética?

- ¿Qué es propagación en el espacio libre?

- ¿Cómo se determina la energía de una onda de radio?

¿Qué es un modem ?.

¿Qué es un modulador análogo, digital ?.

¿Qué es una antena y su patrón de radiación ?.

¿Qué consideraciones se tiene para el montaje en RF?

¿Cómo se mide la potencia de una antena?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 General:**

En el presente proyecto se tiene el objetivo de evaluar los parámetros de calidad de servicio para las redes de comunicaciones móviles de cuarta generación (4G) en relación con las redes de comunicación móviles de tercera generación (3G), considerando las mismas condiciones de operación.

Para lo cual se desarrolla un escenario de pruebas real para observar el comportamiento de los distintos protocolos que proporcionan movilidad a nivel de red (nivel IP) y cuantificar (a nivel estadístico) como se ven degradados dichos parámetros de QoS. asociados a las comunicaciones en curso y posteriormente poder realizar una comparación objetiva del comportamiento de dichos protocolos de Movilidad IP.

### 1.3.2 Específico:

Los parámetros de Calidad de Servicio que se pretende evaluar son:

- Latencia de Handover (intervalo de tiempo en que el nodo móvil cambia de punto de acceso a la red y no puede recibir paquetes IP).
- Pérdida de paquetes (Paquetes IP perdidos en el proceso de handover).
- Retardo de los paquetes debido al handover (One Way Delay)  
Variación del retardo de los paquetes (Inter Packet Delay Variation o Jitter)

La QoS (Calidad de Servicio) ha sido siempre uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño, despliegue y optimización de una red de telefonía móvil.

La actual evolución de estas redes para dar soporte a los nuevos servicios y el crecimiento del número de usuarios hace necesario que las prestaciones de la red sean, además, evaluadas en forma constante, de forma que se puedan identificar posibles problemas de la red o parámetros susceptibles de ser modificados para mejorar la calidad de servicio ofrecida por la red.

Por este motivo se dispone de una herramienta que nos permita realizar medidas de accesibilidad de la red, de accesibilidad del servicio y de la integridad de los mismos directamente desde el terminal de usuario permitiría completar con información privilegiada el

triángulo que conforman la red, los servicios y los clientes. La herramienta software OPNET, está orientada a cumplir con ese objetivo.

#### **1.4 Justificación**

La ejecución del presente trabajo de investigación, se justifica por su:

- **Naturaleza**

A la fecha, en nuestro medio, no existen investigaciones en el país sobre el análisis de la calidad de servicio en redes de comunicaciones móviles de cuarta generación (4G). Vemos que este tema no se estudia y analiza de manera cuantitativa ni cualitativa.

Se explica ésta carencia, por la falta de herramientas computacionales para el desarrollo de estos trabajos, en tal sentido, se justifica el presente proyecto

- **Magnitud**

Los laboratorios de Telecomunicaciones de las universidades públicas y privadas del país y del mundo, no prestan atención al estudio de la calidad de servicio porque consideran que éstas son inherentes a las operadoras internacionales de comunicaciones móviles.

- **Vulnerabilidad y Trascendencia.**

El problema de investigación es vulnerable, porque es posible investigar, evaluar, estudiar, diseñar modelo de estimación del calidad de control y aplicar un prototipo para la simulación, el cual puede ir mejorando cada vez más en función a la evolución del sistema y/o de las herramientas computacionales del modelo de evaluación y generalizar el producto.

- **Práctica u Organizacional**

Los resultados de la investigación, se aplican en beneficio de las empresas operadoras que explotan de servicios de telecomunicaciones en el Perú, instituciones del gobierno que fiscalizan el servicio de las comunicaciones con las redes móviles, así como para otros investigadores e instituciones relacionadas con el estudio y aplicación de las telecomunicaciones móviles.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Introducción**

En la actual década, las comunicaciones móviles y las redes inalámbricas se han constituido en la tecnología más determinante en el modo como el usuario interpreta la comunicación y el intercambio de información. La comunicación interpersonal y el acceso a contenidos multimedia de importancia para el usuario, independiente del lugar, tiempo y dispositivos de acceso, expanden la era de la comunicación masiva de datos móviles. Con el desarrollo de la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil, el que está basada totalmente en IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para brindar velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps. en

reposo; manteniendo un servicio de punto a punto con alta seguridad y permitiendo ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, con un mínimo coste. Esta convergencia de tecnologías surge de la necesidad de agrupar los diferentes estándares en uso con el fin de delimitar el ámbito de funcionamiento de cada uno de ellos y con el fin también de integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario. La cuarta generación está diseñada para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más económica. Entre las Tecnologías favoritas para consolidar la cuarta generación están considerados a WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) y LTE. (Long Term Evolution). Sobre la posibilidad de que LTE y WiMAX sean tecnologías complementarias, algunos expertos afirman que ambas tecnologías podrán co-existir en algunas regiones, y que los operadores podrán utilizar WiMAX para algunos servicios y LTE para otros.

El objetivo de estas tecnologías son, el de garantizar una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando siempre el sistema que mejor servicio proporcione.

En resumen, el sistema 4G debe ser capaz de compartir dinámicamente y utilizar los recursos de red economizando los requerimientos del usuario.

## 2.2 Tecnologías de redes inalámbricas

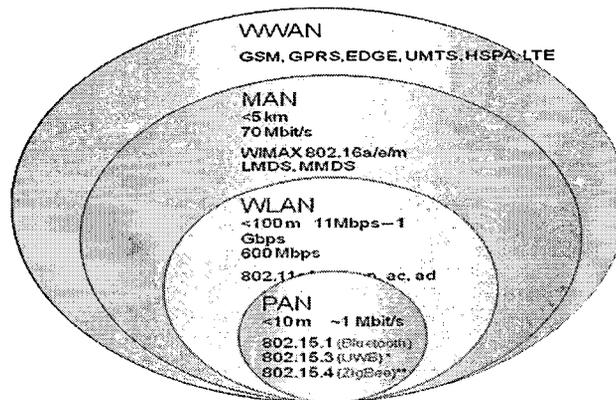
Las tecnologías inalámbricas son aquellas que permiten una comunicación en la cual, el emisor y el receptor no están unidos por cables, los elementos físicos que emiten y reciben el mensaje se encuentran solamente en el lugar de emisión y recepción, respectivamente. Los dispositivos que cuentan con alguna de las tecnologías inalámbricas hoy en día son usualmente antenas, computadoras portátiles, PDA's, teléfonos móviles, reproductores multimedia y otros. En estos casos la transmisión de datos toma lugar en una red inalámbrica, a través de diferentes puertos. Una red inalámbrica puede ser de corta distancia, o de larga distancia. Una de larga distancia es utilizada para comunicaciones entre diferentes ciudades o países, mientras que una de corta distancia es usada dentro de un mismo edificio, o entre varios edificios cercanos.

Los primeros sistemas inalámbricos para datos eran dependientes del fabricante y además muy lentos. Con los avances tecnológicos han surgido estándares para comunicar sistemas informáticos y dispositivos mediante ondas de radio ó luz infrarroja, con los que la transmisión de datos es muy eficiente.

En este capítulo, se evalúan las tecnologías inalámbricas actuales que están siendo cada día más utilizadas y nombradas. Se estudian enmarcándolas dentro de tres áreas en las que se trabaja actualmente: Tecnologías de comunicaciones según su clasificación por alcance o cobertura tales como WPAN, WLAN, WMAN, WWAN Tecnologías de

localización (GPS, GLONASS y GNSS) y Tecnologías de identificación (RFID).

**FIGURA N° 2.1**  
**TECNOLOGIAS DE REDES INALAMBRICAS**



### 2.2.1 Red de área personal inalámbrica (WPAN)

Son redes cuyo concepto está centrado en las personas y que les permite al usuario establecer comunicaciones utilizando sus dispositivos personales (Computadoras personales, agendas electrónicas, tableros electrónicos, PDAs), estableciendo conexión inalámbrica con el mundo externo. Su alcance es desde un (01) metro hasta cien (100) metros dependiendo de las especificaciones técnicas.

Algunos sistemas implementados en esta tecnología son: Bluetooth, IRDA (Infrarrojo), RFID, ZigBee.

#### **Ventajas:**

- a) Bajo costo
- b) Conexión rápida y sencilla

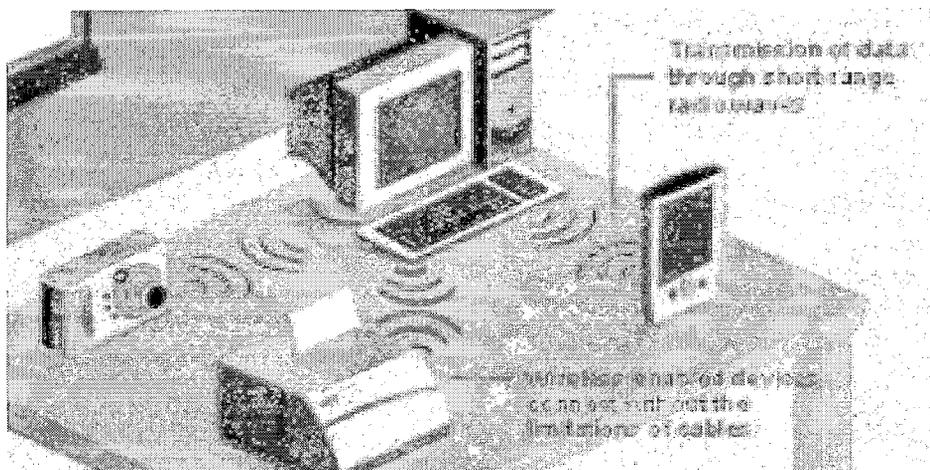
- c) Debido a que esta tecnología nació del grupo SIG (Special Interest Group), conformado por las compañías 3COM, Ericson, IBM, Intel, Microsoft, Motorola, Nokia y Toshiba es prácticamente universal.

**Desventajas:**

- a) Las distancias de comunicaciones son por lo general limitadas.  
b) La velocidad de comunicación es lenta.  
c) Es un sistema vulnerable por ataques informáticos (bluehacking)

**FIGURA N° 2.2**

**TECNOLOGIA DE RED INALAMBRICA WPAN**



**2.2.2 Red de área local inalámbrica (WLAN)**

Son sistemas de comunicación de datos inalámbricos flexibles, muy utilizado como alternativa a las redes de área local cableadas o como extensión de éstas. Fiable hasta los cien (100) metros de distancia que por razones de congestión de espectros por interferencia de señal como paredes, estado del clima, etc. Pueden disminuir su confiabilidad.

### **Ventajas:**

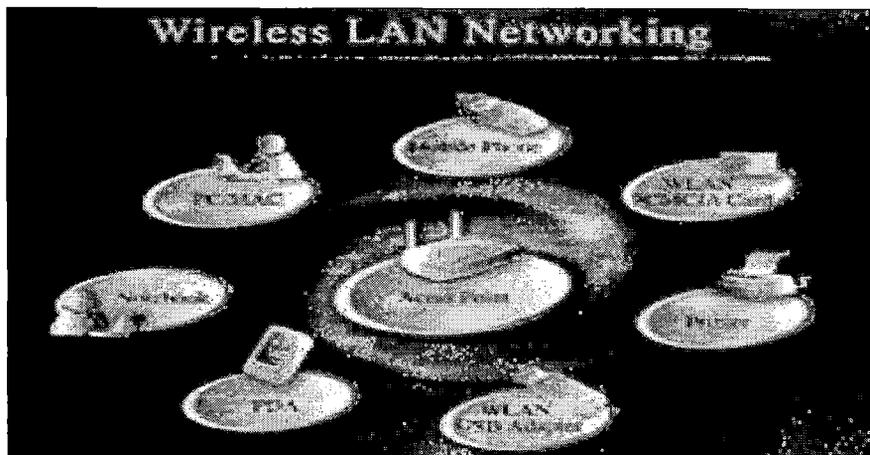
- a) Representa bajo costo de implementación comparado con tecnología LAN.
- b) Presenta mayor flexibilidad en la adaptación al medio en el que está implementado.
- c) Por factores de aceptación se aplica en hogares, hospitales, empresas, lugares públicos, etc. Muchas organizaciones han optado por investigar , lo cual permite incrementar escalabilidad.

### **Desventajas:**

- a) No alcanza la velocidad de transmisión respecto a la red LAN cableada.
- b) Es también vulnerable a los ataques informatices debido a que no posee cables para la transmisión de datos, su medio de transmisión es el aire, por lo que requiere realizar buena configuración de los accesos Point, configuración de la seguridad de acceso WPA y no WEP.

**FIGURA N° 2.3**

### **TECNOLOGIA DE RED INALAMBRICA WLAN**



### **2.2.3 Red de área metropolitana (WMAN)**

Son sistemas inalámbricos que emplean normas de transmisión de datos que utiliza ondas de radio en las frecuencias de 2.3 a 3.5 GHz; alcanzando distancia de hasta 80 kilómetros, empleando antenas direccionales de alta ganancia y se tiene la posibilidad de cubrir toda una región o país.

Las velocidades de transmisión alcanzan 75 Mbps, siempre que el espectro este despejado.

Los sistemas implementados en esta tecnología son WIMAX, LTE.

#### **Ventajas:**

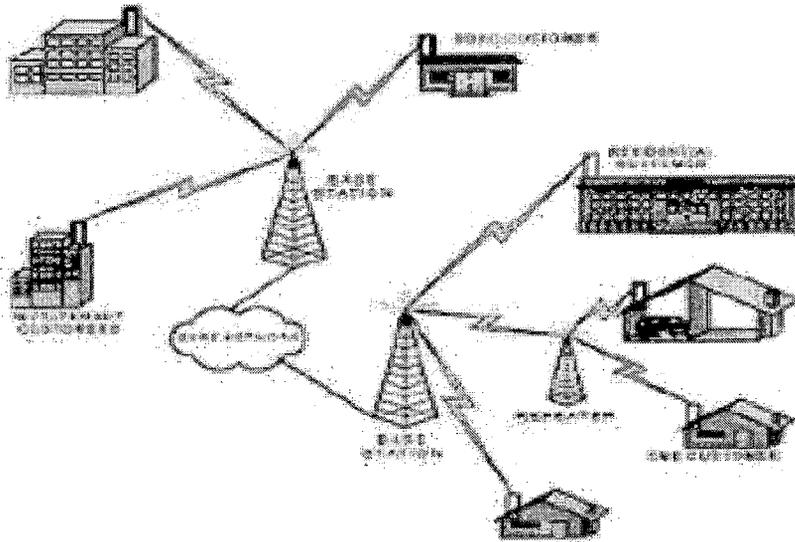
- a) Presenta gran ancho de banda: de modo que una sola estación base puede cubrir mas de 60 conexiones T1 o centenas de conexiones DSL.
- b) Tiene las características de independencia de protocolo, puede soportar, entre otros IP, Ethernet y ATM.
- c) La característica anterior permite que sea compatible con otros estándares.
- d) Puede emplearse para transmitir otros servicios añadidos como VoIP, datos, videos.
- e) Soporta antenas inteligentes (Smart antennas), lo cual favorece la eficiencia espectral.

#### **Desventajas:**

- a) Es la limitación de potencia para proveer interferencias con otros sistemas.

b) Presenta alto consumo de batería en los dispositivos

**FIGURA N° 2.4**  
**TECNOLOGIA DE RED INALAMBRICA WMAN**



#### **2.2.4 Red de área extendida inalámbrica (WWAN)**

Son redes inalámbricas que usan tecnología de red celular de comunicaciones móviles, por lo que dependiendo del tipo de tecnología generan un costo por tiempo de transmisión (establecimiento de llamadas, comunicación de datos, consulta de página web por WAP).

Para la aplicación de estas tecnologías es imprescindible la presencia de un proveedor de servicio de comunicaciones.

Los sistemas implementados en esta tecnología son GSM, GPRS, UMTS.(3G), LTE (4G).

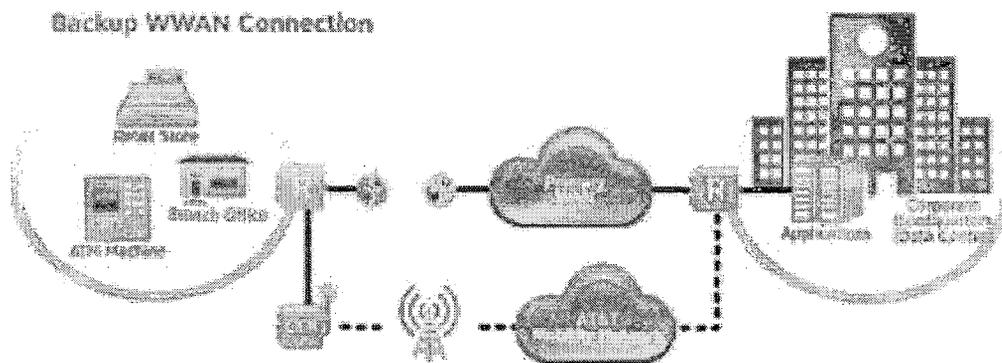
### **Ventajas:**

- a) Presenta objetivos principales de movilidad, comodidad y accesibilidad.
- b) Gran cobertura de servicio en áreas nacionales y algunas internacionales (Roaming Internacional).

### **Desventajas:**

- a) Es necesario suplir costos del servicio de forma prepago o post pago, debido a que los servicios que presta es un proveedor.

**FIGURA N° 2.5**  
**TECNOLOGIA DE RED INALAMBRICA WWAN**



### **2.3 Características de los estándares IEEE**

El protocolo IEEE 802.11 o WI-FI es un estándar de protocolo de comunicaciones de la IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general,

los protocolos de la rama 802.11x definen la tecnología de redes de área local. Otro de los estándares definidos y que trabajan en este mismo sentido es el ETSI HIPERLAN.

El estándar original de este protocolo data de 1997, fue el IEEE 802.11, tenía velocidades de 1 hasta 2Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2,4GHz con una modulación de señal de espectro expandido por secuencia directa (DSSS), ó con espectro expandido por salto de frecuencia, FHSS y se definió el funcionamiento y la interoperabilidad entre redes inalámbricas.

El método de acceso al medio MAC (Medium Access Mechanism) es mediante monitoreo pero sin detección de colisión, CSMA/CA (Carrier Sense Múltiple Access with Collision Avoidance). La dificultad en detectar la portadora en el acceso WLAN consiste básicamente en que la tecnología utilizada es Spread-Spectrum y con acceso por división de código (CDMA), lo que con lleva a que el medio radioeléctrico es compartido, ya sea por secuencia directa DSSS o por saltos de frecuencia en FHSS. El acceso por código CDMA implica que pueden coexistir dos señales en el mismo espectro utilizando códigos diferentes, y eso para un receptor de radio implicara que detectaría la portadora inclusive con señales distintas de las de la propia red WLAN. Hay que mencionar que la banda de 2,4GHz está reglamentada como banda de acceso pública y en ella funcionan gran cantidad de sistemas, entre los que se incluyen los teléfonos inalámbricos Bluetooth. (Según el Plan Nacional de Frecuencias,

esta banda es asignada para Telefonía Fija, Móvil, Radio localizadores, y Aficionados)

El término IEEE 802.11 se utiliza también para referirse a este protocolo al que ahora se conoce como "802.11legacy." La siguiente modificación se produjo en 1999 y fue designada como IEEE 802.11b, esta especificación tiene velocidades de 5 hasta 11Mbps, también trabajaba en la frecuencia de 2,4GHz.

Se realizó una especificación sobre una frecuencia de 5Ghz, que alcanzó los 54Mbps, era la 802.11a y resultaba incompatible con los productos de la 802.11b y por motivos técnicos casi no se desarrollaron productos con esta norma. (Según el Plan Nacional de Frecuencias, esta banda es asignada para Telefonía Fija, Móvil (salvo móvil aeronáutico), Radio astro, e Investigación Espacial) Posteriormente se incorporó un estándar a esa velocidad y compatible con el 802.11b, que es el estándar 802.11g.

En la actualidad la mayoría de productos son de las especificaciones 802.11b y 802.11g. El primer estándar de esta familia que tuvo una amplia aceptación fue el 802.11b. Ahora en el 2006, la mayoría de los productos que se comercializan siguen el estándar 802.11g con compatibilidad hacia 802.11b.

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan bandas de 2,4Ghz que no necesitan de permisos para su uso. El estándar 802.11a utiliza la banda de 5GHz. Las redes que trabajan bajo los estándares 802.11b y 802.11g pueden sufrir interferencias por parte de hornos microondas, teléfonos inalámbricos y otros equipos que utilicen la misma banda de 2,4Ghz.

A finales de la década de los 90, los líderes de la industria inalámbrica (3Com, Aironet, Lucent, Nokia, etc.) crean la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), una alianza para la Compatibilidad Ethernet Inalámbrica, cuya misión es la de certificar la inter funcionalidad y compatibilidad de los productos de redes inalámbricas 802.11b y promover este estándar para la empresa y el hogar. Para indicar la compatibilidad entre dispositivos inalámbricos, tarjetas de red o puntos de acceso de cualquier fabricantes, se les incorpora el logo "Wi-Fi" (estándar de Fidelidad Inalámbrica), y así los equipos con esta marca, soportada por más de 150 empresas, se pueden incorporar en las redes sin ningún problema, siendo incluso posible la incorporación de terminales telefónicos Wi-Fi a estas redes para establecer llamadas de voz

### **2.3.1 NORMA IEEE 802.11**

El subcomité 802.11 fue establecido en septiembre de 1990 con el fin de producir una especificación de red local inalámbrica capaz de transmitir información a velocidades entre 1 y 10Mbps, con flexibilidad, movilidad, y proporcionar el soporte necesario para la transferencia de archivos, conversaciones de voz y control de procesos en tiempo real.

El estándar IEEE 802.11, cuya revisión final fue aprobada el en junio de 1997,

Define el funcionamiento e inter operatividad de las redes inalámbricas. La especificación del IEEE ha elegido la banda ISM

para la definición del estándar de WLAN, garantizando su validez global por ser una banda disponible a nivel mundial.

La banda ISM es para uso comercial sin licencia, limitando la potencia de transmisión para las redes locales inalámbricas a 100mW. La norma no especifica tecnologías ni aplicaciones, sino simplemente las especificaciones para la capa física para la transmisión inalámbrica y la capa de control de acceso al medio MAC.

- **Norma IEEE 802.11a**

**Características**

- Velocidad máxima de hasta 54Mbps.
- Opera en el espectro de 5Ghz.
- Menos saturado.
- No es compatible con las normas: 802.11b y 802.11g.
- Modulación de OFDM.

En 1997 el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) crea el Estándar 802.11 con velocidades de transmisión de 2Mbps. En 1999, el IEEE aprobó ambos estándares: el 802.11a y el 802.11b. En 2001 se lanzaron al mercado los productos del estándar 802.11a. La revisión 802.11a al estándar original fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5Ghz y utiliza 52 subportadoras orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) con una velocidad máxima de 54Mbps, lo que lo hace un estándar

práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbps.

La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbps según el caso. La norma 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede inter operar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares. (Tarjetas NIC a/b)

Dado que la banda de 2.4Ghz tiene gran uso (pues es la misma banda usada por los teléfonos inalámbricos y los hornos de microondas, entre otros aparatos), el utilizar la banda de 5GHz representa una ventaja del estándar 802.11a, dado que se presentan menos interferencias. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso; Esto significa también que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

#### **Transmisión Exterior**

- Valor Máximo A 30 metros 54Mbps
- Valor Mínimo A 300 metros 6Mbps

#### **Transmisión Interior**

- Valor Máximo A 12 metros 54Mbps

- Valor Mínimo A 90 metros 6Mbps

Estándar liberado en el año 2003, por lo que su índice de penetración es escaso. El utilizar canales en la banda de 5GHz es la diferencia fundamental con el estándar 802.11 b y 802.11g. El uso de un elevado número o de canales ayuda a evitar los problemas a nivel de interferencias si bien plantea el problema de que esos rangos de frecuencia se han usado en determinado momento para aplicaciones militares aunque es un rango de frecuencia liberado para su uso.

- **Normas IEEE 802.11b**

#### **Características**

- Velocidad máxima de hasta 11Mbps.
- Opera en el espectro de 2.4Ghz sin necesidad de licencia.
- Las mismas interferencias que para 802.11.
- Conocido como WIFI.
- Modulación DSSS.
- Compatible con los equipos DSSS del estándar 802.11.

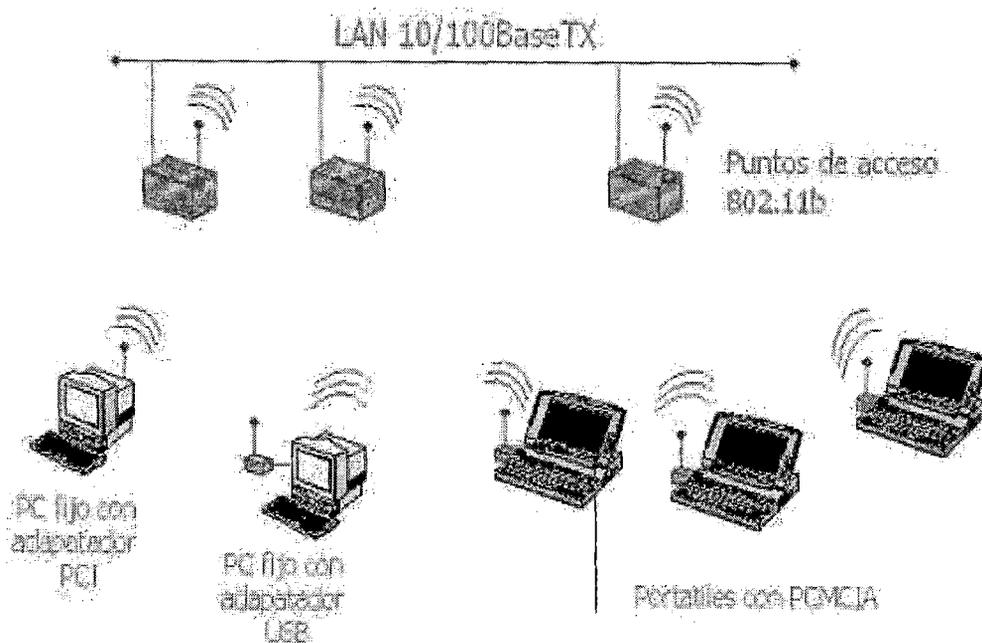
La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. La norma 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11Mbps y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 a 2.497GHz del espectro radioeléctrico. El método de modulación

seleccionado para el 802.11b se conoce como espectro de difusión de secuencia directa complementaria (DSSS) y utiliza la llave de código complementario (CCK).

Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9Mbps sobre TCP y 7.1Mbps sobre UDP. Actualmente cuenta con el mayor grado de implantación al llevar varios años disponibles en el mercado, lo que ha permitido una notabilísima reducción de los precios de los equipos requeridos para su uso

**FIGURA N° 2.6**

**DISPOSICION DE EQUIPOS BAJO LA NORMA 802.11b**



- **Normas IEEE 802.11g**

**Características:**

- Velocidad máxima de hasta 54Mbps.
- Opera en el espectro de 2.4Ghz sin necesidad de licencia.
- Compatible con 802.11b.
- Modulación DSSS y OFDM.

En Junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Este utiliza la banda de 2.4Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54Mbps, o cerca de 24.7Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar 802.11b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar 802.11g la presencia de nodos bajo el estándar 802.11b reduce significativamente la velocidad de transmisión. .

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación. Esto se debió en parte a que para construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar 802.11b.

Actualmente se venden equipos con esta especificación, con potencias hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de hasta 50km con antenas parabólicas apropiadas.

El principal problema que puede plantear un despliegue masivo de los estándares 802.11b y 802.11g, se basa en la necesidad de realizar una normalización estricta desde entornos reguladores oficiales, puesto que la división de canales establecida para el rango de frecuencia utilizado por estos dispositivos (2,4GHz), provoca interferencias entre equipos cuyas zonas de cobertura se solapen, que pueden llegar a impedir el uso de ambas redes de una forma eficiente.

### **2.3.2 Comparación de las Normas IEEE 802.11**

Comparación 802.11b y 802.11 g Similar a la 802.11b, la norma 802.11g, opera en la banda de los 2.4GHz y la señal transmitida usa aproximadamente 30MHz, lo cual es una tercera parte de la banda, esto limita para 802.11g el numero de AP no solapadas a tres, lo cual es lo mismo que la 802.11b, esto significa que tiene el mismo problema de asignación de canales que la 802.11b cuando cubre una área grande donde hay una alta densidad de usuarios. La solución sería bajar la potencia de cada AP, lo que permite colocar AP más cercanos.

Un gran problema con la 802.11g que también se aplica a la 802.11b se refiere a la interferencia en RF de otros aparatos que usan la banda de 2.4GHz, tales como teléfonos inalámbricos, microondas, etc.

### **2.3.3 Distribución de los canales en las normas 802.11b y 802.11g**

Los estándares IEEE 802.11b e IEEE 802.11g tienen aceptación internacional debido a que la banda de 2.4GHz, es una banda ISM disponible a nivel mundial con velocidades de hasta 11Mbps y 54Mbps, respectivamente.

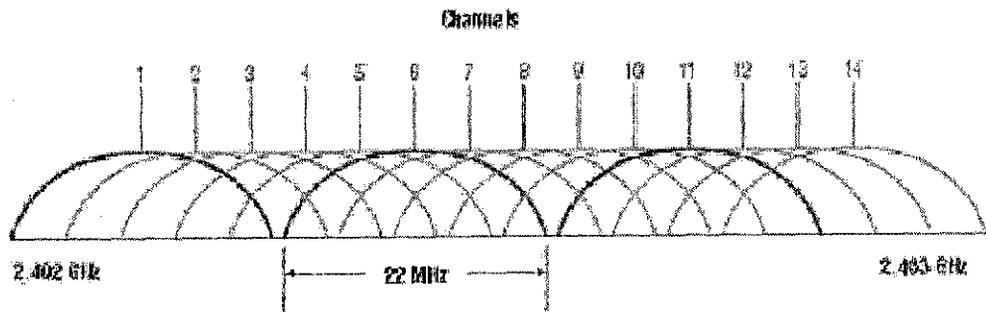
Comparación 802.11g y 802.11a La diferencia de la norma 802.11a con la 802.11g es que opera en la banda de los 5GHz con 12 canales no solapados, se puede tener 12 AP en diferentes canales en una misma área sin que ellos se interfieran entre si. Esto hace mucho más fácil la asignación de canales a los AP y significativamente incrementar el rendimiento que una WLAN puede brindar en un área determinada.

Existe menos interferencia en la banda de 5GHz debido a que es menos poblada. Al igual que la norma 802.11g, la norma 802.11a entrega 54Mpps. En la norma 802.11a se emplean sistemas de frecuencia más bajas que las empleadas con las normas 802.11g y 802.11b. Esto incrementa el costo del sistema ya que se necesitan mayor número de AP's para cubrir un área dada.

Podemos decir que tanto la norma 802.11a y 802.11g operan con 54Mbps usando codificación OFDM. La 802.11a provee mayor capacidad y tiene menos interferencias ya que opera en a banda de 5GHz, es relativamente fácil y con un costo eficaz, sin embargo, para migrar a una red 802.11g u 801.11b resulta casi imposible ya que tienen poca interoperabilidad.

FIGURA N° 2.7

DISTRIBUCION DE CANALES DE NORMAS 802.11



En lo que respecta al estándar 802.11a, al utilizar una mayor banda y 13 canales se presentan como una mejor opción para aquellos usuarios o aplicaciones que necesiten mayor densidad y mayor velocidad de transmisión de datos. Inconvenientes de la norma 802.11a El principal problema con 802.11a es que no es compatible directamente con redes 802.11b o 802.11g. Un usuario equipado con una tarjeta inalámbrica 802.11b u 802.11g no podrá unir directamente a un AP 802.11a.

En la mayoría de países que conforman Europa tiene problemas, ya que opera en la banda de los 5GHz. En lo que respecta al estándar 802.11g, este adapta la tecnología OFDM hasta conseguir una velocidad de transmisión de datos de 54Mbps en la misma banda que utiliza el estándar 802.11b, es decir la de los 2.4GHz. Esto se traduce en que se consigue la misma velocidad de transmisión de datos que el protocolo 802.11a y es compatible con los dispositivo desarrollados bajo el protocolo 802.11.

El principal problema con 802.11<sup>a</sup> es que no es compatible directamente con redes 802.11b o 802.11g. Un usuario equipado con una tarjeta inalámbrica 802.11b u 802.11g no podrá unir directamente a un AP 802.11,

En lo que respecta al estándar 802.11g, este adapta la tecnología OFDM hasta conseguir una velocidad de transmisión de datos de 54 Mbps en la misma banda que utiliza el estándar 802.11b, es decir la de los 2.4Ghz. Esto se traduce en que se consigue la misma velocidad de transmisión de datos que el protocolo 802.11a y es compatible con los dispositivos desarrollados bajo el protocolo 802.11b.

Actualmente se está desarrollando la 802.11n, que se espera que alcance los 500 Mbps. La seguridad forma parte del protocolo desde el principio y fue mejorada en la revisión 802.11i. Otros estándares de esta familia (c-f, h-j, n) son mejoras de servicio y extensiones o correcciones a especificaciones anteriores.

**TABLA N° 2.1**  
**COMPARACION DE ESTANDARES WIRELESS**

Estándar	Estándares Wireless		
	802.11b	802.11a	802.11g
Velocidad	Hasta 11Mbps	Hasta 54 Mbps	Hasta 54 Mbps
Canales no solapados	3	8	3
Costo	Barato	Relativamente caro	Relativamente barato
Banda de Frecuencia	2.4-2.497GHz	5.15-5.35GHz 5.425-5.675GHz 5.725-5.875GHz	2.4-2.497GHz
Cobertura	Buena cobertura, 100m en interior y 300 a 400m en exterior, con buena conectividad con determinados obstáculos.	Cobertura baja, 50m. En interior y 150 m en interior y 150 m en exterior con mala conectividad con obstáculos	Buena cobertura, 100m en interior y 300 a 400m en exterior, con buena conectividad con determinados obstáculos.
Acceso Público	El numero de HotSpots crece exponencialmente	Ninguno en este momento	Compatible con los HotSpots actuales de 802.11b. El paso a 802.11g no es traumático para los usuarios
Compatibilidad	Compatible con 802.11g y no compatible con 802.11a	Incompatible con 802.11b y g	Compatible con la 8002.11b, no es compatible con la 802.11a
Modos de Datos	1,2,5,5,11Mbps	6,9,12,18,24,36,48, 54 Mbps	1,2,5,5,11Mbps 6,9,12,18,34,36,48 Mbps
Modulación	CCK(DSSS)	OFDM	OFDM Y CCK (DSSS)

**TABLA N° 2.2**  
**FAMILIA DE ESTANDARES 802.11**

Estándar	Descripción
802.11	Estándar WLAN original. Soporta de 1 a 2Mbps.
802.11a	Estándar WLAN de alta velocidad en la banda de los 5GHz. Soporta hasta 54Mbps.
802.11b	Estándar WLAN para la banda de 2.4GHz. Soporta 11Mbps.
802.11e	Está dirigido a los requerimientos de calidad de servicio para todas las interfaces IEEE WLAN de radio.
802.11f	Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores.
802.11g	Establece una técnica de modulación adicional para la banda de los 2.4GHz. Dirigido a proporcionar velocidades de hasta 54Mbps.
802.11h	Define la administración del espectro de la banda de los 5GHz para su uso en Europa y en Asia Pacifico.
802.11i	Está dirigido a abatir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación.

## 2.4 Tipos de Redes móviles

### 2.4.1 Redes Dedicadas (DSRC)

**DSRC** es una tecnología que pretende ser un complemento para las comunicaciones celulares, proporcionando tasas muy altas de transferencia de datos, en circunstancias donde sea necesario aislar zonas relativamente pequeñas y reducir al mínimo el factor "Latencia" de las comunicaciones.

A continuación se detallan las características más relevantes de DSRC

- Ancho de banda: 75 MHz.
- Frecuencia de trabajo: 5.8 GHz (Europea)

- Alcance: entre 100 metros y 1000 metros, en función de las condiciones del entorno.
- Puede llegar a proporcionar un tiempo de latencia de 200 useg entre comunicaciones punto a punto.
- Tasa de transmisión de 6Mbps a 27 Mbps, para comunicaciones entre vehículos: 18 Mbps.
- Basado en la capa física de IEEE 802.11p (OFDM)
- Soporta comunicaciones punto a punto y Broadcast DSRC y pretende proporcionar servicios de comunicación a media-corta distancia dentro de carreteras entre vehículos e infraestructuras con fines de seguridad.

DSRC tiene dos usos principales:

- Seguridad vial: sistema de alerta de emergencia para vehículos, prevención de colisiones en intersecciones, alertas de aproximación de vehículos de emergencia, inspecciones de seguridad de vehículos, señalización de prioridad de vehículos, etc.
- Transacciones comerciales e información de viaje: pago automático de servicios en autovías, parking, etc. información en ruta sobre tráfico, dirección, restaurantes, etc.
- El estudio realizado en el presente trabajo, está basado en la tecnología DSRC así como los parámetros que le definen, los

cuales son extraídos de los diferentes documentos que se refieren al mismo.

### **2.4.2 Redes móviles**

Las características más importantes a considerar en las redes móviles son:

- **Comunicación inalámbrica:** Los nodos se comunican de forma inalámbrica.
- **Movilidad:** Al no depender de un medio físico los nodos pueden moverse libremente, lo que provoca que la topología de la red se vea modificada continuamente..
- **Autónomos y sin infraestructura:** cada nodo realiza comunicaciones punto a punto (peer to peer), realiza funciones de encaminamiento y genera datos independientemente.
- **Encaminamiento "multishop":** Cada nodo realiza la función de router, enviando la información a los diferentes nodos.
- **Ancho de banda limitado:** como se hizo mención, el ancho de banda en una interfaz inalámbrica es menor al de una cableada. Además las comunicaciones se ven atenuadas por interferencias de señales electromagnéticas y por diferentes obstáculos.
- **Consumo de energía:** los nodos están alimentados por baterías de forma que para ahorrar energía, la potencia de transmisión queda limitada en las zonas móviles.

## 2.5 Aplicaciones presentes de las redes móviles

### 2.5.1 Redes Académicas

Las redes inalámbricas permiten a las escuelas proporcionar una amplia gama de aplicaciones en sus instalaciones sin necesidad de realizar caros cableados, dando a los estudiantes y al personal acceso a prestaciones tales como e-learning, comunicaciones de voz y acceso a Internet de banda ancha, con el fin de mejorar el aprendizaje, la administración, y los esfuerzos de investigación.

**FIGURA N° 2.8**  
**REDES ACADEMICAS**



### 2.5.2 Redes empresariales

Empresas de servicios financieros pueden proveer a los empleados móviles de acceso instantáneo a las tendencias de la industria, datos de clientes, e información financiera, ayudando a las empresas a mejorar radicalmente el servicio al cliente permitiendo de esta manera una entrega más rápida de productos y servicios

**FIGURA N° 2.9**  
**REDES EMPRESARIALES**



### **2.5.3 Tecnologías inalámbricas para el gobierno**

Fuerzas de seguridad y los organismos policiales pueden disponer de acceso instantáneo, ininterrumpido, y seguro a información crucial, ayudando a responder de forma más rápida y eficaz en las tareas de seguridad nacional.

**FIGURA N° 2.10**  
**REDES INFORMATICAS PARA EL GOBIERNO**

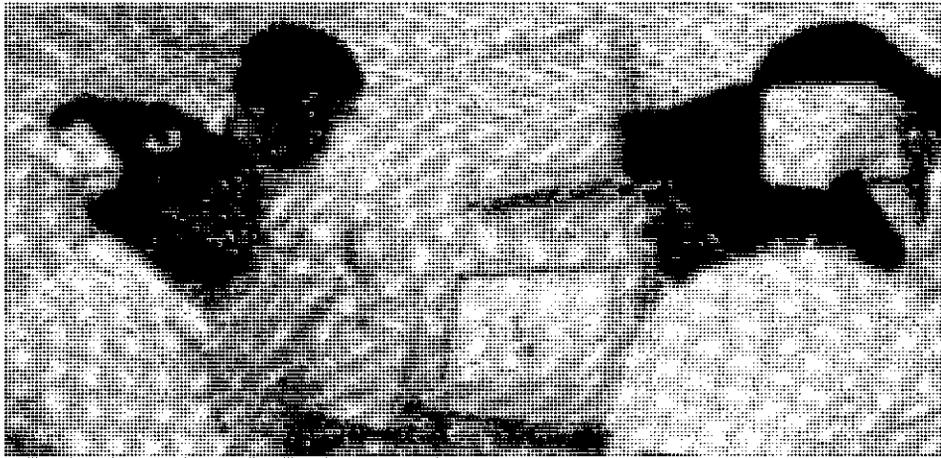


### **2.5.4 Tecnologías inalámbricas para la salud**

Los médicos pueden tener acceso en tiempo real a la información del paciente de cara a poder tomar decisiones más precisas y con mayor

rapidez, que permitan seguir prestando asistencia sanitaria de calidad. Las redes inalámbricas también permiten realizar un seguimiento / control del valioso equipamiento médico para su seguridad y disponibilidad cuando sea necesario a nivel local o remoto.

**FIGURA N° 2.11**  
**REDES INFORMATICAS PARA LA SALUD**

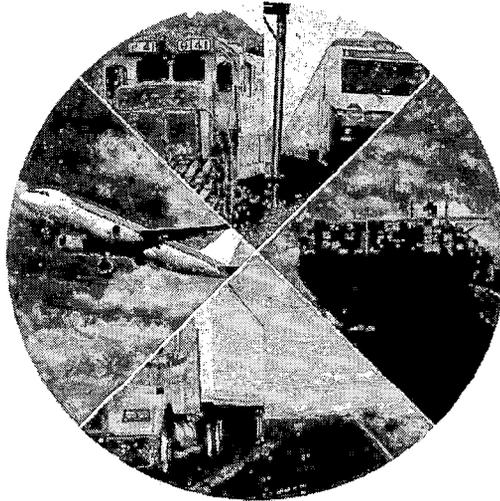


### **2.5.5 Tecnologías inalámbricas para el transporte**

Las líneas aéreas, ferrocarriles, empresas de camiones comerciales, y otras empresas utilizan las redes inalámbricas para hacer de sus trabajadores más móviles. Las redes Wireless mejoran la eficiencia de procesos como la carga, el almacenamiento y el transporte marítimo gracias a la automatización, lo que mejora el servicio al cliente y la seguridad.

El aspecto importante que se está incrementando en forma notoria, es el GPS (Global Positioning System), mediante el cual se puede ubicar en tiempo real cualquier persona o cosa, dado que el soporte está monitoreado desde los satélites artificiales desde el espacio.

**FIGURA N° 2.12**  
**REDES INFORMATICAS PARA EL TRANSPORTE**



### **2.5.6 Redes Industriales**

Las comunicaciones wireless (inalámbricas) en la industria han evolucionado decisivamente para llegar a ser una solución práctica. Esencialmente esto significa para la industria ahorrar dinero sin tomar riesgos indebidos y wireless ha avanzado al punto en el que obtiene beneficios con un riesgo aceptable.

El ahorro de coste más importante para las instalaciones wireless se obtiene en la instalación, especialmente para proyectos en plantas existentes. El tendido de cableado es una operación costosa. Los costes de conductos y cableado son a menudo sustanciales.

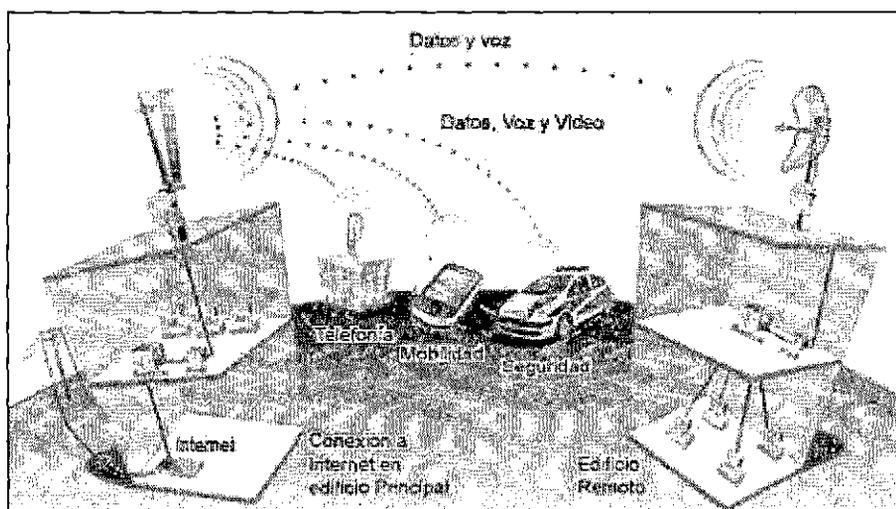
El ahorro se extiende también a los costes de operación debido a los costes reducidos de mantenimiento y mayor flexibilidad. La

tecnología wireless es más barata porque no hay cables que puedan dañarse.

El desgaste y rotura de cables es más importante con componentes que se mueven montados en grúas, equipo de manejo de materiales y brazos de robot. Tanto el cableado como los componentes estacionarios pueden también sufrir desgaste y rotura por corrosión, descomposición del aislamiento y degradación debida a los cambios de temperatura. Otra ventaja clave de la tecnología inalámbrica es la flexibilidad. Una vez se instala la red wireless, el coste de añadir otro dispositivo es muy bajo.

Además de costes de instalación se reducen los costes de diseño pues no es necesario utilizar esquemas ni detalles de instalación. Si se sustituye tecnología convencional por wireless en máquinas móviles sometidas a esfuerzos, se conseguirá también un ahorro significativo al evitarse las paradas no programadas que tienen lugar como consecuencia de la rotura o deterioro del cableado.

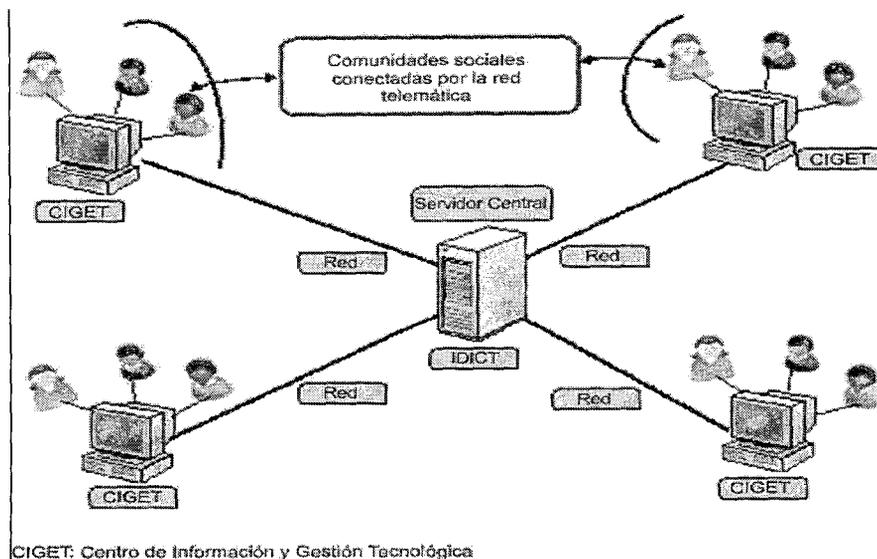
**FIGURA N° 2.13**  
**REDES INFORMATICAS PARA LA INDUSTRIA**



### **2.5.7 Redes sociales**

El concepto de red social ha adquirido una importancia notable en los últimos años. Se ha convertido en una expresión del lenguaje común que asociamos a nombres como Facebook o Twitter. Pero su significado es mucho más amplio y complejo. Las redes sociales son, desde hace décadas, objeto de estudio de numerosas disciplinas. Alrededor de ellas se han generado teorías de diverso tipo que tratan de explicar su funcionamiento y han servido, además, de base para su desarrollo virtual. Con la llegada de la Web 2.0, las redes sociales en Internet ocupan un lugar relevante en el campo de las relaciones personales y son, asimismo, paradigma de las posibilidades que nos ofrece esta nueva forma de usar y entender Internet. Vamos a definir las redes sociales teniendo en cuenta todos estos matices con el fin de entenderlas mejor como fenómeno y herramienta.

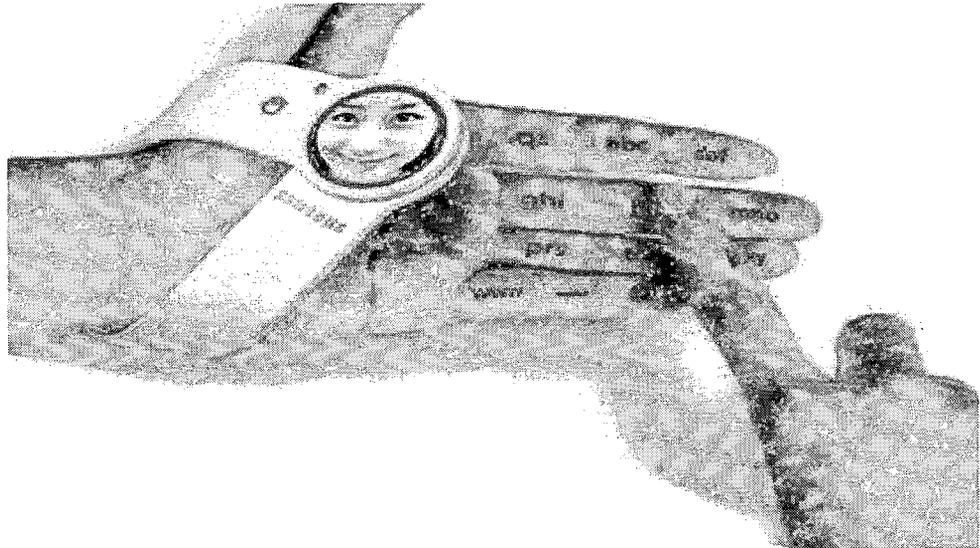
**FIGURA N° 2.14**  
**REDES INFORMATICAS PARA REDES SOCIALES**



## 2.6 Aplicaciones futuras de las redes móviles

A pesar de que se piensa que habrá en el futuro o como serán las cosas, siempre se pasa por alto el presente y que es lo que hacemos hoy con lo que disponemos en esta época. Hace unos días, se comentaba que las generaciones actuales desconocen lo que usaban sus padres en la misma época, consideraban que estos usaban redes sociales y teléfonos móviles como actualmente se realiza. El futuro está hoy a la vista de todos y al alcance de pocos ante los elevados costos de los servicios de los equipos móviles y ante un menú extenso de aplicaciones que van desde entretenimiento hasta aplicaciones financieras.

**FIGURA N° 2.15**  
**REDES INFORMATICAS DEL FUTURO**



Al igual que la mayoría de las aplicaciones o servicios que han mejorado la vida humana, la tecnología móvil cuenta con un pasado que inicio con las aplicaciones militares, las cuales la llevaron a madurar a tal grado, que en un determinado momento de su evolución y crecimiento formaron parte de la vida cotidiana en todo el planeta.

Este surgimiento también fue influenciado por la industria aeroespacial desde la década de los cincuentas, industria que ha dado grandes aportaciones tecnológicas en cuanto a la tecnología de materiales, comunicaciones, investigaciones de salud y bases espaciales que operan con inteligencia artificial para su navegación en el espacio.

**FIGURA N° 2.16**  
**TECNOLOGIAS DE MATERIALES PARA LAS COMUNICACIONES**



Ahora siendo parte de la sociedad civil, la tecnología móvil ha sido un fenómeno que paso de ser un servicio para ciertos sectores de mercado con un alto nivel de ingresos a un fenómeno global al alcance de todos. Este crecimiento, dio origen a un cambio social que impulso el surgimiento de aplicaciones para dispositivos móviles que van desde el acceso al entretenimiento hasta la ubicación física de un usuario con solo detectar su equipo en una red inalámbrica.

En la historia humana siempre se considera que los beneficiados de los avances técnicos, médicos y sociales son las futuras generaciones, en el caso de la situación ambiental, se puede confirmar que el tiempo futuro no es tan prometedor que el actual. Para el caso de las tecnologías móviles los beneficiarios serán los que ha experimentado los cambios antes y después de que estos se presenten en este rubro. Es decir, hace 20 años no se contaba con una telefonía móvil al alcance de todos, sin embargo la telefonía local cubría ese vacío aun existente.

La generación que vivió con esa limitante, ahora experimenta los avances que durante esas décadas se presentaron paulatinamente, hasta disponer con las comodidades del uso de esta tecnología en cualquier rama de sus actividades actuales. Con ello, se puede determinar, que los principales beneficiarios de dicha tecnología son los que la usan actualmente.

Las nuevas generaciones conocerán un mundo inalámbrico mucho más eficiente al actual, el cual tendrá mejores velocidades de transmisión, un sin número de aplicaciones, juegos, entretenimiento más extenso al actual, incluyendo la navegación por Internet a altas velocidades sin pérdida de datos y conexión tal y como sucede con los medios disponibles hoy en día.

En la parte técnica, las tecnologías móviles empezaran a situarse como un área de la ingeniería tan importante que contara con su propio esquema de estudio e investigación, creando, fusionando y desapareciendo muchas empresas que se dedique a su desarrollo.

Estas empresas comenzarán a ser cotizadas en las principales bolsas financieras y de las cuales darán empleo a miles de personas en el mundo, tal y como son la empresas de presencia mundial en nuestros días.

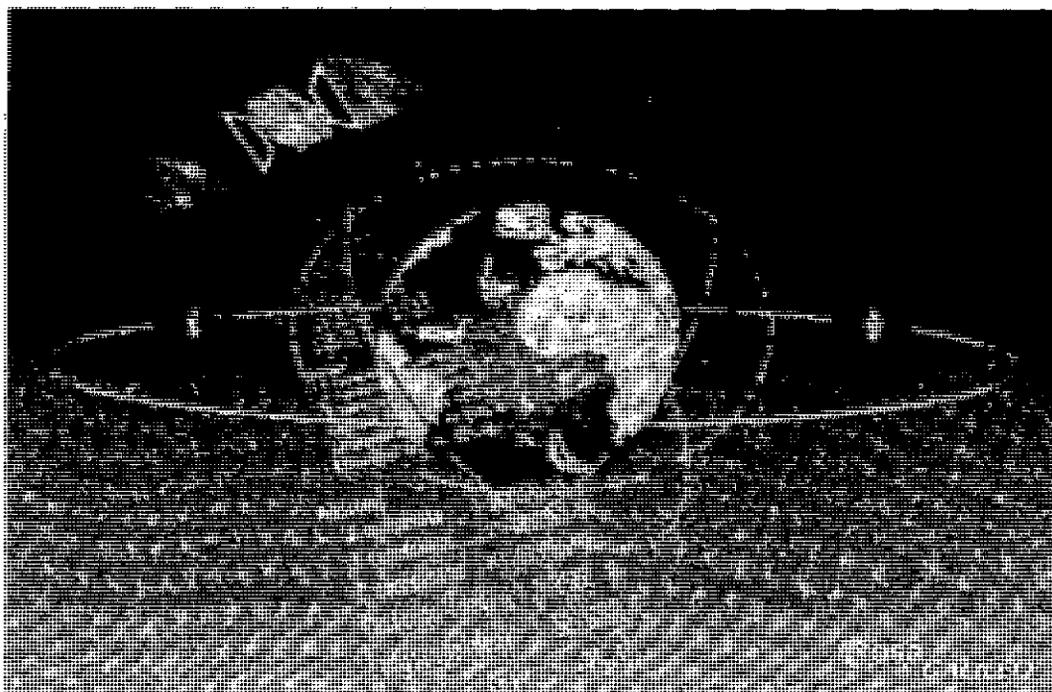
En la rama militar y aeroespacial, serán como siempre los beneficiarios directos del futuro que le depara a las tecnologías móviles, ya que, la vanguardia en investigación de estas aplicaciones siempre son implementadas como tema de ciencia ficción, y son obtenidas por estos

sectores como parte de sus funciones de protección y operación de nuevas misiones espaciales o militares en un futuro próximo.

En la parte espacial, hay que señalar el proyecto de GPS europeo conocido como Galileo, el cual intenta superar al proyecto inicial de la marina norteamericana en cuanto a la efectividad en la detección del posicionamiento global de los dispositivos móviles que emplean con el uso de estos satélites.

**FIGURA N° 2.17**

**NUEVAS APLICACIONES DE LAS TELECOMUNICACIONES**



## **2.7 EVOLUCIÓN DE REDES INALAMBRICAS**

Ante la demanda de nuevos servicios con multimedios se tienen la imperiosa necesidad del requerimiento de más ancho de banda. Por lo que todas las tecnologías han evolucionado de manera ordenada basándose en un estándar.

La presente tesis tiene por objetivo realizar un estudio de calidad de servicio, en redes de comunicaciones móviles de cuarta generación; por lo que es necesario revisar la evolución en las últimas décadas.

La evolución de la tecnología móvil ha desarrollado soluciones que brindan a los usuarios finales una interconexión no solo dedicada a la voz sino también al acceso a datos y con conexión a Internet. Tecnologías como 3G y la pronta evolución a LTE implican mayor velocidad de acceso y una dedicación exclusiva al tráfico de datos. Actualmente las redes de transporte implementadas son capaces de llevar el tráfico de voz sin ninguna dificultad, pero cuando agregamos a esto tráfico de datos se presentan nuevas dificultades. En la Tabla N° 2.3, se describen las tendencias tecnológicas utilizadas en las distintas redes móviles actuales y futuras teniendo como base sus funcionalidades técnicas.

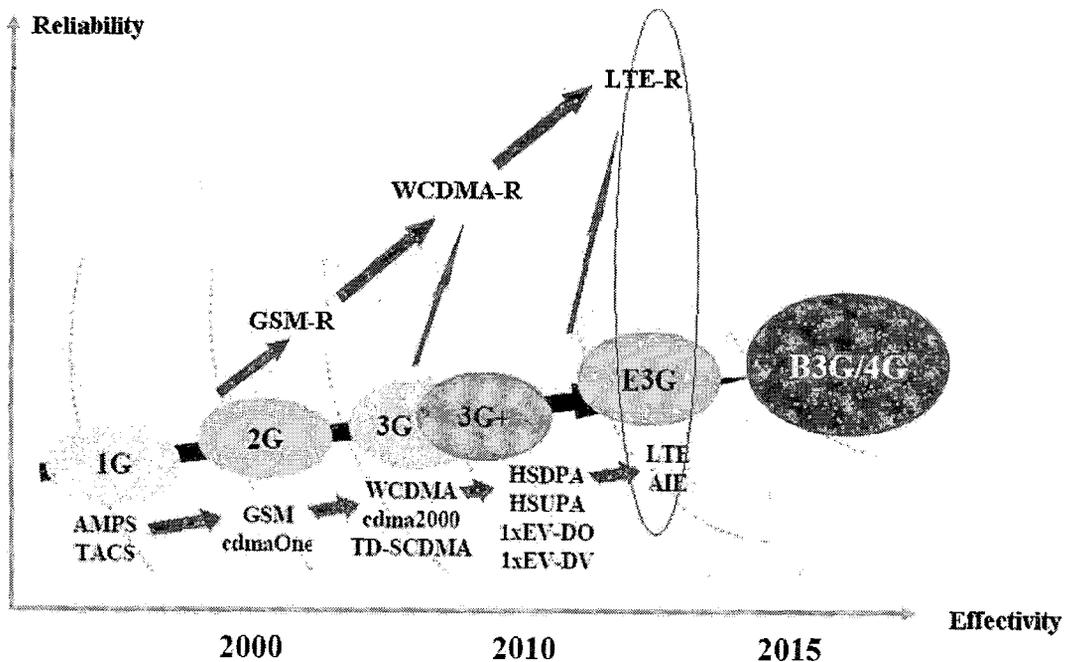
**TABLA N° 2.3**  
**TENDENCIAS TECNOLÓGICAS DE REDES MÓVILES**

	AÑO	RED	TECNOLOGÍA	DATOS
1G	1980	Circuitos conmutado	TACS, AMPS	voz analógica
2G	1990	D-AMPS, GSM, CDMA (IS-95)	D-AMPS, GSM, CDMA	voz digital
2.5 G	1996	Circuito conmutado o paquete conmutado	GPRS, EDGE, EVDO, EVDV	Voz digital mas datos
3 G	2000	Circuito conmutado o paquete conmutado	WCDMA, CDMA2000	Voz digital mas alta velocidad de datos mas video.
4 G	2012	Basado en IP, red principal con paquetes conmutados	No finalizado	Voz digital, alta velocidad de datos, multimedia, seguridad

Los servicios ofrecidos por los proveedores móviles han ido evolucionando con el paso del tiempo. En un principio, en las primeras redes solo se ofrecía voz. Luego, aparecieron los mensajes de texto y en la actualidad, el tráfico de datos crece en forma vertiginosa.

En la Figura N° 2.18 se muestra la evolución de las diversas Tecnologías de las redes móviles en función del tiempo.

**FIGURA N° 2.18**  
**EVOLUCION DE LAS REDES MOVILES**



### 2.7.1 Primera generación (1G)

La primera generación surgió en los años 80 y hace uso de canales de radio analógico con frecuencias en torno a los 900 MHz o superior con modulación FM. Para ello hubo que desarrollar y protocolizar las redes celulares.

Una red celular es un sistema zonal de antenas transmisoras de baja potencia trabajando de forma coordinada, el cual permite cubrir determinada área geográfica. Al área que cubre cada antena por separado se le llama célula.

Es importante señalar que los equipos 1G comparados con los equipos 2G y 3G de la actualidad son mucho más grandes, pesados y carecen de las funciones incorporadas que acostumbramos a ver en los celulares de hoy en día, pero fueron un gran avance para su época porque permitieron la movilidad en las comunicaciones.

### **2.7.2 Segunda generación (2G)**

Los avances en la tecnología de materiales y semiconductores permitieron digitalizar las comunicaciones y esto trajo como consecuencia directa comunicaciones más rápidas y una mejora sustancial en los servicios ofrecidos.

Uno de los nuevos servicios ofrecidos en esta generación fue el servicio SMS o envío de mensajes de texto corto entre terminales. Las comunicaciones digitales permiten ofrecer una mejor calidad de voz, además aumenta el nivel de seguridad permitiendo el cifrado de la información y también se simplifica la fabricación del terminal.

El estándar más conocido de esta generación es GSM4: Global System for Mobile Communications. El interfaz de radio de GSM se ha implementado en diferentes bandas de frecuencia dependiendo de la región en que se encuentre implementado. Por ejemplo las bandas de GSM están desde los 800MHz hasta los 1900 Mhz.

GSM se basa en los siguientes principios:

- Buena calidad de voz.
- Itinerancia.
- Deseo de implantación internacional.
- Terminales realmente portátiles.
- Compatibilidad con la RDSI.
- Instauración de un mercado competitivo con multitud de operadores y fabricantes.

Todo ello condujo a una explosión comercial de celulares a nivel mundial que dura hasta hoy y que permitió que la 2G domine ampliamente el mercado mundial.

### **2.7.3 Generación de transición (2.5G)**

Debido a que GSM solo podía ofrecer una velocidad de 9.6Kbps para servicio de voz y datos, las operadoras se vieron en la necesidad de satisfacer las nuevas demandas del mercado que requerían servicios multimedia y para los cuales GSM no daba abasto.

Para ello implementaron soluciones basadas en GPRS: General Packet Radio Services, que es una extensión de GSM para la transmisión de datos por paquetes. Permite velocidades de datos desde 56Kbps hasta 114Kbps.

Con GPRS las operadoras móviles pudieron ofrecer a sus usuarios servicios como: WAP, SMS, MMS, WWW y E-MAIL.

#### **2.7.4 Tercera generación (3G)**

Los servicios ofrecidos por la generación 2.5G se veían limitados por la baja tasa de transferencia de datos a la que los usuarios podían acceder. Por lo tanto las operadoras y fabricantes de equipos de telecomunicaciones móviles se enfocaron en aumentar la capacidad de transmisión de datos para poder ofrecer a sus usuarios servicios tales como: Conexión a Internet desde el móvil, videoconferencias y descarga de archivos a una velocidad máxima de 2Mbps en condiciones óptimas.

Como ha sido costumbre, los países asiáticos han sido pioneros en la implementación de las tecnologías móviles y por el año 2001 Japón se abrió paso en soluciones 3G. Muchos problemas logísticos y técnicos la han acompañado, pues supuso un nuevo sistema de transmisión de datos y diferentes requerimientos de estandarización.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, es la tecnología más usada por los móviles de la tercera generación.

UMTS es la tecnología sucesora de GSM y brinda mejores características tales como: velocidad de acceso a Internet elevada, capacidades multimedia y transmisión de voz con calidad semejante a la de las redes fijas. La ITU elaboró el estándar IMT-2005 (International Mobile Telecommunications-2000) para que todas las redes 3G sean compatibles unas con otras)

En las redes 3G, el tráfico de datos está en aumento, permitiéndose velocidades de transmisión del orden de los Mbps, por lo cual, se

necesita una tecnología que pueda proveer mayor ancho de banda y con calidad de servicio. Las tecnologías usadas para estas redes de transporte pueden ser basadas en soluciones MPLS.

#### **2.7.5 Cuarta generación (4G)**

Las características de estas redes son muy similares a las de 3G, pero el tráfico de datos se incrementa aun mucho mas, por lo cual las soluciones tecnológicas de las redes de transporte de 3G también puede ser adecuado.

Las comunicaciones móviles de cuarta generación, están caracterizadas por contar con dos tecnologías alternativas o complementarias, según la situación particular de cada operador móvil; ambas comparten muchas similitudes e incluso podrían llegar a converger.

Las dos tecnologías que más adeptos tienen son: LTE Advanced y WirelessMAN-Advanced. El eje de trabajo que acá se reporta lo constituyen el análisis del desarrollo que estas dos tecnologías tienen actualmente y su contribución a la implementación de soluciones 4G.

4G son las siglas de lo que se quiere convertir en la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Está basada totalmente en IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de

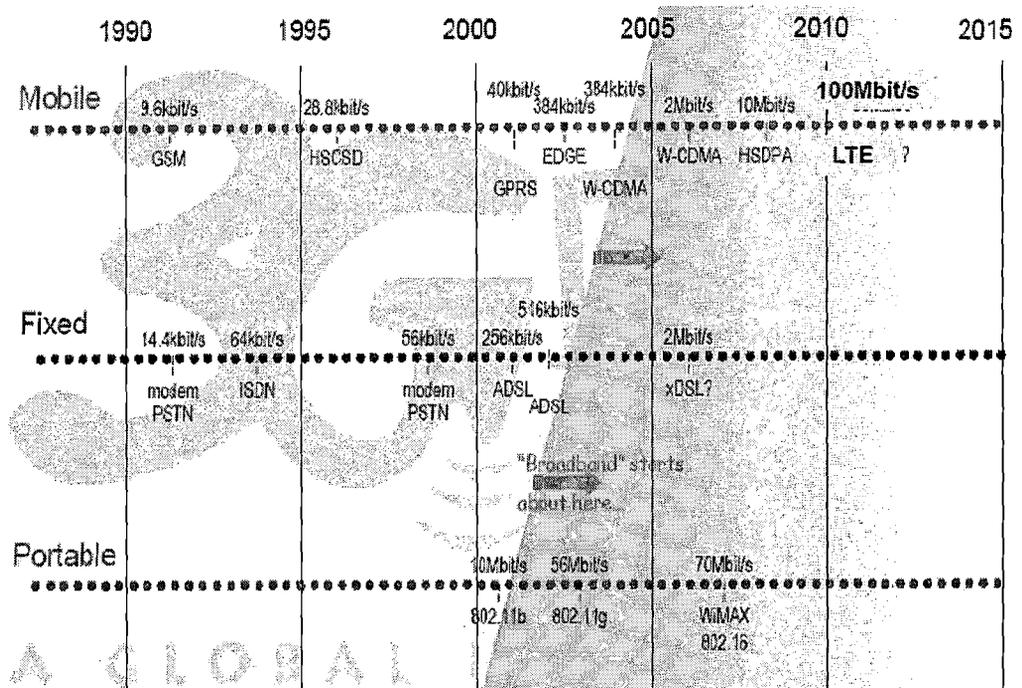
procesamiento, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para brindar velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo un servicio de punto a punto con alta seguridad y permitiendo ofrecer diversos en todo tiempo, con un mínimo coste.

Esta convergencia de tecnologías surge de la necesidad de agrupar los diferentes estándares en uso con el fin de delimitar el ámbito de funcionamiento de cada uno de ellos y con el fin también de integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario.

La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos diseñados para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata.

El objetivo que persigue es el de garantizar una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando siempre el sistema que mejor servicio proporcione. En resumen, el sistema 4G debe ser capaz de compartir dinámicamente y utilizar los recursos de red economizando los requerimientos del usuario.

**FIGURA N° 2.19**  
**TENDENCIA DE LA EVOLUCION A LTE**



## 2.8 Arquitectura LTE

El LTE o *Long Term Evolution* surge a partir de la necesidad de satisfacer la creciente demanda de los usuarios y redes, por lo que será la tecnología que acabe sustituyendo a la actual UMTS dentro de los sistemas 4G. Esta tecnología, basada en el uso de protocolos IP (soportado, por tanto, en el dominio de conmutación de paquetes), se halla actualmente en fase de pruebas, siendo Telefónica el operador encargado de las mismas en España.

LTE, siglas de Long Term Evolution, es considerado por muchos como el sucesor obvio para la actual generación de la tecnología 3G UMTS, que está basado en WCDMA, HSDPA, HSUPA y HSPA. LTE no es un sustituto

de UMTS en la manera en que UMTS fue un reemplazo para el GSM, sino más bien una actualización de la tecnología UMTS que le permitirá ofrecer velocidades de datos mucho más rápido tanto para la carga y descarga. Verizon Wireless en los EE.UU., que es parcialmente propiedad de Vodafone, ya ha dicho que apoyará LTE como su tecnología 4G de elección, abandonando su actual red CDMA base.

Para los consumidores, LTE permitirá a las aplicaciones existentes poder correr más rápido, además de poner a disposición de las nuevas aplicaciones de telefonía móvil. aplicaciones de vídeo mejorado y la presentación del teléfono móvil puede ser incluido.

LTE utiliza ondas de radio para tener más datos que se transfieren a través del mismo ancho de banda utilizado por equipos de 3G. Como resultado, los proveedores de servicios deberían ser capaces de llegar a la transferencia de datos fuera de sus celdas existentes y, posiblemente, reducir el costo para operar sus redes. Desde LTE se conecta a las redes existentes, los proveedores pueden planificar una transición sin problemas, y luego continuar el legado de utilizar las redes CDMA y GSM como copias de seguridad.

El eje central de la investigación es ofrecer una visión general de los diferentes estándares y las iniciativas de la industria para ofrecer telefonía móvil de cuarta generación a través del acceso LTE Advanced. La razón de esto es evitar la fragmentación en el mercado de terminales móviles.

La novedad de LTE es la interfaz radioeléctrica basada en OFDMA para el enlace descendente (DL) y SC-FDMA para el enlace ascendente (UL). La modulación elegida por el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO) tengan una mayor facilidad de implementación, esto favorece según el medio de hasta cuadruplicar la eficacia de transmisión de datos. Para conseguir una mayor eficiencia, el sistema se realimenta con las condiciones del canal, adaptando continuamente el número de subportadoras asignadas al usuario en función de la velocidad que éste necesita y de las condiciones del canal. Si la asignación se hace rápidamente, se cancela de forma eficiente las interferencias co-canal y los desvanecimientos rápidos, proporcionando una mayor eficiencia espectral que OFDM. Al igual que WiMAX, esta tecnología ofrecerá servicios de banda ancha inalámbrica (como EVDO), pero en vez de transmitir señales a través de microondas, LTE utiliza una plataforma de radio. Se necesitará un módem LTE para acceder a la red, que puede ser en formato USB, ExpressCard, PCMCIA, o incrustado en una computadora portátil, y probablemente también se presentará como la conexión a Internet en los PDA y los teléfonos.

Esta red súper rápida promete velocidades de descarga pico de 100Mbps. LTE va a proporcionar una alternativa a DSL, cable, satélite e internet de acceso telefónico, que será una bendición grande para las personas que viven en zonas que actualmente no están atendidos por una red de alta velocidad.

Las redes HSPA requieren de 50 a 100 Mbps por estación base y las redes LTE requieren 100 a 200 Mbps por estación base una magnitud de orden muy superior a la necesitada para las redes 2G o 3G. Además, este tráfico está predominantemente basado en IP. Los sistemas de radio tradicional TDM no pueden manejar este tráfico backhaul y el alquiler de circuitos E1 no es efectivo en su relación costo-beneficio. Los operadores están evaluando ahora tecnologías para el backhaul que puedan reunir los requerimientos de sus nuevas ofertas de servicio. Las dos tecnologías que están primordialmente en consideración son las microondas y la fibra. Además, las opciones de onda de 60-80 GHz están en evaluación para algunas aplicaciones limitadas.

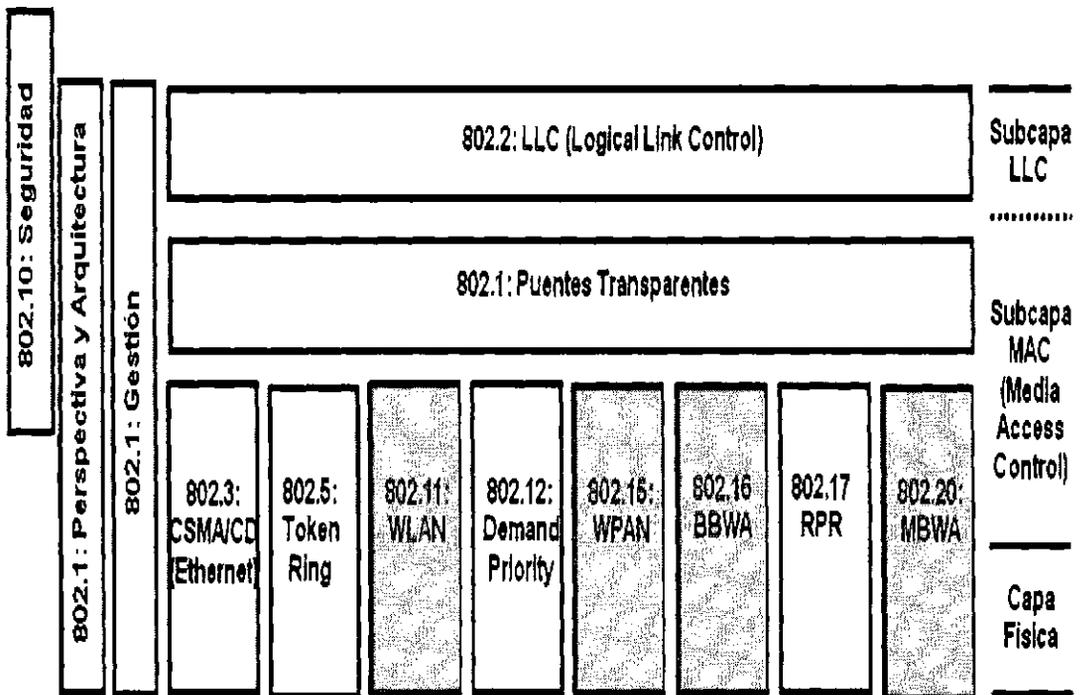
Las características principales de LTE-Advanced<sup>11</sup> son las siguientes:

- Está basado en LTE y permite una evolución gradual para los operadores móviles. Es espectralmente compatible con LTE.
- Conserva el sistema de acceso SC-FDMA para el enlace ascendente y mejora la tasa de transmisión mediante MIMO.
- Permite operación multiportadora con portadoras en diferentes bandas (contiguas y no contiguas) y agregación de tráfico para manejar anchos de banda de hasta 100 Mhz.
- Permite operación MIMO mejorada. En el enlace descendente permite MIMO de alto orden (hasta 8x8) y MIMO multiusuario para manejar la interferencia de antenas correlacionadas. En el enlace ascendente soporta MIMO monousuario.

- Permite comunicaciones multi-salto, en capa física para aumento de la cobertura y en capa de red para backhauling y mejoramiento del desempeño en el borde las celdas.

La norma IEEE 802.11 fue diseñada para sustituir a la capa física y MAC de la norma 802.3 (Ethernet), así, la única diferencia entre ambas es la manera en la que los dispositivos acceden a la red, por lo que ambas normas son perfectamente compatibles. También se puede observar en la figura que 802.15 WPAN, WIMAX tienen capa física y parte de la subcapa de control de acceso al medio.

**FIGURA N° 2.20**  
**Arquitectura de red LTE**



**TABLA N° 2.4**  
**CARACTERISTICAS DE LTE-APL**

Feature	3GPP LTE-Advanced	IEEE 802.16m
Multiple Access Scheme	Downlink: OFDMA Uplink: SC-FDMA	Downlink: OFDMA Uplink: OFDMA
Control Channel Multiplexing with Data	Time Division Multiplex (Resource occupied by control channel in units of OFDM symbols)	Frequency Division Multiplex (Resource occupied by control channel in physical resource block units)
Channel State Information (CSI) Feedback	Long-term CSI and Short-term CSI (e.g., sounding)	Base codebook with long-term channel covariance matrix and Sounding
Scheduling Period	Per Transmission Time Interval (TTI) scheduling and Persistent scheduling	Short and long TTI scheduling and Persistent scheduling
Physical Resource Block Size	12 sub-carriers $\times$ 14 OFDM/SC-FDMA Symbols = 168 Resource elements	18 sub-carriers $\times$ 6 OFDM symbols = 108 Resource elements
Usable Bandwidth at 10 MHz	600 sub-carriers $\times$ 15 kHz (sub-carrier spacing) = 9 MHz (Spectrum Occupancy = 90%)	864 sub-carriers $\times$ 10.9375 kHz (sub-carrier spacing) = 9.45 MHz (Spectrum Occupancy = 94.5%)
Usable OFDM/SC-FDMA Symbols per 5 ms	70 OFDM/SC-FDMA symbols (FDD) 56 OFDM/SC-FDMA symbols (TDD)	51 OFDM symbols (FDD) 50 OFDM symbols (TDD)
Usable Resource Elements per 5 ms	42000 Resource Elements (sub-carriers)	44064 Resource Elements (sub-carriers)
Modulation and Coding Scheme Levels	27 Levels	32 Levels
Downlink Antenna Configuration for IMT-Advanced Scenarios	$4 \times 2/8 \times 2$	$4 \times 2$
Uplink Antenna Configuration for IMT-Advanced Scenarios	$1 \times 4/1 \times 8/2 \times 4$	$2 \times 4$
Multi-antenna Schemes for IMT-Advanced Scenarios	Single-user MIMO, Multi-user MIMO/Beamforming, Coordinated Multipoint Transmission	Multi-user MIMO/Beamforming
Number of Users Paired in Downlink Multi-user MIMO	Up to 2 users paired in self-evaluation	Up to 4 users paired in self-evaluation
L1/L2 Overhead	Statically Modeled Number of OFDM symbols L = 1 (18%) Number of OFDM symbols L = 2 (24%) Number of OFDM symbols L = 3 (31%)	Dynamically Modeled Example: IMT-Advanced Urban Macrocell Scenario TDD = 11% (Control channel) + 11% (Pilot) $\approx$ 22% FDD = 14% (Control channel) + 11% (Pilot) $\approx$ 25%

### 2.8.1 Funcionamiento de LTE

LTE emplea la banda de los 700 MHz, aprovechando que ha quedado liberada tras el apagón de la televisión analógica, para

lograr mejor cobertura y penetración en los edificios, algo imprescindible para las operadoras que lo comercialicen.

En el funcionamiento de la tecnología LTE podemos diferenciar entre su funcionamiento en el canal de descarga de datos y en el canal de subida de datos:

En la descarga con LTE se emplea una modulación OFDMA (acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal). Las subportadoras se modulan con un rango de símbolos QPSK, 16QAM o 64QAM. Es muy fuerte contra los efectos de *multipath*, idónea para implementaciones MIMO o SFN.

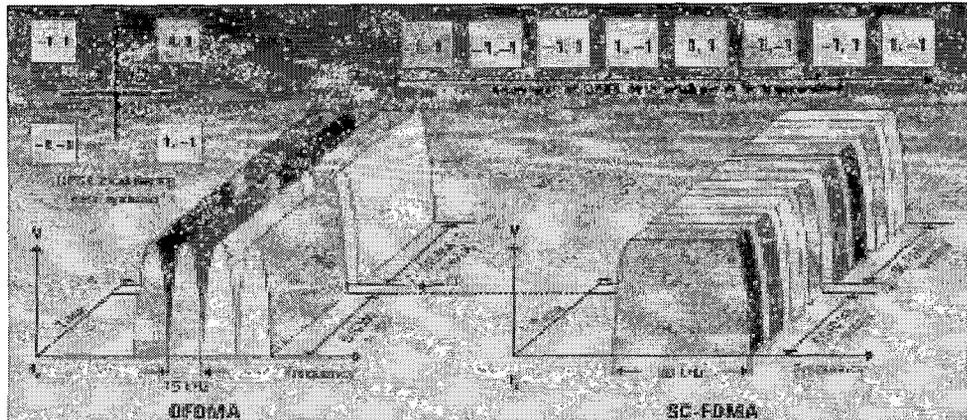
La subida de archivos con LTE usa división de portadora simple de acceso múltiple (SC-FDMA) para simplificar el diseño y reducir picos de ratio medio y consumo energético.

La Figura N° 2.21 muestra una secuencia de ocho símbolos QPSK en un ejemplo con 4 sub portadoras. Para OFDMA, los 4 símbolos se toman en paralelo, cada uno de ellos modulando su propia subportadora en la fase QPSK apropiada. Después de un período de símbolo OFDMA, se deja un tiempo (para que no haya solapamientos) antes del siguiente período de símbolo.

En SC-FDMA, cada símbolo se transmite secuencialmente. Así, los 4 símbolos se transmiten en el mismo período de tiempo. El rango

de símbolos más alto requiere de cuatro veces el ancho de banda del espectro. Después de cuatro símbolos se deja el tiempo para evitar solapamientos mencionado anteriormente

**FIGURA N° 2.21**  
**ESTRUCTURA DE FUNCIONAMIENTO DE TECNOLOGIA LTE**



Uno de los objetivos principales de esta tecnología es proporcionar una velocidad, tanto de descarga como de subida de archivos, muy alta en comparación con las alcanzadas con las tecnologías actuales.

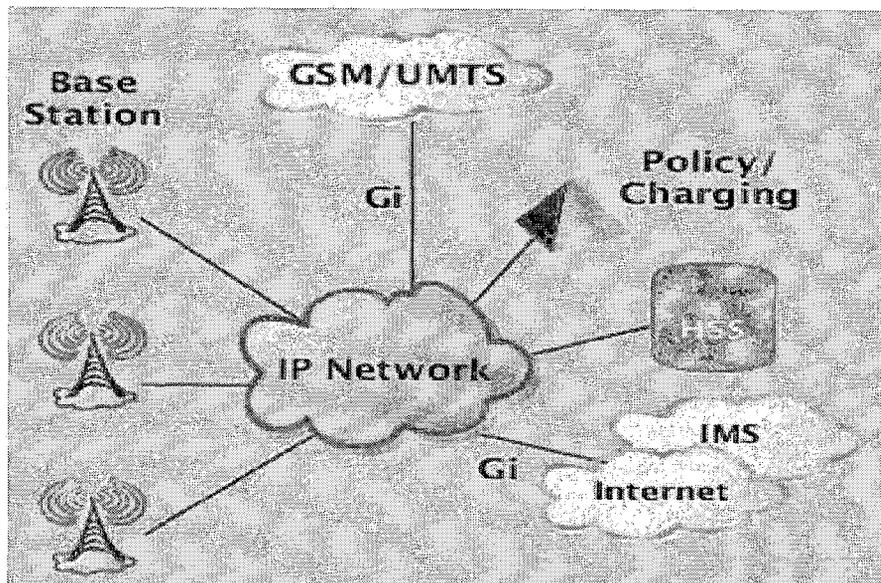
De manera formal, los principales objetivos del LTE son los siguientes:

- Obtención de una mayor velocidad de transmisión, pudiendo llegar a los 100 Mbps de descarga y a los 50 Mbps de subida.
- Disminuir el retardo hasta conseguir un total menor de 10 milisegundos y unos tiempos iniciales de establecimiento de comunicación inferiores a 100 ms.
- Conseguir una eficiencia espectral 3 veces mejor que la del HSPA.

- Mejorar para los servicios de difusión (*broadcast*) para permitir servicios de radiodifusión y televisión móvil en tiempo real con una calidad aceptable para todos los usuarios.
- Flexibilidad de espectro para disponer de anchos de banda variables según el servicio y el uso de diversas bandas de frecuencia según las características de cada zona.

Para alcanzar la consecución de estos objetivos se están planteando arquitecturas de red con tendencia a simplificar lo máximo posible la jerarquía, hablando de estructuras planas. En éstas, la radio cobra un gran protagonismo, ya que debe asumir funciones que actualmente se hallan distribuidas en otras plataformas. La Figura N° 2.22 muestra un ejemplo de arquitectura plana de red.

**FIGURA N° 2.22**  
**ARQUITECTURA GENERAL DE SISTEMAS 4G**



## **2.9 QoS en Redes Móviles 4G**

La principal característica de las propuestas de redes móviles de cuarta generación es la utilización de tecnologías IP en el núcleo y en las redes de acceso, para soportar todos los servicios, mientras en redes 3G coexistía un núcleo IP para la red de datos con otro núcleo basado en conmutación de circuitos para la prestación de servicios de voz, en las redes 4G sólo existirá un núcleo IP sobre el que se transportara todo el tráfico. Una imposición para el núcleo de redes de cuarta generación será el soporte del protocolo IP versión 6, IPv6, con lo que quedarían resueltos problemas como el espacio de direcciones, vital para el despliegue de una nueva red donde sería deseable el uso de direcciones públicas.

Se discute como la administración de la calidad de servicio y provisión de ancho de banda son mejoradas en LTE (basado en 4GPP release 9) y LTE advance (basado en release 10).

## **2.10 Medidas del performance de calidad de servicio**

Para realizar una QoS para una cierta aplicación, los requerimientos de la aplicación debe ser cuantificado en términos de parámetros que identifiquen el nivel de performance. Tal nivel es medido normalmente en términos de throughput, retardo, jitter, y paquetes perdidos.

### **a. Ancho de banda**

Es una medida de la capacidad de transmisión de datos y se refiere a la cantidad de información o de datos que se puede transmitir a través de un

medio de conexión de red en un periodo que se puede transmitir a través de un medio de conexión de red en un periodo de tiempo determinado. Se expresa en bits por segundo.

Al aumentar el ancho de banda significa que se podrá transmitir mas datos por unidad de tiempo, pero también implica aumento de costos. Una práctica común La reserva del ancho de banda garantiza que se transmita cierta cantidad de datos en un tiempo determinado.

### **b. Retardo**

Frecuentemente llamado latencia, es la variación temporal y/o terado introducido por la transmisión de los paquetes de datos desde la fuente hasta el destino. Este parámetro depende de muchos elementos; como el numero de nodos por los cuales tienen que pasar los paquetes hasta alcanzar el destino, el trafico de la red, los protocolos de enrutamiento, etc. El retardo puede estar compuesto por varias componentes:

- a. Retardo de transmisión: el tiempo que se necesita para enviar los bits que componen el paquete.
- b. Retardo de codificación: el tiempo de conversión de los datos de origen a otro sistema de datos de destino, depende del estándar usado.
- c. Retardo de propagación: el tiempo que tarda la señal en propagarse por el medio, depende del medio físico utilizado
- d. Retardo de cola: el tiempo que el paquete aguarda en la cola del router.
- e. Retardo de procesado: el tiempo que el nodo necesita para procesar las cabeceras.

Los servicios en tiempo real y multimedia son sensibles a retardos. En aplicaciones como la videoconferencia es necesario que este parámetro sea reducido al mínimo.

### **c. JITTER**

Los paquetes enviados pueden llegar al destino siguiendo diferentes caminos, por lo tanto el retardo de los paquetes puede variar. El jitter es la variación o diferencia de retardo que existe entre los paquetes, causada por congestión de red, pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar a su destino.

Este efecto es especialmente molesto en aplicaciones multimedia y en tiempo real como radio o telefonía IP, ya que provoca que algunos paquetes lleguen demasiado pronto o tarde para poder entregarlos a tiempo. Una solución para evitar el jitter es el uso de buffers de datos en el receptor. Pero esta medida es poco eficaz, dado que sería necesario un gran tamaño para los buffers, lo que implica un costo en los equipos, y los buffers incrementa el tiempo de ejecución, algo perjudicial para aplicaciones en tiempo real.

### **d. PERDIDA DE PAQUETES**

Indica el número de paquetes perdidos durante la transmisión. Normalmente se mide en porcentaje. Por ejemplo los routers pierden, niegan, descartan paquetes por muchas razones, muchas de las cuales,

las herramientas QoS no pueden hacer nada. La probabilidad de pérdida de paquetes.

En el trayecto entre la fuente y el destino un paquete puede perderse o ser eliminado por un router. Si el buffer de los routers está lleno o si el paquete está dañado. Hay otras muchas razones que pueden causar la pérdida de paquetes en entornos inalámbricos: enlaces de red saturados, colisiones, roturas de enlace, etc. La eliminación de paquetes depende únicamente del estado de la red, y esto no puede ser previsto.

### **2.10.1 MODELOS DE CALIDAD DE SERVICIO**

Existen 3 modelos de QoS llamados Best-Effort, IntServ y DiffServ.

Los cuales son definidos a continuación:

#### **a. SERVICIOS INTEGRADOS**

Entre 1995 y 1997, la IETF se esforzó mucho en diseñar una arquitectura para la multimedia de flujos continuos, que requiere las garantías de QoS. Este trabajo resultó en cerca de dos docenas de RFCs, empezando con los RFCs 2205–2210. El nombre genérico para este trabajo es algoritmos basados en flujo o servicios integrados. Se diseñó tanto para aplicaciones de unidifusión como para multidifusión.

El modelo IntServ (Integrated Services) se basa en la idea de reserva de recursos en la red por flujos. Un flujo es una cadena de paquetes que fluyen por la red desde una aplicación en una computadora origen hasta una aplicación en una computadora

destino. Para cada flujo entrante se definen los parámetros de QoS (ancho de banda, retardo, etc.) que serán necesarios para este flujo.

La reserva de recursos debe establecerse previamente en cada uno de los routers que forman parte del camino entre el origen y el destino. Cada nodo en el camino indica si puede fluir.

El modelo IntServ usa diferentes clases de servicio, que son definidos por IETF, con diferentes características en cuanto a la calidad del servicio ofrecido, y que permita ofrecer diferentes niveles en función de las necesidades de las aplicaciones.

El modelo incluye el Servicio Garantizado que se define en RFC 2212 y el Servicio de Control de Carga que se definen en RFC 2211.

**Servicio Garantizado (Guarented Service):** El modelo proporciona funciones que aseguran que los paquetes llegarán dentro de un tiempo garantizado; esto significa que cada paquete conforme a las especificaciones de tráfico llegará, por lo menos, al momento de retraso máximo que se especifica en el descriptor de flujo.

El servicio garantizado se usa para aplicaciones que necesitan garantía de que un paquete no llegará al receptor después del tiempo planeado, por ejemplo sistemas de video y audio.

**Servicio de Control de Carga (Controlled Load):** Diseñado para aplicaciones en tiempo real tolerantes es decir que ocasionalmente toleran pérdidas y retardo. Estas redes se degradan si la red se incrementa en carga, debido a que solo una cantidad limitada de ancho de banda se reserva; si hay paquetes adicionales, la entrega

será utilizando la técnica best effort.

El modelo IntServ define un protocolo específico para la gestión del QoS en la red, RSVP (Resource Reservation Protocol). Este protocolo de reserva de recursos, descrito en RFC 2205, es un protocolo de señalización que permite a los usuarios comunicar a la red sus requerimientos de forma robusta y eficiente. Todos los nodos de la ruta de acceso a datos deben ser compatibles con RSVP para una garantía de QoS y cada uno de los paquetes que pertenezcan al flujo específico de información seguirá la misma ruta desde el router emisor hasta el router receptor. Aunque no hay nada que impida la utilización de RSVP en tráfico unicast, originalmente este protocolo había sido pensado para tráfico multicast. En multicast, es común ver distintos flujos de video y audio en tiempo real y estos flujos requieren distintas calidades de servicio.

Algunas características o aspectos fundamentales son:

RSVP pide recursos para los flujos simplex: un flujo de tráfico en una sola dirección desde el emisor a uno o más receptores. De forma que si se desea establecer una comunicación bidireccional será necesario que ambos receptores realicen su propia petición de recursos.

RSVP puede ser utilizado tanto por hosts como por routers para pedir o entregar niveles específicos de calidad de servicio (QoS) para los flujos de datos de las aplicaciones.

RSVP no es un protocolo de encaminamiento, pero fue diseñado

para interoperar con protocolos de enrutamiento actuales y futuros.

RSVP está orientada hacia el receptor: es el receptor de un flujo de datos el que inicia y mantiene la reserva de recursos para ese flujo. Este hecho provoca que el receptor necesite conocer previamente las características del tráfico para efectuar la reserva.

RSVP es soft state (la reserva en cada nodo necesita refresco periódico por mensajes Path y Resv), mantiene solo temporalmente el estado de las reservas de recursos del host y de los routers, de aquí que soporte cambios dinámicos de la red.

RSVP proporciona varios estilos de reserva y permite que se añadan futuros estilos al protocolo para permitirle adaptarse a diversas aplicaciones. RSVP transporta y mantiene parámetros del tráfico y de la política de control que son opacos a RSVP.

Aunque a mediados de los 90 la idea Intserv/RSVP generó una gran expectativa, con el paso del tiempo el interés por esta arquitectura se desvaneció. El motivo principal fueron los problemas de escalabilidad causados por la necesidad de almacenar y mantener información de estado en cada router. También los cambios requeridos al código de enrutador son sustanciales e involucran intercambios complejos de enrutador a enrutador para establecer los flujos. Estos motivos aplicados a situaciones con gran cantidad de flujos entre usuarios finales, por ejemplo en el núcleo o backbone de Internet., apartan RSVP de la realidad. Además, los fabricantes de routers tampoco realizan implementaciones eficientes de RSVP

debido a su elevado coste del hardware.

## **b. SERVICIOS DIFERENCIADOS**

Debido a las desventajas de los servicios integrados, la IETF también ha diseñado un método más simple para la calidad del servicio, uno que puede implementarse ampliamente de manera local en cada enrutador sin una configuración avanzada y sin que toda la ruta esté involucrada. Este método se conoce como calidad de servicio basada en clase (contraria a basada en flujo). La IETF ha estandarizado una arquitectura para él, llamada servicios diferenciados, que se describe en los RFCs 2474, 2475, entre otros.

Este esquema no requiere una configuración avanzada, ni reserva de recursos ni negociación extremo a extremo que consuma tiempo para cada flujo, como sucede con los servicios integrados. Esto hace de DS (Differentiated Services) relativamente fácil de implementar.

Para facilitar el marcado de los paquetes y proporcionar las diferentes clases de servicio utiliza el campo type of service (ToS) o DiffServ Codepoint (DSCP) de la cabecera del estándar IPv4 e IPv6. Éste es un campo de 8 bits, estando los últimos 2 reservados. Con los 6 bits restantes se consiguen 64 clasificaciones de servicios diferentes: 48 para el espacio global y 16 para uso local. A cada una de estas 64 posibles formas de tratar al paquete se le llama tratamiento de retransmisión (PHB ó Per-Hop Behaviour).

Los PHB definen un conjunto de condiciones para el tratamiento del tráfico conocidas como estándares. Estos estándares permiten que

las diferentes clases de servicio reciban más o menos recursos según como hayan sido etiquetadas. Existen cuatro estándares disponibles de PHBs especificados para ser usados dentro de una red de servicios diferenciados:

Default PHB (PHB por defecto, RFC 2474). Un paquete marcado con valor de DSCP 0x000000 (recomendado) recibe el servicio best-effort tradicional. Además, si un paquete llega a un nodo y el valor DSCP no se mapea a algún otro PHB, el paquete será mapeado al PHB por defecto. Class-Selector PHB (PHB selector de clases, RFC 2474).

Este comportamiento define hasta ocho clases distintas en la red. El formato del código toma en cuenta los primeros 3 bits del octeto XXX00000. Los tres primeros bits representan un número del 0 al 7. El número de menor valor representa una prioridad menor (es decir, los tres primeros bits son cero, el cual corresponde al comportamiento best-effort) mientras que un número mayor representa una prioridad mayor. No es necesario que un nodo soporte las ocho clases. Puede agrupar las clases para soportar por ejemplo 2 prioridades. Los códigos con número 1 al 3 pueden representar una prioridad baja, mientras que los códigos con los números del 4 al 7 representan una prioridad alta. De esta forma, el nodo sigue siendo compatible con la especificación DiffServ, aún sin tener ocho clases definidas.

Assured Forwarding (Tránsito asegurado) PHB (RFC 2597). Este

PHP define cuatro clases, a las cuales se les tiene que asignar espacio en el buffer y ancho de banda de manera independiente en cada nodo. Cada una de estas clases se le especifica tres niveles de descarte. Es importante señalar que no es necesario implementar los tres niveles de descarte. Si el operador de la red, no espera que existan muchas condiciones de congestión, el número de niveles de descarte se puede compactar a dos.

Expedited Forwarding (Tránsito expedito) PHB (RFC 3246). Este PHB tiene asociado una tasa de transmisión garantizada. La función de este PHB es proveer las herramientas necesarias para proveer un servicio extremo a extremo con bajas pérdidas, bajo retardo, bajo jitter y un ancho de banda asegurado dentro de un dominio DiffServ.

El principio de operación es que la tasa de partida de los paquetes debe ser igual o mayor a una tasa configurada por el administrador. Esta tasa no puede ser menor que la tasa de llegada de paquetes. Esto significa que si tenemos una serie de paquetes del mismo tamaño que llegan a un nodo, éstos saldrán del nodo con la misma tasa de entrada. La idea es reducir el exceso de retardo y jitter en lo posible.

Las aplicaciones como la voz sobre IP, video, y programas online requieren este servicio robusto.

Dentro del dominio DiffServ, hay dos tipos de enrutadores (routers): los nodos frontera y los nodos interiores.

Nodos interiores: Son los nodos que forman el núcleo de la red. Los

nodos interiores sólo conectan con otros nodos interiores o de frontera dentro del mismo dominio DS. Los nodos internos, son los que se encargan de realizar las funciones de reenvío de paquetes de acuerdo a las políticas de calidad de servicio que se tengan especificadas.

**Nodos frontera:** Los nodos frontera interconectan el dominio DS con otros dominios que pueden o no soportar Diffserv. Los nodos frontera clasifican y posiblemente condicionen el tráfico entre su dominio DS y el dominio contiguo al cual conectan; para asegurarse que los paquetes que transitan por el dominio DS estén apropiadamente marcados y puedan seleccionar un PHB de los grupos PHB.

### **c. BEST EFFORT**

Este modelo es el más sencillo. Es un modelo simple de servicio, en el cual, una aplicación envía información cuando ella lo desea, en cualquier cantidad, sin ningún permiso requerido y sin informar previamente a la red. Es decir, no se aplica calidad al tráfico de servicio. Además, este modelo transmite los paquetes sin garantía de ancho de banda, retardo o fiabilidad, ya que no existe una pre asignación de recursos, ni plazos conocidos, ni garantía de recepción correcta de la información. Por último, utiliza el modelo de cola FIFO (First In First Out) para sus transmisiones, esto significa que todas las demandas tienen la misma prioridad y se manejan una después de otra.

El modelo Best effort presenta complicaciones para la prestación de servicios que requieren la transmisión de datos en tiempo real (videoconferencia o VoIP.), puesto que la llegada de datos desordenados o la pérdida de información en redes congestionadas puede ser crítica. Si la información a transmitir en tiempo real exige que no se pierda información, entonces es necesario emplear protocolos de alto nivel como IntServ o DiffServ.

d. LTE identifica los siguientes parámetros cuantitativos.

- Rendimiento: Se caracteriza por la velocidad de bits garantizada, velocidad de bits máxima, definido por los parámetros:
  - a) La tasa de bits garantizada (GBR): Los recursos de red asignados sobre la base de GBR son fijos y no cambian después del establecimiento de portador o modificación. Este es por lo tanto un flujo de datos de servicio garantizado.
  - b) La tasa máxima de bits (MBR): Este parámetro limita la velocidad de bits que se puede esperar para ser proporcionada a GBR portador, y se hacen cumplir en la red para restringir el tráfico a su acuerdo de máxima velocidad de bits.
  - c) Agregate Bit Rate máxima ( AMBR ) : Este parámetro se utiliza para no GBR flujos , y tiene dos tipos, APN- AMBR y UE - AMBR . La APN- AMBR ( Access Point Name - AMBR ) es un parámetro suscripción almacenado en el HSS por la APN . El HSS define un QCI para cada PDN ( identificada por

un identificador individual PDN ) y un APN- AMBR para cada ARP. El parámetro APN - AMBR se refiere a la tasa de bits máxima que puede ser consumido por todos los portadores no GBR y todas las conexiones PDN de este APN . Este parámetro se hace cumplir por el P- GW en el enlace descendente y por tanto UE y P- GW en el enlace ascendente . El parámetro AMBR del UE - , por otro lado , se refiere a la tasa de bits máxima permitida para todos los agregados portadores no GBR para el UE respectivo . El parámetro se aplica tanto en el enlace descendente y el enlace ascendente. Tenga en cuenta que GBR y MBR se definen por portador , mientras que los parámetros AMBR se definen por un grupo de portadores . Todos los parámetros de rendimiento tienen dos componentes, uno para el enlace descendente y otro para el enlace ascendente .

2 Retraso : especificado por el presupuesto de retardo de paquetes .

LTE define nueve categorías de la demora , siendo 50 ms apretado y ser 300 ms al menos tensa . Este último valor se utiliza para aplicaciones tolerantes de retardo.

. 3 Pérdida de paquetes: Se define como la pérdida de paquetes Tasa de error , y es similar a la asignación de retardo de paquetes en tener nueve categorías con 10-6 y 10-2 es mejor ser el peor .

. 4 Prioridad: especificado por la prioridad de asignación / retención ( TAE) de parámetro , que se utiliza para indicar la prioridad de tanto

la asignación y la retención del flujo de datos de servicio . El APR dicta si una solicitud de establecimiento / modificación de portador puede ser aceptada o rechazada en el caso de los conflictos en la demanda de recursos de red. En el momento de excepcionales limitaciones recursos de red, tales como el traspaso , ARP puede ser utilizado por el Nodo B de soltar un flujo con un ARP inferior para liberar capacidad . ARP , sin embargo, no tiene efecto en el tratamiento de red recibido por el flujo una vez que se ha establecido con éxito el flujo

## **2.11 Calidad de servicio sobre LTE**

La forma en que los consumidores y las empresas utilizan los servicios de comunicaciones móviles está en constante evolución debido a la demanda de nuevos servicios y aplicaciones y al uso de nuevos dispositivos móviles para acceder a la red (tablets, smartphones, computadores portátiles, entre otros).

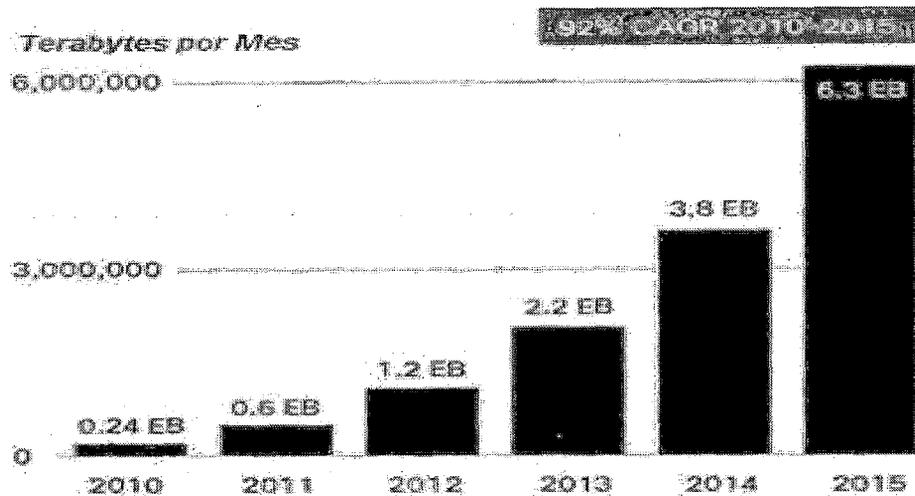
Según lo planteado en Analysys Research Limited, "Global Mobile Broadband: Market potential for 3G LTE (Long Term Evolution)" las redes móviles celulares transportan principalmente tráfico generado por los servicios de telefonía móvil celular (TMC), de mensajería SMS (Short Message Service) y MMS (Multimedia Messaging Service) y de personalización (ringtones, wallpapers).

No obstante, con el despliegue de las redes de 3G los operadores móviles celulares en todo el mundo han visto un rápido crecimiento de los suscriptores de Internet móvil, lo cual ha generado el crecimiento del volumen de tráfico generado por los usuarios, debido principalmente al aumento del uso de servicios multimedia, aplicaciones empresariales y el acceso a redes corporativas..

En el estudio realizado en Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2009-2014, se puede observar que durante los próximos años el crecimiento de tráfico sobre las redes móviles celulares será generado por el aumento en el número de suscriptores y por el consumo de servicios de video y datos en múltiples dispositivos móviles, toda vez que este tipo de servicios se están convirtiendo en una parte esencial de la vida de los usuarios.

Es así que de los 6.3 Exabytes de tráfico por mes que circulará en las redes móviles en 2015 (Figura N° 2.23), el 64.4% de este tráfico será generado por contenidos de video, puesto que este servicio demanda más ancho de banda que otros servicios móviles

**FIGURA N° 2.23**  
**CRECIMIENTO DE TRAFICO EN REDES MOVILES**



Esto exige a que las redes móviles celulares deben ser eficientes en el uso del espectro, altamente confiables y proporcionar la velocidad de acceso suficiente para manejar las diferentes clases de tráfico con diferentes grados de movilidad de los usuarios..

Analysys Research Limited, plantea que para apoyar estas necesidades de cambio y ofrecer nuevos servicios, los operadores móviles necesitan invertir en la ampliación de las capacidades de sus propias redes, para de esta manera y como se expone en Quality of service in WiMAX and LTE networks, evitar la congestión de sus redes y por ende, la degradación en la prestación de los servicios. Una de las formas de lograr esto es controlando la QoS, puesto que es uno de los factores fundamentales de las redes de 4G para la gestión de los recursos de red y para garantizar la entrega satisfactoria de servicios y aplicaciones a los usuarios finales.

El concepto de QoS toma importancia cuando es necesaria la diferenciación servicios y usuarios como se lo expresa en QoS Control in the 3GPP Evolved Packet System. 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, diferenciar el trato por grupos de usuarios para el mismo servicio, como por ejemplo diferenciar usuarios pre-pago de los usuarios post-pago en el acceso a Internet

A los usuarios les interesan aquellos aspectos de calidad que pueden ser percibido por ellos y dependen del servicio que se trate. Por ejemplo, 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 de la QoS para los servicios se realiza en conversacional, interactiva, streaming y

background.

La clase de servicio conversacional agrupa los servicios cuyos requisitos de QoS son más estrictos y rigurosos puesto que dependen directamente de la percepción humana como por ejemplo una llamada por voz sobre IP (VoIP, Voice over IP). Mientras que la clase de servicio background reúne servicios con requisitos de QoS menores puesto que 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 de paquetes 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).

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.

Las portadoras pueden ser de dos tipos: portadora de tasa de bit garantizada (GBR: Guaranteed Bit-Rate) y portadora de bit no garantizada (Non – GBR: Non Guaranteed Bit-rate). Los servicios que utilicen 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. 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 dependen 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.

Una portadora por defecto puede permanecer por largos periodos de tiempo, por lo cual generalmente se asocia con una portadora non-GBR. 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.

## 2.12 Software de simulación OPNET

En los últimos años se ha observado la aparición de nuevos servicios que realizan un consumo de recursos muy alto, tanto a nivel de la red como de las propias máquinas. Esto puede provocar funcionamientos defectuosos debido a la baja capacidad de las redes y los propios equipos. En algunos casos la implantación de estos servicios podría influir negativamente en partes del sistema que funcionaban correctamente. La realización de un análisis previo que permita determinar el impacto que dichos servicios pueden provocar, evitará los problemas que pudieran surgir y el consecuente descontento de los usuarios de la red. Además de evitar grandes pérdidas económicas.



OPNET (Optimized Network Engineering Tools) Technologies, Inc. es un proveedor líder de soluciones para la gestión del rendimiento de aplicaciones y redes. Ofrece la mejor solución para: la gestión del rendimiento de aplicaciones, la gestión del rendimiento de la red y la red I+D. Ofrece una amplia visibilidad y control entre dominios de infraestructura, así como la recopilación de datos y análisis profundo para poder hacer un diagnóstico poderoso sobre la raíz del problema. El software OPNET ha sido probado en miles de entornos de clientes en

todo el mundo incluidas empresas y gobierno, los organismos de defensa, proveedores de servicios de red y fabricantes de equipos.

La compañía fue fundada en 1986 y comenzó a cotizar en el año 2000. Su sede reside en Bethesda, Maryland, y cuenta con oficinas en Cary, Carolina del Norte, Nashua, New Hampshire, Dallas, Texas y Santa Clara, California. Cuenta con oficinas internacionales en Slough, Reino Unido, París, Francia; Bélgica; Frankfurt, Alemania y Singapur con el personal y los consultores en múltiples lugares en Asia y América Latina. El 29 de Octubre de 2012 fue adquirida por la tecnología Riverbed.

Riverbed es una compañía de tecnología especializada en la mejora del rendimiento de redes y aplicaciones en red. Fue fundada el 23 de mayo de 2002 por Jerry Kennelly y McCanne Steve en San Francisco, California, donde se mantiene su sede mundial. Su producto insignia es Steelhead Appliance, un dispositivo de red que combina varias técnicas para optimizar el tráfico de datos y la utilización del ancho de banda a través de una red de área ampliada.

Entre los distintos productos que OPNET posee se encuentra OPNET Modeler desarrollado para el modelado y simulación.

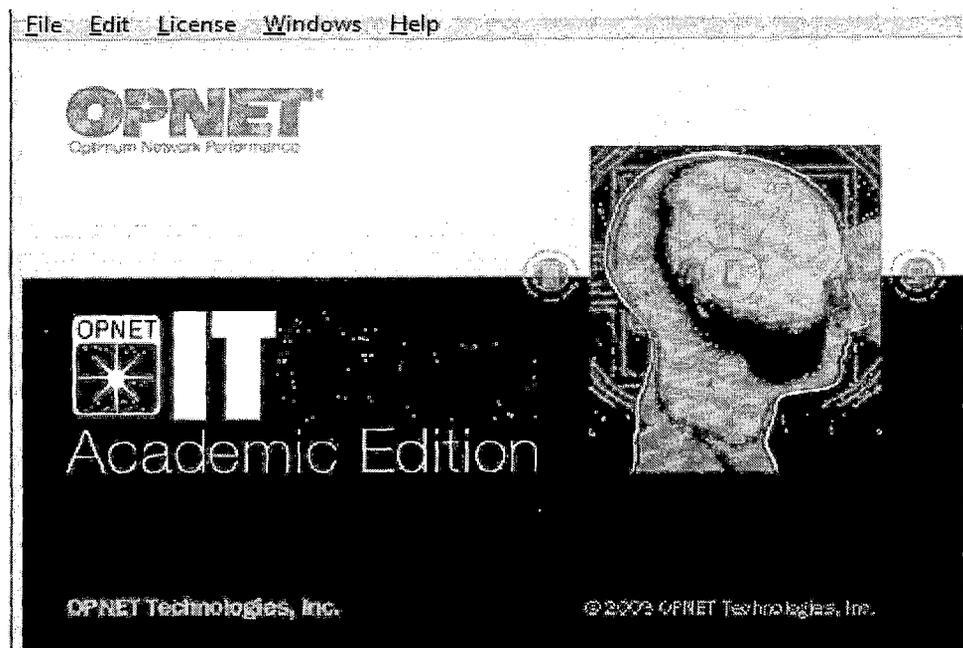
- **Configuración del Software OPNET**

El proyecto consiste en la evaluación de la red inalámbrica simulada mediante OPNET. Utilizaré 2 escenarios. Un primer escenario básico

para la comunicación de 2 nodos y un segundo escenario con tráfico de aplicaciones.

En el momento de implementar físicamente una red tanto de ámbito domestico como de ámbito empresarial es sumamente importante poder garantizar que esta va a funcionar de forma correcta, es decir, que todos los usuarios van a poder trabajar con la red sin que esta se llegue a saturar ni presente bloqueos. El fracaso de este diseño acarrea molestias a los usuarios, que verían afectado su nivel productividad con su repercusión en la empresa, y la corrección de este diseño genera nuevos gastos de dinero y tiempo que en un principio no estaban previstos y que con una buena planificación se hubieran podido minimizar. El objetivo general del proyecto es simular mediante OPNET el tráfico de una red antes de su implementación física para tener prácticamente asegurado el éxito de esta. Para la realización de la simulación he utilizado el software IT Guru Academic Edition 9.1, que es el software de OPNET con fines académicos.

**FIGURA N° 2.24**  
**PRESENTACION DE SOFTWARE OPNET**

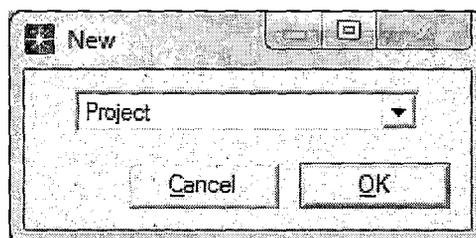


En toda red, tanto inalámbrica como cableada, la conectividad es un aspecto esencial dado que sin esta no existe posibilidad de comunicación entre sus diferentes elementos. En una red de cable la conectividad física es fácil de ver, en principio valdría con ver si los equipos tienen un cable de red correctamente conectado y para su conexión lógica sería suficiente con configurar los parámetros específicos de la red. En una red inalámbrica existen los parámetros de la conexión lógica que son similares a las redes cableadas, pero las conexiones físicas no se pueden ver (a simple vista) y todas estas comparten un medio común, el aire. El objetivo de este escenario es simular una conexión inalámbrica, con su respectivo tráfico, entre dos estaciones y verificar su correcto funcionamiento.

Para este primer escenario vamos a generar una red muy simple, dos estaciones, en la que se genera tráfico desde una hacia la otra, se podría hacer un escenario más simple, incluso con un solo equipo generando tráfico broadcast y monitorizando este mediante las estadísticas que nos ofrece el propio escenario, pero con dos nodos veremos cómo se hace la conexión entre estos, ya que toda conexión que se quiera hacer, por ejemplo entre un nodo y un servidor, o cualquier otro elemento de la red se hace de la misma forma. Este primer escenario, aunque básico, resulta muy útil para aprender la forma de hacer conexiones y verificar, mediante la representación de los resultados, el correcto funcionamiento de la red con el software de OPNET.

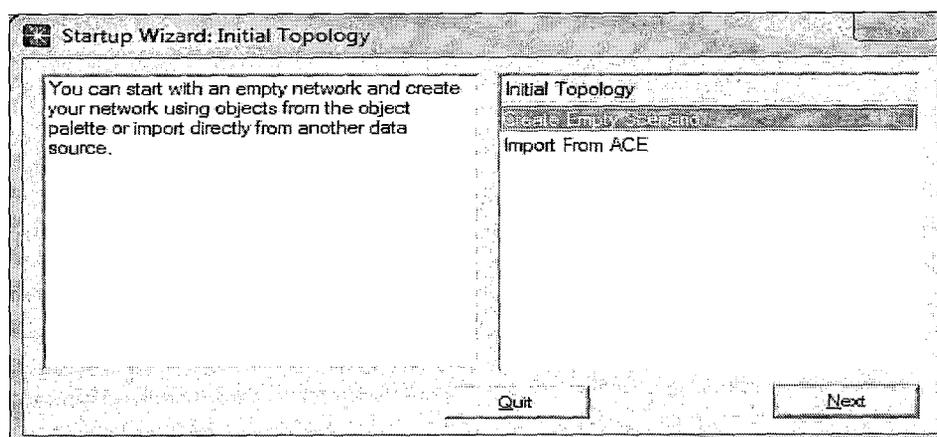
Comenzamos con la preparación de la primera fase del proyecto.

**FIGURA N° 2.25**  
**ESTABLECIMIENTO DE PROYECTO**



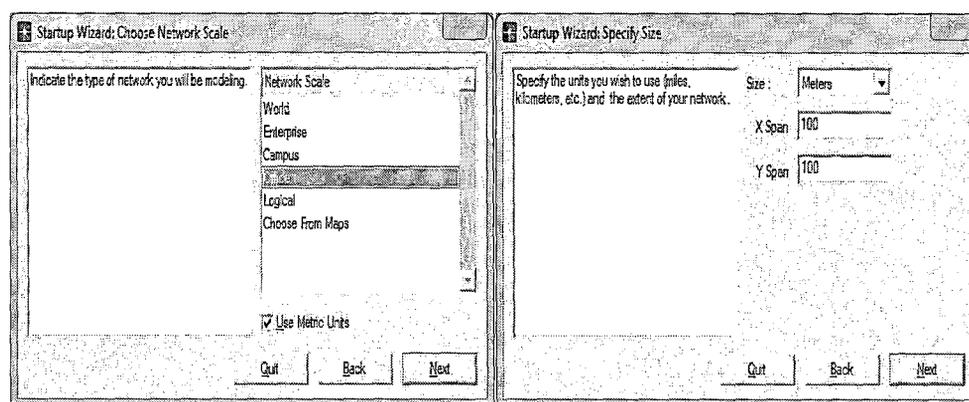
Utilizo el asistente para la creación del escenario: El asistente nos da las opciones de crear un escenario vacío o importarlo como topología inicial, en este caso seleccionamos crearlo vacío para empezar desde el inicio

**FIGURA N° 2.26**  
**CONFIGURACION “Startup” DEL PROYECTO**



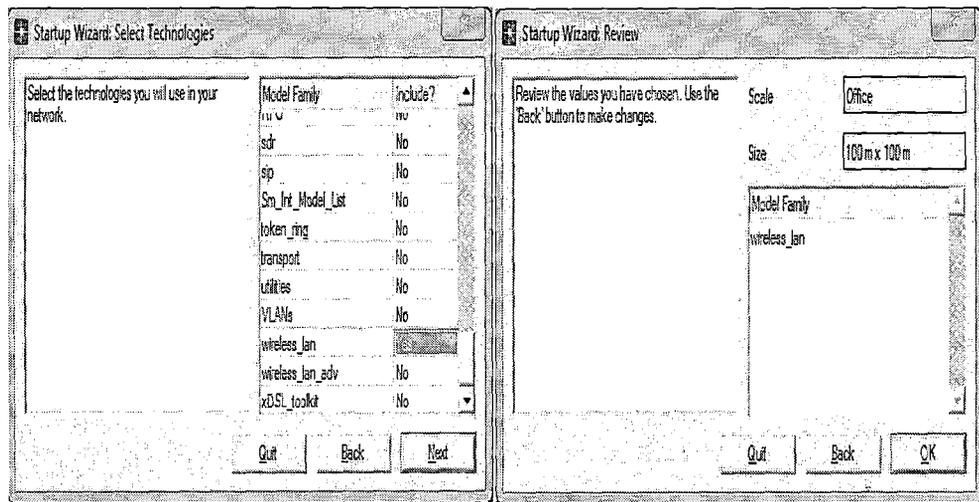
A continuación el asistente nos pide que indiquemos la escala de nuestro proyecto. OPNET nos permite trabajar desde con redes muy pequeñas, hasta redes de escala mundial. Para el proyecto seleccionamos la escala “Office” y especificamos un tamaño de oficina de 100 por 100 metros

**FIGURA N° 2.27**  
**CONFIGURACION “Starting Wizard” DEL PROYECTO**



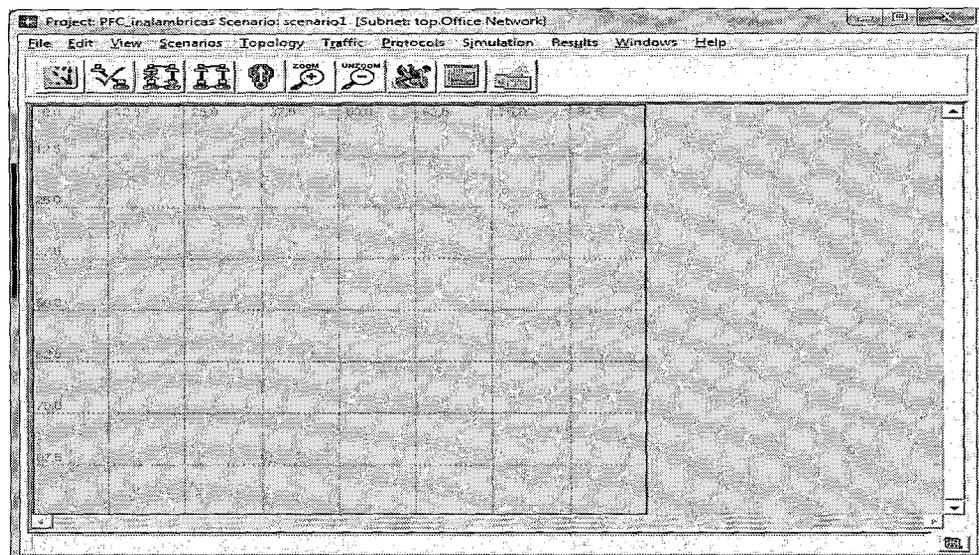
Finalmente nos permite seleccionar las tecnologías a utilizar en la red, dado que es un proyecto de redes inalámbricas seleccionamos tecnología “Wireless\_lan”. Tras este paso nos muestra los valores elegidos para su revisión.

**FIGURA N° 2.28**  
**CONFIGURACION DEL PROYECTO**



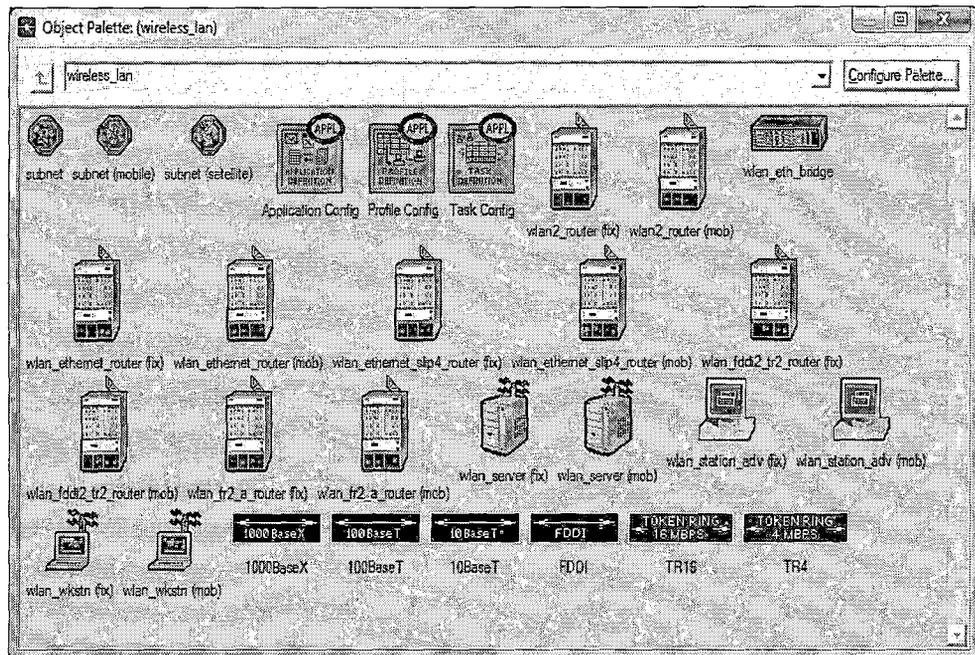
Y ya tenemos generado el escenario: dé prueba.

**FIGURA N° 2.29**  
**ESCENARIO DEL PROYECTO**



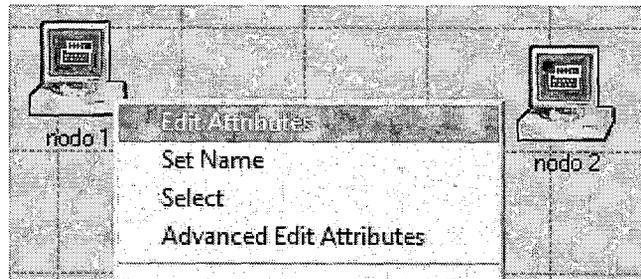
Se nos muestra también una paleta con los distintos elementos que podemos utilizar en nuestra red. En este caso elementos de tecnología inalámbrica

**FIGURA N° 2.30**  
**RECURSOS PARA EL PROYECTO**



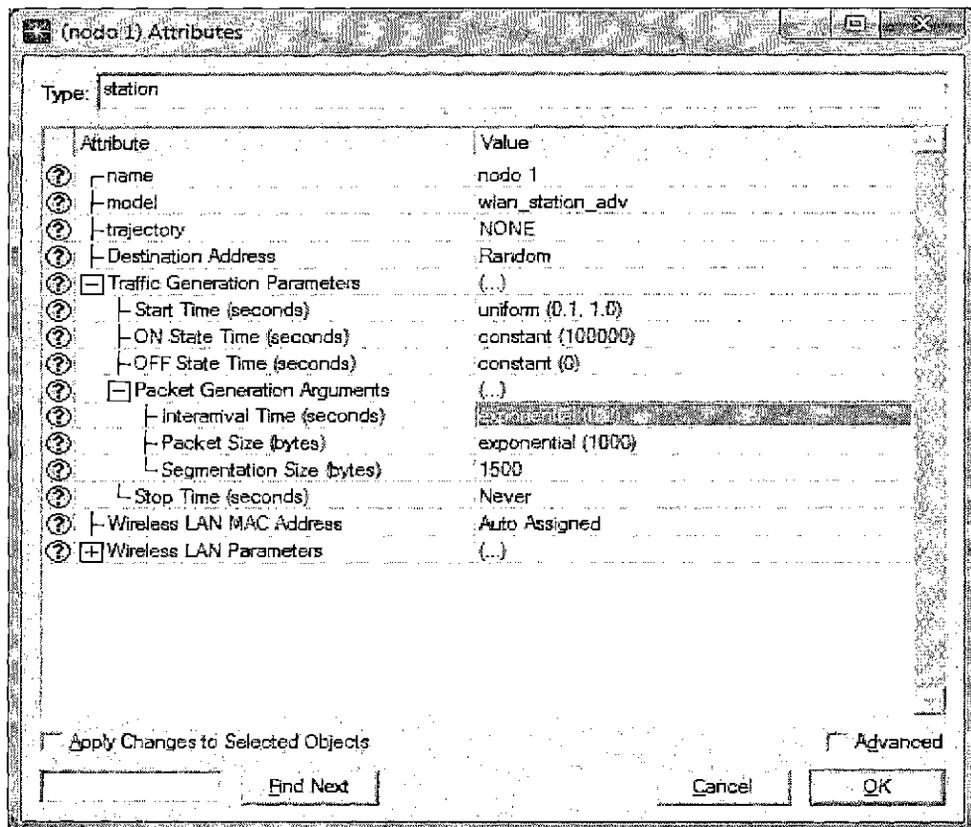
Introducimos en el escenario vacío 2 wlan\_station\_Adv(mob)

**FIGURA N° 2.31**  
**EDICION DE ATRIBUTOS**



Mediante un clic con el botón derecho sobre el nodo 1 podemos ver y editar sus atributos

**FIGURA N° 2.32**  
**CONFIGURACION DEL PROYECTO**



Para especificar las características del tráfico del nodo disponemos de los siguientes parámetros: Start Time: es el momento en que la aplicación que genera tráfico comienza. Por defecto viene con el valor "never", lo vamos a modificar dándole un valor "uniform(0.1,1.0)". Esto significa que la hora de inicio será elegida al azar de la gama 0,1 a 1,0. Es decir, en una simulación esta puede comenzar en 0,34 segundos de tiempo, pero en otra simulación podría empezar en 0,94 segundos.

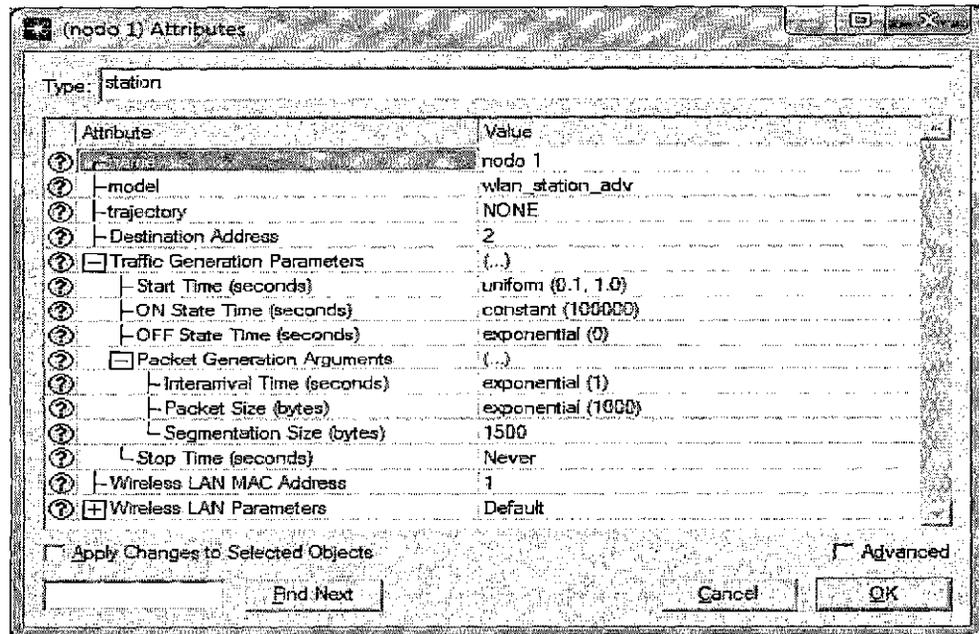
- ON State Time: La aplicación genera tráfico cuando se encuentra "ON" y deja de generarlo cuando está "OFF", vamos a modificarla

para que se encuentre siempre "ON" modificando el valor a "constant(10000)" segundos.

- OFF State Time: como hemos dicho, en este estado no genera tráfico. Le asignamos un valor constante 0, para que en ningún momento deje de generarlo.
- Packet Generation Arguments: cuando la aplicación se encuentra "ON" los siguientes atributos especifican el tipo de tráfico generado.
- Interarrival Time: el tiempo entre cada paquete. La aplicación genera un paquete y espera el tiempo de llegada, acto seguido envía otro paquete, vuelve a esperar y así sucesivamente. Le asignamos un valor "exponential(1)".
- Packet Size: el tamaño de cada paquete. Nuevamente usamos una distribución exponencial. Asignamos un tamaño de 1000 bytes al paquete.
- Segmentation size: después de cada paquete generado, la aplicación realiza segmentación. Modificamos para que se aplique con el tamaño máximo de 1500 bytes por paquete.
- Stop Time: indica el momento en que la aplicación se detiene. Le indicamos que no se detenga nunca.

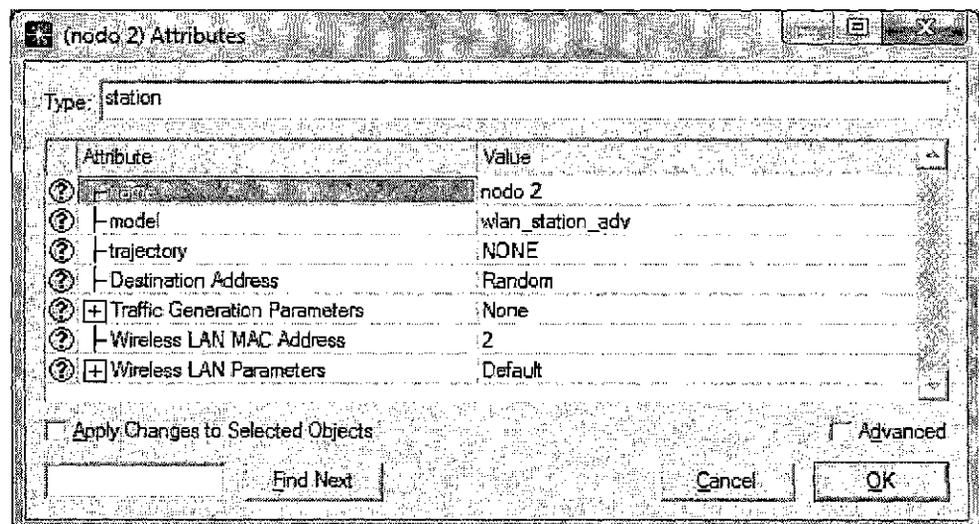
Modificaremos *Wireless LAN MAC Address* asignándole a este equipo el 1 y como dirección de destino el 2, que será asignado al otro nodo. No realizamos más modificaciones y finalmente los atributos del nodo 1 quedan así:

**FIGURA N° 2.33**  
**ATRIBUTOS (NODO 1) DEL PROYECTO**



Y así el nodo 2 en el que modificamos el *Wireless LAN MAC Address* con el valor 2.

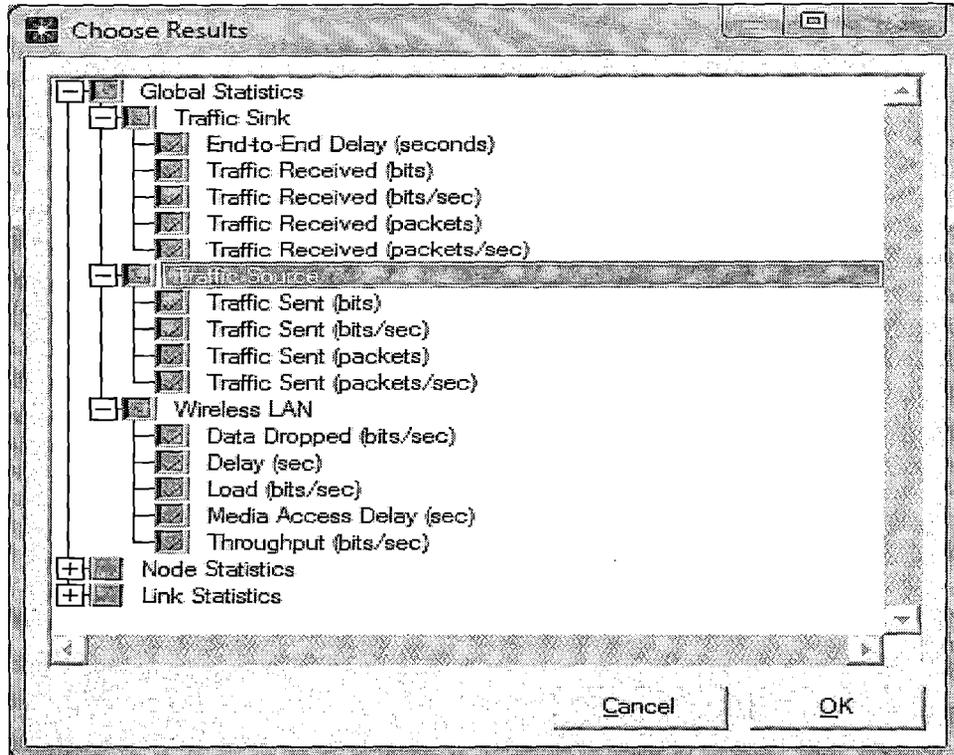
**FIGURA N° 2.34**  
**ATRIBUTOS (NODO 2) DEL PROYECTO**



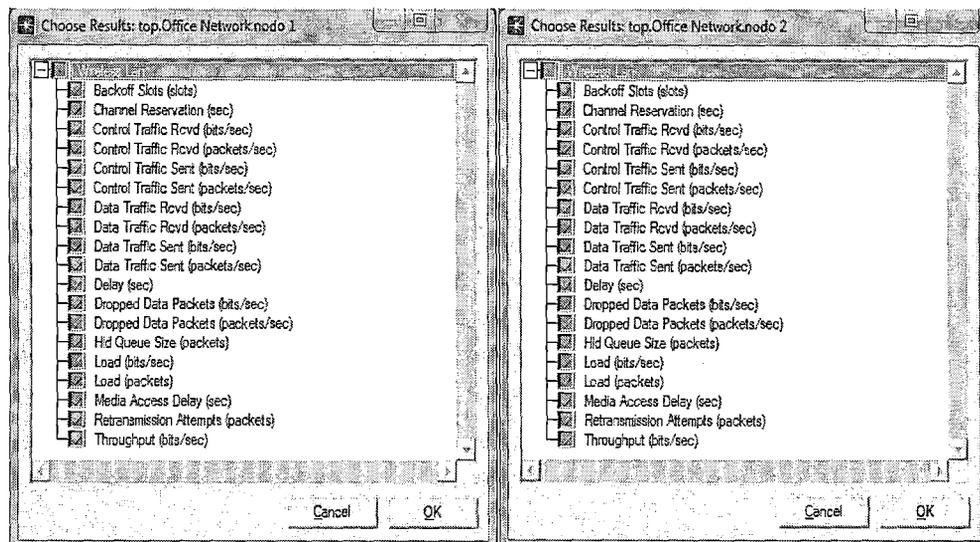
A continuación procedemos a seleccionar las estadísticas que queremos registrar, lo podemos hacer a nivel de nodo (*Choose*

Individual Statics) o a nivel global. Tanto como a nivel global como en los nodos seleccionamos todas:

**FIGURA N° 2.35**  
**“CHOSSE RESULTS” DEL PROYECTO**

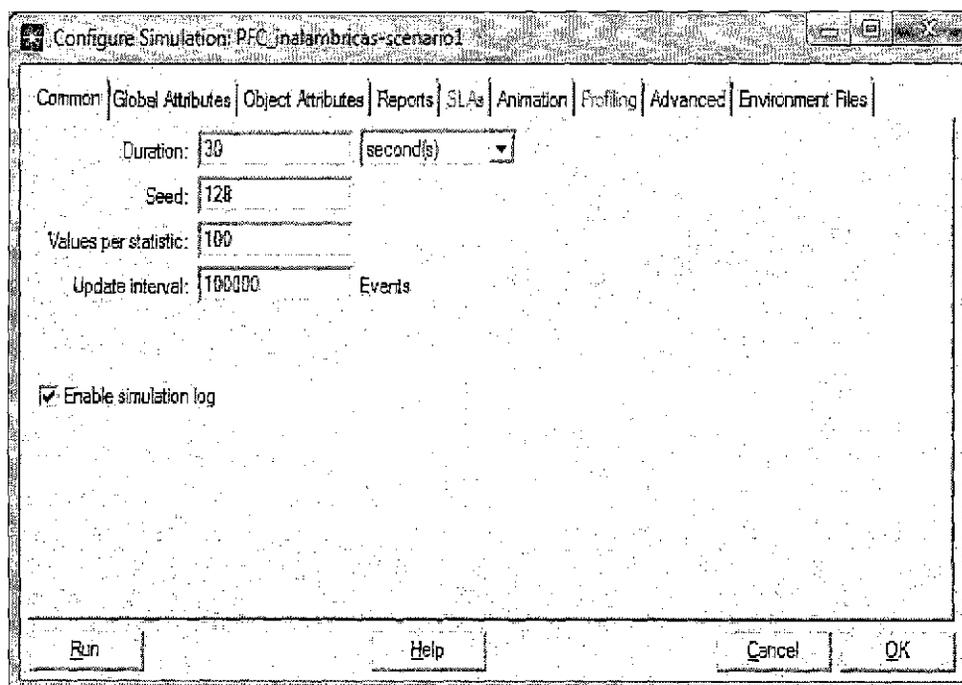


**FIGURA N° 2.36**  
**NETWORK NODO 1 Y NODO 2**



Ahora configuramos la simulación en *Simulation->Configure Discrete Event Simulation*. Modificamos para que se produzca una simulación de 30 minutos y dejamos los demás parámetros como están.

**FIGURA N° 2.37**  
**CONFIGURACION SIMULACION ESCENARIO 1**



### **Segunda fase:**

En el momento de la implementación física de una red se ha de tener en cuenta la carga de tráfico que generan las aplicaciones que se van a utilizar. En una red empresarial existe tráfico de datos de aplicaciones, pero aparte de este tráfico hay aplicaciones que pueden generar tráfico de voz o tráfico de video (los tres en conjunto se denominan tráfico multimedia). El objetivo parcial de este escenario es simular el tráfico de aplicaciones en una red

inalámbrica y evaluando los resultados de la simulación poder decidir si la tecnología elegida para su simulación es la correcta y si lo es ver hasta que limite se podría ampliar la red sin que el funcionamiento de esta se viera afectado.

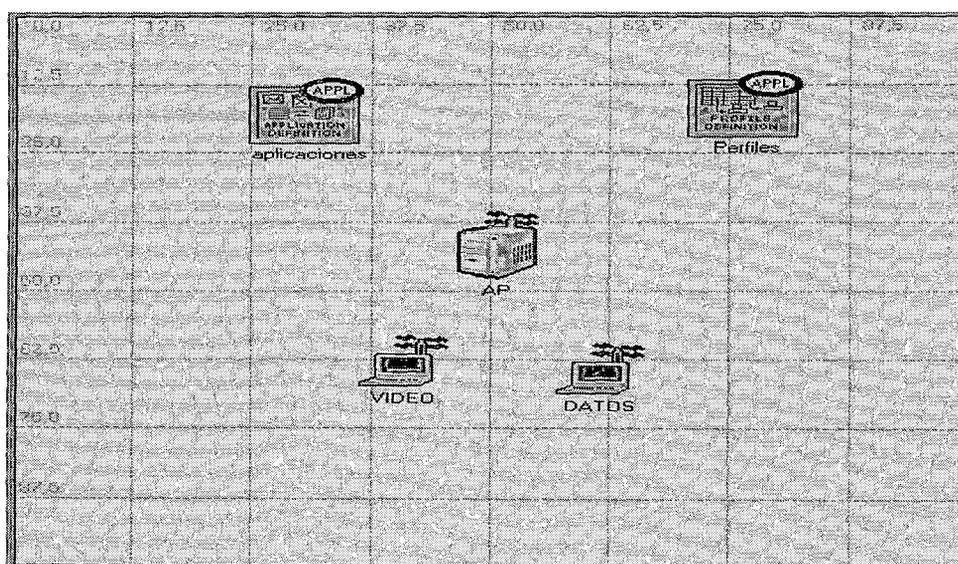
El propósito de este segundo escenario es experimentar como OPNET puede simular el tráfico propio de aplicaciones, en este caso solo utilizaremos dos tipos de aplicaciones distintas. Lo ideal hubiera sido hacerla con un número más elevado de aplicaciones y de estaciones, ya que así es como en un principio esto es lo que se da en la vida real, pero la restricción del software de edición académica me ha obligado a reducir a un número de 2 estaciones y 2 aplicaciones.

En el primer escenario utilizamos el software para verificar el correcto funcionamiento de la red. En este segundo vamos a hacer una evaluación de determinados parámetros básicos de la red que nos aportarán información esencial para su diseño físico.

A pesar de esta restricción el escenario es de sobra útil para ver como OPNET puede ser utilizado para la evaluación de escenarios con tráfico real de aplicaciones. En esta ocasión simulamos una oficina de 100x100 (como en el primer escenario). Vamos a situar 2 estaciones WLAN que van a generar tráfico a aplicaciones de datos y video hacia el AP (Access Point).

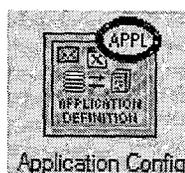
El Access Point seleccionado es un servidor con capacidad inalámbrica que además de servir como nodo de comunicación nos servirá las aplicaciones mencionadas.

**FIGURA N° 2.38**  
**ESTRUCTURA DEL PROYECTO**



**Configuraciones:**

**FIGURA N° 2.39**  
**CONFIGURACION DE APLICACIONES**

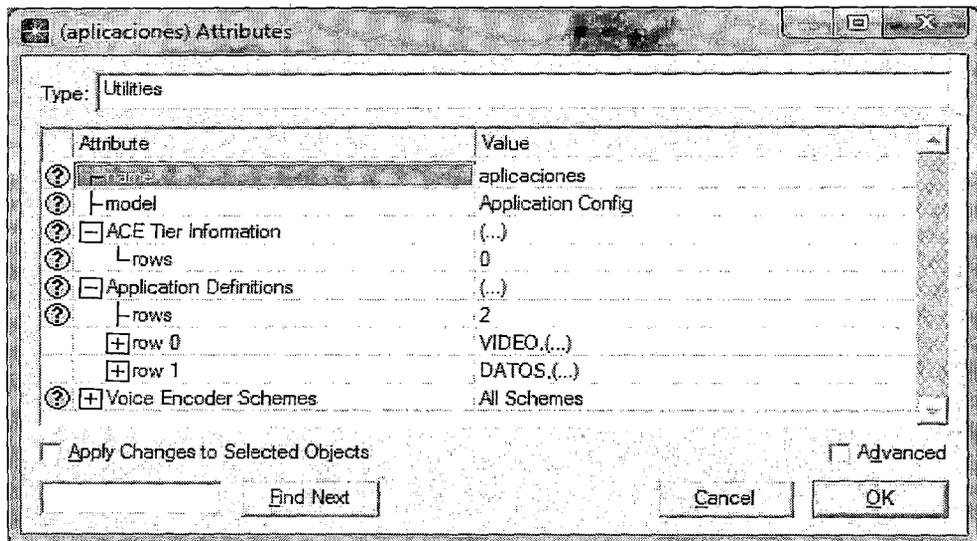


Application Configuration Object nos permite configurar una aplicación en común a un grupo de estaciones. Existen 8 aplicaciones por defecto.

Haciendo clic con el botón derecho podemos configurar sus atributos  
 ->Edit Attributes.

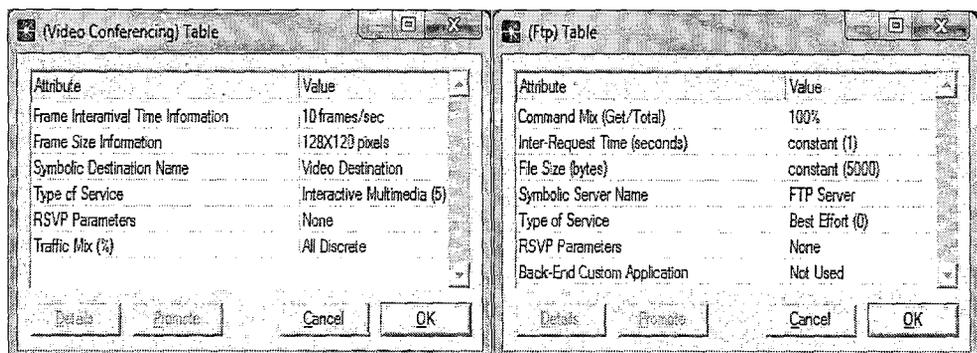
Para definir las diferentes aplicaciones que utilizarán las estaciones  
 pulsamos el elemento Application Config y seleccionas Edit Attributes.  
 Definimos las aplicaciones DATOS y VIDEO cambiando el número  
 de filas a 2.

**FIGURA N° 2.40**  
**ATRIBUTOS DE APLICACIONES DE LA RED**



Tras ello configuramos las dos aplicaciones con los siguientes  
 parámetros.

**FIGURA N° 2.41**  
**CONFIGURACION VIDEO CONFERENCIA**



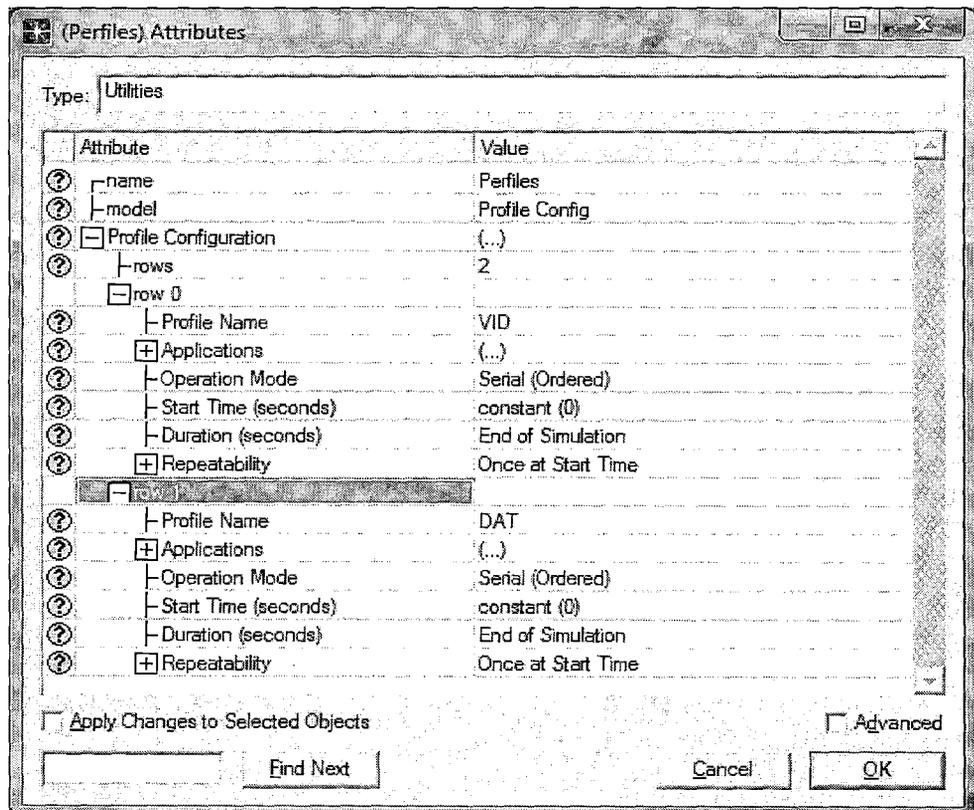
## Configuración de perfiles

**FIGURA N° 2.42**  
**CONFIGURACION DE LA RED**



Para la configuración de perfiles seleccionamos *Profile Config* y al hacer clic con el botón derecho podemos editar sus atributos.

**FIGURA N° 2.43**  
**ATRIBUTOS DE PERFILES**



### 2.12.2 Parámetros a evaluar

Retardo: Este parámetro representa el retardo punto a punto de todos los paquetes que han sido recibidos satisfactoriamente por la capa MAC y reenviados a la capa superior. Incluye los retardos por encolado y acceso al medio en la fuente MAC, recepción de todos los fragmentos individualmente y el retardo de la trama.

Throughput: representa el tráfico total en bit/s recibido satisfactoriamente y reenviado a la capa superior. No incluye las tramas de datos unicast direccionadas de otra MAC, duplicidad de tramas antes de ser recibidas o tramas incompletas.

Se nos vuelve a hacer patente que la tasa de transmisión para el video sería fatal para una comunicación multimedia ya que daría lugar a múltiples errores y retardos en la comunicación. Llegamos a la conclusión de que la tecnología inalámbrica tal y como se ha configurado no se podría implantar en una empresa que generara tráfico multimedia. La simulación se ha hecho con un mínimo de nodos y su resultado ha sido insatisfactorio. No tendría sentido ampliar la red en cuando a nodos y a tráfico, sólo la sobrecargaría más.

La versión completa OPNET Modeler incluye la posibilidad de simular otros mecanismos de acceso al medio como EDCA y HCCA que nos permiten reducir los retardos a través de la priorización de

diversos tipos de paquetes de tráfico y mejorar la eficiencia del ancho de banda. A partir de un escenario mínimo (como el presentado) que funcionara correctamente podríamos ir añadiendo estaciones hasta ver cuál es el límite de la red y así en el momento de su implementación física tener garantías de que el diseño de red será satisfactorio.

### 2.13 Glosario de términos

**FDMA:** Acceso múltiple por división de frecuencia (Frequency Division Multiple Access o FDMA)

**TDMA:** Acceso múltiple por división de tiempo (Time Division Multiple Access)

**CDMA:** Código de Acceso Múltiple por División (Code Division Multiple Access)

**GSM:** Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications)

**GPRS:** Servicio general de paquetes vía radio (*General Packet Radio Service*)

**3GPP:** 3rd Generation Partnership Project

**AAA:** Authentication Authorization Accounting

**ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line

**Bps:** bits por segundo

**CDMA:** Code Division Multiple Access

**EPS:** Evolved Packed System

**E-UTRAN:** Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

**FDMA:** Frequency Division Multiple Access

**GGSN:** Gateway GPRS Support Node

**GPRS:** General Packet Radio Service

**GSM:** Global System for Mobile communications

**HSPA:** High-Speed Packet Access

**HSS:** Home Subscribe Server

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronic Engineers

**IP:** Internet Protocol

**IPv6:** IP version 6

**LTE:** Long Term Evolution

**MC-CDMA:** Multi-Carrier CDMA

**MIMO:** Multiple-Input Multiple-Output

**MME:** Mobility Management Entity

**OFDMA:** Orthogonal FDMA

**PCRF:** Policy and Charging Rule Function

**PDG:** Packed Data Gateway

**PDN:** Packet Data Network

**PGW:** PDN Gateway

**QAM:** Quadrature Amplitude Modulation

**QoS:** Quality of Service

**QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying

**RAN:** Radio Access Network

**SAE:** System Architecture Evolution

**SC-FDMA:** Single-Carrier FDMA

**SDR:** Software Define Radio

**SFN:** Single Frequency Network

**SGSN:** Serving GPRS Support Mode

**SGW:** Serving Gateway

**SLA:** Service Level Agreement

**TDMA:** Time Division Multiple Access

**UE:** User Equipment

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunication System

**WiBro:** Wireless Broadband

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity

**WiMAX:** World Interoperability from Microwave Access

**WLAN:** Wireless Local Area Network

**EPC:** Evolved Packet Core.

**ePDG:** evolved Packet Data Gateway.

**EPS:** Evolved Packet System.

**EUTRAN:** Evolved UMTS Terrestrial Radio Access.

**GGSN:** Gateway GPRS Support Node.

**GTP:** GPRS Tunneling Protocol.

**HSDPA:** High Speed Down Packet Access.

**HSPA:** High Speed Packet Access.

**HSS:** Home Subscriber Server.

**HSUPA:** High Speed Uplink Packet Access.

**LSTI:** LTE/SAE Trial Initiative.

**LTE:** Long Term Evolution.

**MAP:** Mobile Application Part.

**MIMO:** Multiple Input Multiple Output.

**MME:** Mobility Management Entity.

**NGMN:** Next Generation Mobile Network.

**OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

**PCRF:** Policy and Charging Rule Function.

**PDN:** Packet Data Network.

**PMIP:** Proxy Mobile Internet Protocol.

**RNC:** Radio Network Controller.

**SAE:** System Architecture Evolution.

**SC-FDMA:** Single Carrier-Frequency Division Multiple Access.

**SDMA:** Spatial Division Multiple Access.

**SGSN:** Serving GPRS Support Node.

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunication System.

**UTRAN :**UMTS Terrestrial Radio Access.

## CAPITULO III

### VARIABLES E HIPOTESIS

#### 3.1. Definición de las variables

**Variable independiente :** **CALIDAD DE SERVICIOS**, el mismo que está conformado por los factores, tales como Throughput, Latencia, Accesibilidad y Retención.

**Variable dependiente:** **VENTAJA COMPETITIVA**, está en función de los valores que tome la QoS (Calidad de Servicio) como variable independiente.

#### 3.2 Operacionalización de variables

La variable independiente en estudio (Clidad de servicio) y los factores que la conforman son los siguientes:

- **Throughput:** es la cantidad de infromacion transfreida en una dirección a través de un enlace dividido por el tiempo tomado para transferirla expresado en bits o bytes por segundo. Generalmente el Throughput

en el interfaz de radio es medida como el rendimiento de la carga útil efectiva en el enlace de comunicación.

- Latencia: (Latency) es el tiempo que demora un paquete en atravesar una conexión de red desde el emisor al receptor. Es importante para protocolos síncronos donde cada paquete tiene que ser reconocido antes que el próximo sea transmitido.
- Accesibilidad: es la probabilidad de que existen recursos disponibles cuando un usuario lo requiera. En el caso de una red inalámbrica dependerá de diversos factores, desde la cobertura de la señal a la conexión de la red con nodos externos y servidores de aplicaciones. El acceso al servicio podría fallar en cualquier caso, algunos desde el interior de la red del operador, pero algunos otros por la misma red externa (ejemplo internet). Un operador de redes inalámbricas tiene que preocuparse de la optimización dentro de su red, ya sea de la accesibilidad de radio como la accesibilidad de sesión.
- Retención (Retainability) está dada por la probabilidad de las conexiones de datos sean capaces para terminar su sesión exitosamente sin que la transmisión de errores afecten su desempeño. Desde el punto de vista del operador hay diferentes niveles de retención de radio y de sesión.

### **3.3 Hipótesis general e hipótesis específica**

Se plantea una hipótesis general en el entendimiento de que la investigación trata de desarrollar un modelo que mida la Calidad de

Servicio de los Sistemas de Comunicación enmarcados en la Tecnología 4G. Por lo tanto no requiere hipótesis específica.

Es así que la Hipótesis propuesta permitirá orientar el proceso de la investigación ya que es el enlace entre las teorías señaladas en el marco teórico y la observación del comportamiento de la Calidad de Servicio de los Sistemas de Comunicación, estableciéndose por lo tanto la siguiente hipótesis:

**La ventaja competitiva de las empresas de manufactura está en función de la QoS. (Calidad de Servicio), pues a mayor QoS mayor ventaja competitiva.**

De la hipótesis planteada se derivan los procedimientos para la obtención de los sistemas de Comunicaciones de nuestro país en cuyas instalaciones se realizan las mediciones.

Los resultados pueden indicarnos que la Calidad de Servicio es ventaja competitiva de las empresas de Comunicaciones de Tecnología 4G y por lo tanto, éxito de estas empresas radicaría en su sistema 4G implementado.

Este contraste de hipótesis permitirá que los resultados de la investigación demuestren que la Calidad de Servicio es o no una ventaja competitiva en las empresas con tecnología 4G, o son otros los factores que ahora predominan en las empresas de comunicaciones con tecnología 4G del Perú.

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGIA**

#### **4.1 Tipo de Investigación**

El tipo de investigación a desarrollar es descriptiva y explicativa porque se va a analizar como es y cómo se manifiesta la Calidad de Servicios determinado, los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de sistemas, servicios o cualquier otra característica que sea sometido al análisis o evaluación de diversos aspectos, dimensiones o componentes, fenómenos a investigar, desde el punto de vista científico, desde medir. Es un estudio descriptivo y se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente para describir lo que se investiga.

#### **4.2 Diseño de la Investigación**

El procedimiento a seguir para alcanzar el objetivo propuesto se plantea su desarrollo en 2 grandes etapas: Primero, la elaboración de un tutorial sobre

el asunto de la evaluación de calidad de servicio en redes móviles 4G y segundo, desarrollar uso de herramientas software hacer experiencias de simulación que ilustren y complementen los conceptos teóricos de la etapa anterior.

- **Etapas de la Investigación**

Como se ha mencionado anteriormente, este trabajo de investigación estará compuesto de 2 grandes etapas: Un tutorial y experiencias de simulación, que serán subdivididas en capítulos conteniendo las formas de evaluación actuales y sus ventajas y desventajas, de los soportes que se plantean para optimizar la calidad de servicio en las redes 4G. Las tendencias, las experiencias de simulación, detalladas una a una, los procedimientos seguidos, las configuraciones efectuadas en las herramientas utilizadas, los resultados obtenidos y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

- **Identificación del Problema**

La forma “subjetiva actual de evaluación”, además de ser costoso y demanda tiempo para su ejecución, lleva con ella los aspectos subjetivos de cada persona. Lo que es bueno para una persona puede no ser bueno para otra. Este hecho entre otras cosas tiende a ser reemplazado por mediciones “objetivas” que representen de forma global una evaluación cuantitativa del valor de calidad de servicio.

- **Identificación de la información necesaria**

Las informaciones y el estado de desarrollo de la evaluación objetiva, será investigado de las diversas fuentes secundarias, primarias y otras disponibles confiablemente.

- **Selección de instrumentos para recolección de datos**

Los instrumentos para la recolección de información serán libros y revistas especializadas e *Internet*. Y otras fuentes confiables.

- **Identificación de la forma y método de obtención de los datos**

La obtención de los datos resultantes de la aplicación del trabajo propuesto, será comparada o con el método tradicional y con valores prácticos en uso, por las administraciones de estandarización.

- **Recolección de datos y resultados**

Los resultados serán presentados en cuadros y gráficos con sus respectivos comentarios, conclusiones y recomendaciones, considerando todos los ítems analizados.

- **Informe Final**

El informe final incluye todos los ítems considerados, conceptos y procedimientos de terceros, indicando su fuente y autores.

- **Población y muestra**

En el presente trabajo de investigación, por su naturaleza, este rubro no es aplicable, porque está basado en planteamientos de soporte de calidad de servicios, consecuencia de análisis previamente estudiados.

- **Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de los objetivos propuestos en este trabajo de investigación se ha previsto el uso de las siguientes herramientas:

- Microcomputadores PC o compatibles.
- Acceso a la *Internet*.

- **Procedimiento estadístico y análisis de datos**

Resultados serán presentados en gráficos y/o tablas de forma que presenten de forma clara los resultados de cada prueba o etapa, incluyendo cada uno sus respectivos comentarios y conclusiones.

En esta etapa se determina como analizar los datos y que herramientas de análisis estadístico son adecuadas para éste propósito.

El tipo de análisis de los datos depende al menos de los siguientes factores:

- a) El nivel de medición de las variables.
- b) El tipo de hipótesis formulada.

- c) El diseño de investigación utilizado indica el tipo de análisis requerido para la comprobación de hipótesis.

El análisis de datos es el precedente para la actividad de interpretación. La interpretación se realiza en términos de los resultados de la investigación. Esta actividad consiste en establecer inferencias sobre las relaciones entre las variables estudiadas para extraer conclusiones y recomendaciones. La interpretación se realiza en dos etapas:

1. Interpretación de las relaciones entre las variables y los datos que las sustentan con fundamento en algún nivel de significancia estadística.
2. Establecer un significado más amplio de la investigación, es decir, determinar el grado de generalización de los resultados de la investigación.

Las dos etapas se sustentan en el grado de validez y confiabilidad de la investigación. Ello implica la capacidad de generalización de los resultados obtenidos.

Analizar significa establecer categorías, ordenar, manipular y resumir los datos. En esta etapa del proceso de investigación se procede a racionalizar los datos colectados a fin de explicar e interpretar las posibles relaciones que expresan las variables estudiadas.

El diseño de tablas estadísticas permite aplicar técnicas de análisis complejas facilitando este proceso. El análisis debe expresarse de manera clara y simple utilizando lógica tanto inductiva como deductiva.

Los resultados de una investigación basados en datos muestrales requieren de una aproximación al verdadero valor de la población. Para lograr lo anterior se requiere de una serie de técnicas estadísticas. Estas técnicas se derivan tanto de la estadística paramétrica como de la estadística no paramétrica. La primera tiene como supuestos que la población estudiada posee una distribución normal y que los datos obtenidos se midieron en una escala de intervalo y de razón. La segunda no establece supuestos acerca de la distribución de la población sin embargo requiere que las variables estudiadas se midan a nivel nominal u ordinal. En este caso, este punto tampoco ha sido necesario aplicarlo.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados de la implementación de las pruebas realizadas para la medición de la QoS. de servicios móviles 4G, se muestra una medición entre el mecanismo de acceso al medio propuesto examinando la media de retardo de propagación de mensajes, el cual es relativo y el consumo de energía para las configuraciones del escenario.

#### **5.1 Retardo medio de transmisión del mensaje**

Debido a que las redes móviles de cuarta generación (4G) ofrecen servicios multimedia dependientes de IP, surge una importante restricción a la movilidad, dado que IP está diseñado para redes fijas en las que el usuario conserva su dirección IP asociada a una red, y en el escenario de movilidad el usuario requiere estar cambiando de dirección conforme se traslada de un lugar a otro.

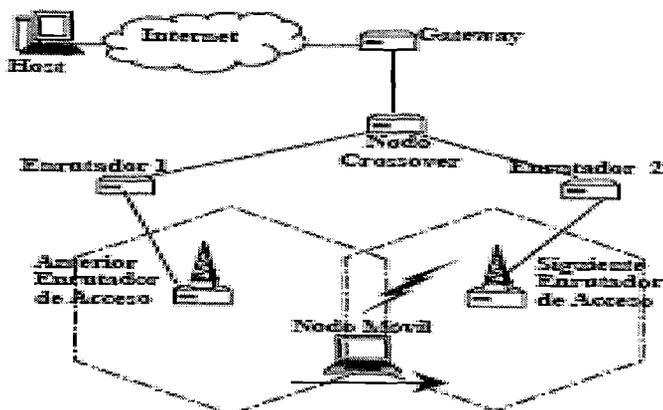
Para resolver esta problemática se han propuesto una serie de protocolos de movilidad con diversas fortalezas y debilidades. Por otro lado, 4G incorpora capacidades de manejo de multimedia, como voz empaquetada, mensajes multimedia y navegación en la red, entre otros. La sustitución de

la tecnología de conmutación de circuitos por la de conmutación de paquetes para el transporte de voz es un avance fundamental en la evolución hacia una red Toda IP. Sin embargo, esto viene con un costo, ya que los requerimientos de Calidad de Servicio (QoS) para las aplicaciones de tiempo real imponen límites rigurosos en el retraso de transferencia de los paquetes en la red. En este proyecto se describe un modelo de simulación del protocolo Celular IP, el cual permitirá analizar su rapidez de respuesta durante la transición de una terminal móvil de una célula a otra. Se utiliza la plataforma OPNET, para representar el ambiente de movilidad de un NM entre dos células de una red 4G bajo el protocolo Celular IP, y así caracterizar el comportamiento del “handoff” bajo condiciones de tráfico específicas.

Topología. La topología de la red (Figura N° 5.1) incluye todos los elementos que participan en la operación de transferencia bidireccional de información entre el NM y una terminal externa a la red móvil.

**FIGURA N° 5.1**

**GESTION DE MOVILIDAD EN UNA RED**



Donde:

Host: Genera y envía algún tipo de tráfico específico hacia el NM, en este caso, voz y web.

Enlaces: Determinan la capacidad de transporte entre entidades, se establecieron a 100 Mbps.

Gateway: Recibe el tráfico proveniente del Host y lo envía al NM. Recibe los registros iniciales y los registros de actualización emitidos por el NM, a su vez responde con mensajes de reconocimiento.

Nodo Crossover: Es un router que une las trayectorias entre los enrutadores de acceso y el Gateway. Su participación en el handover consiste en bifurcar el tráfico hacia ambos routers de acceso tan pronto como el mensaje de actualización pasa por él.

Enrutadores: (incluidos los enrutadores de acceso, nodo crossover y Gateway): Conforme los paquetes de actualización o de tráfico emitidos por el NM son conducidos hacia el Gateway, su función consiste en realizar un mapeo entre la dirección IP del NM y el puerto por donde se recibieron los paquetes. Cuando se requiere enviar tráfico en dirección opuesta, simplemente se revierte la información de mapeo. Todos los nodos involucrados en la trayectoria actualizan sus tablas de ruteo cada vez que el NM cambia de punto de acceso; el primer paquete enviado por el NM tiene esa finalidad.

Las tablas de ruteo en los nodos tienen cierta vigencia, por lo que necesitan ser refrescadas regularmente mientras el NM se encuentra en el mismo punto de acceso; sin embargo, cuando el NM se encuentra activo

los mismos paquetes de información realizan la actualización en cada nodo.

Nodo Móvil: Representa a la terminal utilizada por el usuario, tiene la capacidad de enviar y recibir tráfico de datos y de señalización, también puede escuchar a ambos routers de acceso durante el cruce por la zona de traslape.

## **5.2 Modelado de tráfico**

La representación del modelo requiere la especificación del comportamiento probabilístico de cada tipo de tráfico. El modelo implementado genera sesiones para dos tipos de servicios, voz y navegación Web. Para el caso de voz se adopta el siguiente: Voz calidad GSM con tipo de servicio interactivo, a una tasa de 13 Kbps, codificado en tramas de 20 ms de 32.5 bytes/trama. La duración de una llamada sigue una densidad de probabilidad exponencial ( $\mu = 3$  min.), con actividad de habla y silencios en una relación 40% / 60 % en el transcurso de una llamada. Para el caso de tráfico Web se utilizaron las siguientes funciones de distribución: tiempo de inter-arribo de página (exponencial,  $\mu = 90$  seg), duración de sesión (exponencial,  $\mu = 8$  min), tiempo de inter-arribo de sesión (Poisson,  $\lambda = 7$  min), objetos pequeños (uniforme, 1000–4200 bytes), objetos grandes (lognormal,  $\mu = 10$  KB,  $\sigma^2 = 625$  KB), y el número de objetos (geométrica,  $p = 0.7$ )

Esquemas de Transporte. Se configura el protocolo DiffServ sobre IP para lograr la priorización de los tipos de tráfico.

Características de los Enrutadores. Los enrutadores de la red adoptan las características de operación del enrutador CISCO.

Clases de Servicio. La Tabla N° 5.1 muestra las clases de tráfico que Administra la tecnología 4G.

**TABLA N° 5.1**

**CLASES DE TRAFICO DE INFORMACION EN LA RED**

	Conversación en tiempo real	Afluente en tiempo real	Interactiva Mejor esfuerzo	De fondo mejor esfuerzo
Retardo	<< 1 seg.	< 10 seg.	Aprox 1 seg.	> 10 seg.
Ejemplos tolerantes al error	Voz y video conversación	Audio y video afluentes	Mensajería de voz	Fax
Ejemplos no tolerantes al error	Telnet, Juegos interactivos	FTP, imágenes fijas	e-comercio navegación Web	Notificación de recepción de correo electrónico
Características fundamentales	Preservación de la relación de tiempo entre entidades del flujo	Preservación de la relación de tiempo entre entidades del flujo	Genera solicitudes de respuesta Preservación del contenido de carga útil	Preservación de contenido de la carga útil

Se presentan los comportamientos del tráfico bajo diversas condiciones de operación de los nodos.

Trafico de voz, con 40% - 60% de actividad conversación - silencio con tráfico de carga.

FIGURA N° 5.2

TRAFICO DE VOZ ENVIADO Y RECIBIDO

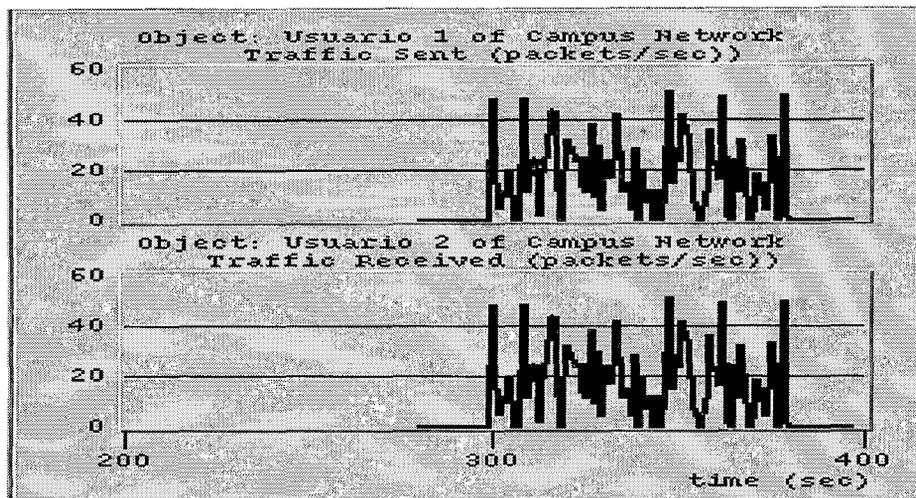
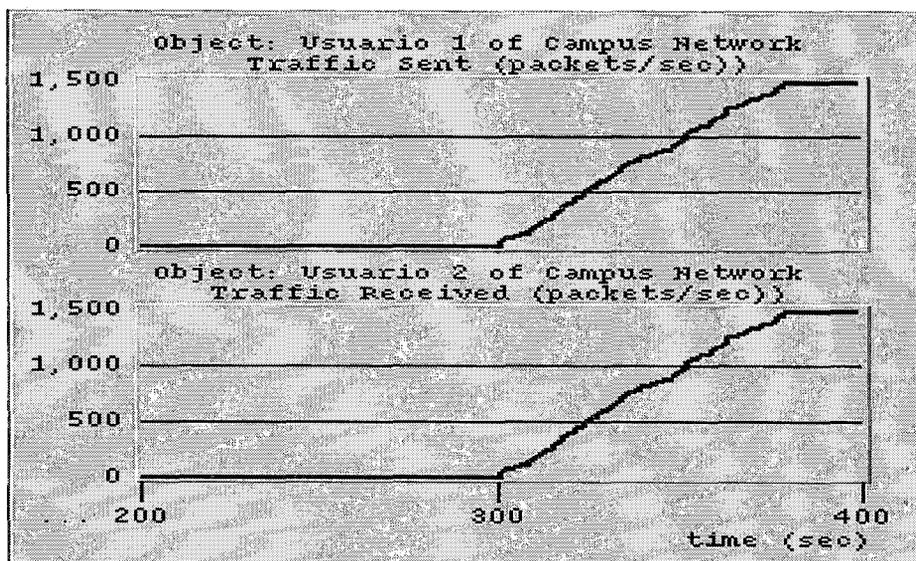


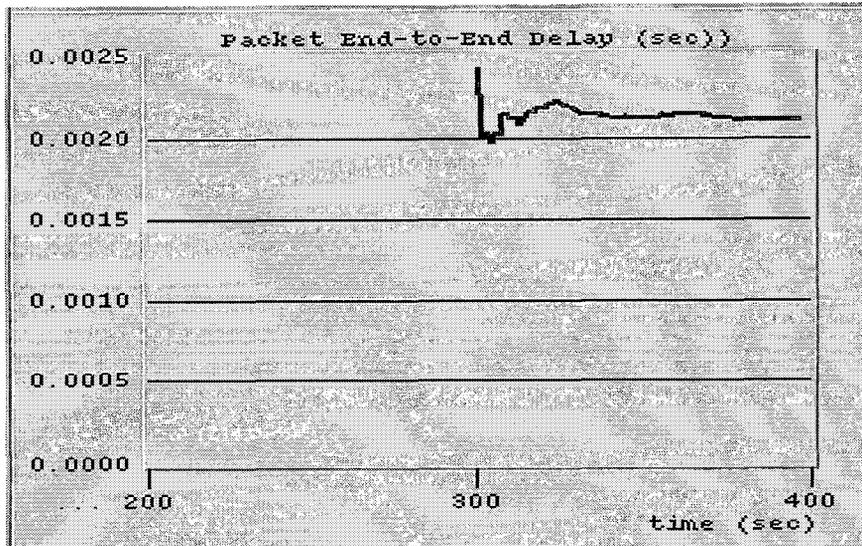
FIGURA N° 5.3

TRAFICO DE PAQUETES DE INFORMACION



**FIGURA N° 5.4**

**RETARDO PROMEDIO PUNTO A PUNTO**



Se observa el tráfico de voz generado, el recibido en el extremo receptor, el número total de paquetes enviados por la aplicación de voz y la del flujo de carga. Se aprecia que los tiempos de retardo son muy pequeños (alrededor de 2.2 mseg.), lo cual cumple con las restricciones para tráfico de tiempo real.

**FIGURA N° 5.5**

**TRAFICO WEB ENVIADO Y RECIBIDO**

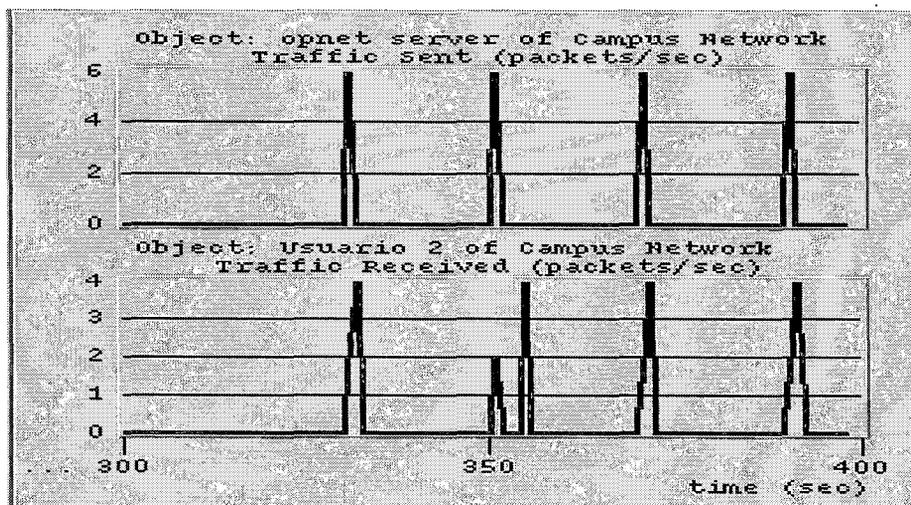


FIGURA N° 5.6

NUMERO DE PAQUETES TRANSMITIDOS

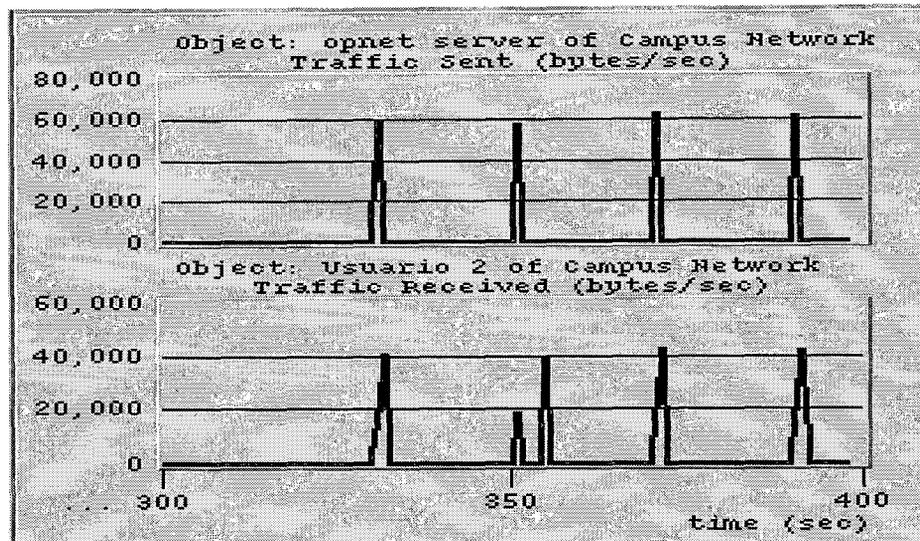
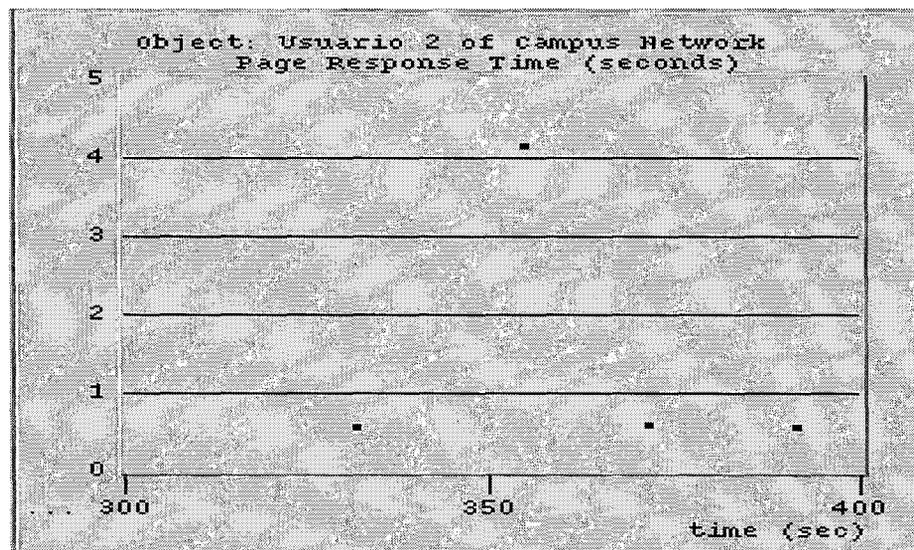


FIGURA N° 5.7

RETARDO PROMEDIO PUNTO A PUNTO



Las Figuras N° 5.5 y Figura N° 5.6 muestran el tráfico web generado y el recibido paquetes y bytes respectivamente. En ambos casos está presente el tráfico de fondo. Se observa que los tiempos de retardo normalmente

son menores de 1 seg., excepto en el momento del traslapado entre celdas, en el se eleva a alrededor de 3.2 segs.

Este valor está en el dentro del límite máximo de 4 segs para la aplicación de web.

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

#### **6.1 Contratación de hipótesis con los resultados**

Una vez desarrollado el programa, se han definido los parámetros de estudio, que nos han permitido evaluar estadísticamente el comportamiento del sistema. En primer lugar, se han realizado múltiples pruebas para ajustar los parámetros estudiados del sistema con referencia sobre el que se ha experimentado. Tras caracterizar el sistema de referencia, se han realizado múltiples simulaciones obteniendo resultados que han permitido comparar las prestaciones de los mecanismos de acceso en diferentes situaciones representativas. Posteriormente se ha realizado un análisis detallado de las estadísticas obtenidas lo cual nos ha permitido proponer las nuevas técnicas adaptivas que permiten mantener siempre al sistema de comunicaciones en el punto óptimo de trabajo, con los valores más adecuados para los parámetros de transmisión.

A continuación se resumen brevemente los efectos que causan las variaciones en el entorno y las condiciones del tráfico en el rendimiento de la red.

Según los resultados, para que el retardo medio no tome valores de tiempo elevados, es necesario transmitir con una probabilidad de transmisión media alta, lo que permitirá soportar 60 nodos con un retardo medio de 8,346 ms.

Al aumentar el número de nodos en el escenario, aumentan las transmisiones entre nodos por lo que se produce un mayor número de colisiones. Este aumento de colisiones implica que para conseguir un retardo medio acotado de 14,1 ms se debe reducir la probabilidad de transmisión para disminuir así el número de colisiones y permitir que el sistema soporte un rango hasta 200 nodos.

Respecto al factor de potencia de transmisión, para una probabilidad de transmisión de 0,1, se comprueba, que la curva del retardo medio para una potencia de transmisión de 0dBm es de 56,5 ms claramente superior a los 24,2 ms para 20 dBm de potencia.

A medida que aumentamos la probabilidad de transmisión, tomando valores superiores a 0.2, el número de repeticiones aumenta y la tendencia de las curvas varía notablemente.

Cuando en el área de evaluación aumenta el número de nodos el número de transmisiones aumenta considerablemente generando un incremento notable de las colisiones de los mensajes, lo que provoca un mayor retardo en las notificaciones de los mensajes.

Se comprueba como para cada ventana de acceso al medio hay un número óptimo de usuarios en el que el retardo se minimiza. Esto es debido a que

para un cierto número de nodos existe un equilibrio entre el retardo en la difusión de los mensajes y las colisiones.

## **6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares**

Para las técnicas basadas en el LTE, se han obtenido retardos mínimos y acotados en la difusión de los mensajes para situaciones donde el volumen de tráfico no es superior a 180 nodos en el escenario. Cuando la densidad de tráfico aumenta, el sistema sigue presentando buenos resultados de rendimiento, pero el retardo en las notificaciones de los mensajes aumenta considerablemente.

Según las curvas del retardo medio, se comprueba que el consumo medio de energía aumenta directamente en proporción a la probabilidad de transmisión.

Es decir, cuanto mayor sea la probabilidad de acceder al medio, más transmisiones se produce por lo que se consumen más energía por nodo. Por otra parte, al aumentar el número de transmisiones, se produce un mayor número de colisiones por lo que es necesario retransmitir con mayor frecuencia los mensajes de emergencia.

## CONCLUSIONES

1. LTE es una red toda IP, diseñada para proveer a los usuarios móviles las mismas prestaciones de conectividad de banda ancha que los usuarios fijos (Hasta 300 Mbps) y toda la gama de servicios multimedia que esto implica.
2. Debido a la diversidad de aplicaciones multimedia cada una con diversos requerimientos QoS, LTE implanta dos modelos de QoS en la interfaz de la estación base y el núcleo de red; QCIs (Quality Class Identifier) y DiffServ respectivamente, los cuales deben proveer las mismas prestaciones en términos de retardo, pérdidas de paquetes, Jitter, etc. Lo cual se logra pre-programando el sistema LTE para establecer equivalencias fijas entre los dos dominios QCI-Diffserv.
3. En este proyecto se ha pretendido realizar un estudio sobre la tecnología inalámbrica a la par que su simulación mediante el software OPNET. Existen muchos estudios sobre esta tecnología que actualmente se encuentra de moda y en pleno auge, en la cual se trabaja con ahínco en nuevas versiones que mejoren el estándar original.
4. OPNET es un producto líder en cuando a simulación de redes. En este proyecto hemos visto el modelado de una red simple entre dos equipos

AD-HOC como punto de partida, y un escenario en el que se incluía tráfico de aplicaciones de datos y video.

5. A través de las simulaciones realizadas con la versión académica del software hemos comprobado el enorme potencial que supone el uso de este mecanismo sobre aplicaciones multimedia y la gran diferencia que supone su uso en parámetros fundamentales dentro de las comunicaciones como son el retardo y el throughput, muy a tener en cuenta en la implementación física de las redes, ya que fallos en estos parámetros podrían hacer fracasar el diseño de red que en el momento de la implementación física conllevarían pérdidas de tiempo y dinero.
6. Dentro de la familia de productos OPNET he podido ver que existe una versión que se encarga específicamente de redes inalámbricas OPNET Modeller Windows suite, aunque la versión estándar del modeller y el IT Guru también nos proporcionan muchas posibilidades.
7. A pesar de las restricciones de la versión académica, queda presente la gran potencia de OPNET, a partir de un interfaz de creación de modelos muy intuitivo tanto en el momento de diseñar escenarios como en el momento de programar simulaciones de la red funcionando y la recolección de resultados para su posterior análisis.
8. En este trabajo se desarrolla una interfaz que introduce flexibilidad de registrar clases de servicio no compatibles directamente, para las cuales se estima un grado de similitud que proporciona una correlación y conexión entre los dos modelos de servicio. El modulo implanta un algoritmo de correlación absoluta y otro de correlación relativa. Este

ultimo estima el grado de similitud mediante funciones de pertenecía de un conjunto de elementos A , en un conjunto de elementos B.

9. Para diferenciar la importancia de cada parámetro tiene de acuerdo al servicio que se va a proporcionar (Voz, Web, Video, etc.), se le asigne un peso, con valores relativos de menor a mayor de 1 a 10.
10. La Tecnología LTE representa un elemento clave en la evolución de las redes móviles ya que su arquitectura de red plana la convierte en la solución para los problemas de capacidad y conectividad, ofreciendo altas velocidades de transmisión y permitiendo la interoperatividad con otras redes de tecnología 3GPP. Además, su estándar puede utilizar tanto direccionamiento IPV4 como su proyección a futuro, el IPV6. Igualmente, esta tecnología consolidará el uso de dispositivos avanzados y de aplicaciones Internet.
11. El acceso de banda ancha trae mayores beneficios socioeconómicos en sectores estratégicos como educación, energía, salud, transporte, seguridad ciudadana, etc. Con la implementación de LTE se podrá abastecer estos sectores no solo en las zonas urbanas sino también en las zonas rurales incrementando el valor del PBI en la región.
12. El principal problema para las operadoras móviles en el despliegue de LTE es Latinoamérica ha sido la asignación del espectro. Debido a la distribución del mercado en Colombia y Ecuador se ha dado prioridad a los operadores móviles estables con la asignación temprana del mismo para el repliegue del LTE; para así dar una mayor ventaja y tratar de captar más usuarios de los operadores dominantes. Mientras que la

distribución del mercado chileno y brasileño ha permitido que la asignación del espectro sea equitativa para todos los operadores estableciendo así condiciones similares para el despliegue de LTE en dichos países. De darse una adjudicación, lo más indicado sería asignar el espectro a no menos de dos operadoras y a no más de cinco. Es imposible crear una competencia si solo se le da posibilidad de crecer a uno de los operadores.

13. La armonización internacional de bandas de frecuencia ofrece beneficios como el aumento de capacidad de roaming internacional, la reducción de costos y de interferencias fronterizas. La mayoría de países latinoamericanos han optado por el plan de canalización APT para el despliegue de redes con tecnología LTE y por el uso de la Banda de 2,5 GHz. ya que esta presenta gran amplitud de espectro que podría satisfacer la demanda creciente de altas velocidades de transferencia de datos y ofrecer servicios de banda ancha móvil.
14. La adecuada elección de los parámetros de QoS en las redes LTE-Advanced permitirá la prestación diferenciada de servicios como voz, video y datos con los requisitos de desempeño de cada uno de ellos.
15. Del mismo modo y gracias a la QoS se podrá hacer la diferenciación de usuarios que acceden a la red. Con ello se posible que los diferentes servicios que circularán por las redes móviles de 4G sean entregados satisfactoriamente a los usuarios finales.

## RECOMENDACIONES

1. Considerando los resultados de la presente investigación, es recomendable, desarrollar diseños alternos que permitan aplicar recursos disponibles en nuestro medio
2. A la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, para que apoye investigaciones que permitan interactuar con las empresas a fin de atender sus requerimientos mediante Proyectos multidisciplinarios, trabajando coordinadamente en temas de Telecomunicaciones.
3. Considerando la presente investigación, se puede realizar mejoras en el proyecto considerando otras herramientas computacionales orientadas a la evaluación de Redes Móviles de Tecnologías cada vez más recientes.
4. Promover una entidad de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, que oriente su atención a las necesidades de la empresa, respecto al campo de Asesoría en temas de aplicación tecnológica, en Telecomunicaciones porque hay mucha necesidad de parte de la empresa.
5. Promover la formación de grupos de estudio e investigación en Pre y postgrado que permitan orientar los proyectos para aplicar a los problemas de la universidad, empresa y la comunidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Alan Holt y Chi-yu Huang: 802.11 Wireless Networks: Security and Analysis. Springer. Madrid, 2010.
- [2] David Bayón. Ventajas y desventajas de los sistemas LTE. España. Editorial Mc Graw Hill. Quinta Edición. 2007.
- [3] Ada Lilia Evans. Tipos de tecnologías inalámbricas. Editorial Omega. España. Segunda Edición. 2008.
- [4] C. Beyond S. 4G Mobile Brodband Evolution Universidad de Politécnica. España. 2010.
- [5] Radio Access (E-Ultra). Requeriments for further advancements for Evolved Universal Terrestrial. Mexico. 2011.
- [6] V. Marquez. An architecture supporting End-to-end QoS with user mobility for systems 3rd generation. España 2008.
- [7] V. Marquez. An IP based QoS architecture for 4G operator scenarios. IEEE Wireless Communications. Mexico, 2007.
- [8] V. Jacobson, K. Nichols, K. Poduri. An expedited forwarding PHB. RFC Canada, 2004.
- [9] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black. Definition of the Differentiated Services Field. RFC. Mexico. 2005
- [10] Erik Dahlman, "3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband". Mexico. 2008

- [11] Electronic Communications Committee (ECC), "Compatibility between UMTS900/1800 and systems operating in adjacent bands", Krakow: 2007..
- [12] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), "LTE; Evolve Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios", 2012.
- [13] Ashley Mills, "Understanding Static Inter-Cell Interference Coordination Mechanisms in LTE", 2011.
- [14] Dr. J.Hübner, "Radiowave Propagation Simulator – Radio Plan" Año 2008.
- [15] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, "*Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*", 2006.
- [16] Dahlman, Erik. "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband", 2011.
- [17] Andy Barnard, Ofcom, "*UMTS900 – GSM Interference Measurements*", 2011.
- [18] European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), "Compatibility between LTE and WiMAX operating within the bands 880-915 MHz/ 925-960 MHz and 1710 – 1785 MHz / 1805-1880 MHz (900/1800 MHz bands) and systems operating in adjacent bands", Noviembre 2010.
- [19] A. Marina, O Onandi., M. Higuero. Entorno de simulación para análisis de despliegues inalámbricos basados en tecnologías Wimax. LTE. Universidad del País Vasco. 2007.
- [20] Berhrouz Forouzan. Transmisión de datos y redes de comunicaciones. Mc Graw Hill 2da. Edición. México, 2010.

- [21] R. Braden, Integrated Services in the Internet Architecture an Overview, in RFC 1633 Internet Engineering Task Force 2004.
- [22] Torsten Braun, Thomas Sraub. End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks, Pennsylvania, 2008.
- [23] Claudia Jacy, Barenco Abbas, Nuevas soluciones en la Internet IntServ y DiffServ. Universidad de Brasilia, 2005.
- [24] Montañana Rogelio, Calidad de Servicio (QoS) Universidad de Valencia, Departamento de Informática, España, 2006.
- [25] OPNET Modeler. Software Design Document 2005.
- [26] George Agg Elou, Wireless Mesh Networking MC Graw Hill 2009.
- [27] Yan Zhang, Mobile Wimax Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Network. Auerbach Publications, 2009.
- [28] Markovski F. Xue, Lj. Trajnovic, Simulation and analysis of packet loss in video transfers using User Datagram Protocol- The Journal of Supercomputing Vol 20. N°2. 2009-

## REFERENCIAS WEB

- [1] [http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa\\_m%C3%B3vil\\_4G](http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_4G)
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/4G>
- [3] [http://es.wikipedia.org/wiki/Long\\_Term\\_Evolution](http://es.wikipedia.org/wiki/Long_Term_Evolution)
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP\\_Long\\_Term\\_Evolution](http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP_Long_Term_Evolution)
- [5] <http://es.wikitel.info/>
- [6] <http://blogmoviles.com/telefonía-móvil-de-cuarta-generación/>
- [7] <http://www.convergedigest.com/bp/bp1.asp?ID=543&ctgy>
- [8] <http://www.3g.co.uk/PR/October2002/4210.htm>
- [9] <http://www.3gpp.org>
- [10] <http://www.umts-forum.org>
- [11] <http://www.ngmn.org>
- [12] <http://www.lstiforum.com>
- [13] <http://www.wcisdata.com>
- [14] [www.cisco.com](http://www.cisco.com)
- [15] [www.opnet.com](http://www.opnet.com)
- [16] [www.riverbed.com](http://www.riverbed.com)
- [17] [www.mobitex.com](http://www.mobitex.com)
- [18] [www.ieee811.org](http://www.ieee811.org)

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### PRESENTACION DE SOFTWARE "OPNET"

## What is OPNET

- OPNET is a network simulation tool
  - Model both communication networks and distributed systems.
  - Analyze the performance of various networks
  - **Comes with** an integrated tool from the aspects of model design, simulation, data collection, and data analysis.
  
- OPNET Technologies Ltd. Products (originally MIL3)
  - ITGuru: *Intelligent Network Mgmt*
    - *Scenarios and project*  
[http://www.opnet.com/university\\_program/itguru\\_academic\\_edition/](http://www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/)
  - Modeler

**ANEXO 2  
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**“QoS. EN REDES MOVILES DE CUARTA GENERACION”**

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA PRINCIPAL</b> ¿De qué manera, la estructura organizacional de la Tecnología 4G, contribuye en la QoS. (Calidad de Servicios) de las Redes Móviles?</p> <p><b>PROB. SECUNDARIOS</b></p> <p>¿Cómo el desarrollo de las Redes Móviles contribuye en la prevención de fallos e Infracciones a las normas que controla el servicio de comunicaciones inalámbricas en nuestro país?</p> <p>¿En qué medida la Tecnología 4G LTE contribuye en las prestaciones y su respectiva calidad de servicios de las redes móviles en nuestro medio?</p> <p>¿De qué manera las empresas de telecomunicaciones en nuestro país y el mundo, contribuyen en el Control de la Calidad de Servicios de los servicios de comunicación inalámbricas?</p> <p>¿En qué medida las actividades de sensibilización poblacional, contribuyen al buen uso de los sistemas de comunicación mediante las Redes Móviles en nuestro país?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Determinar, mediante técnicas de investigación, como las Pruebas y Simulaciones en Sistemas con Redes Móviles 4G contribuyen en la mejora de la QoS. (Calidad de servicios) en los sistemas de comunicación inalámbricos en nuestro país.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> Determinar cómo las Técnicas de implementación de Redes Móviles con Tecnología 4G contribuyen en la prevención de fallos e Infracciones a las normas que controla el Sistema de Comunicaciones en nuestro país.</p> <p>Evaluar si las Topologías y Protocolos de las Redes móviles contribuyen en los factores de control de fallos y establecimiento de comunicaciones de las redes móviles.</p> <p>Determinar cómo la Coordinación entre el MTC con Empresas de telecomunicaciones contribuyen en el Control de la calidad de Servicios en las redes móviles 4G.</p> <p>Determinar si las actividades de sensibilización poblacional, contribuyen en el buen uso del servicio de las comunicaciones móviles en nuestro país.</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b> Si la Tecnología de redes Móviles 4G es eficaz y eficiente, contribuye efectivamente en el Control de la QoS. (Calidad de Servicios) en los sistemas de comunicaciones.</p> <p><b>HIPOTESIS SECUNDARIAS</b> Si la Tecnología 4G es diseñado adecuadamente, contribuye positivamente en la prevención de fallos e Infracciones a las normas que controla los servicios de telecomunicaciones en nuestro país.</p> <p>Si la Estructura de las Redes Móviles, protocolos, y soporte de comunicaciones de la Tecnología 4G es efectiva, contribuyen positivamente en los operativos de control del buen uso de los servicios de comunicaciones (audio, video, data) y comercialización de productos de comunicaciones.</p> <p>Si la Coordinación entre el MTC y las empresas de telecomunicaciones móviles, para acciones de prevención de fallos, sea permanente, se contribuye positivamente en el Control de la Calidad de Servicios en las Redes con tecnología 4G.</p> <p>A mayor cobertura de las actividades de sensibilización poblacional, se contribuye positivamente en la prevención de riesgos y congestión de las comunicaciones.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> Tecnología de Redes Móviles 4G.</p> <p><b>variable Dependiente:</b> Control de la QoS. (Calidad de Servicios) en redes móviles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología de comunicaciones</li> <li>• Inteligencia Operativa</li> <li>• Coordinación con MTC y empresas de telecomunicaciones</li> <li>• Actividades de sensibilización poblacional</li> <li>• Operativos de prueba</li> <li>• Comercialización</li> <li>• Retardo</li> <li>• Jitter</li> <li>• Pérdida de paquetes</li> <li>• Ancho de banda</li> <li>• Tasa máxima de bits</li> <li>• Tasa de bits garantizado.</li> </ul>	<p>(Hernández Sampieri y col.)</p> <p><b>Nivel de Invest.:</b> Inv. Aplicada</p> <p><b>Diseño:</b> No experimental</p> <p><b>COBERTURA ESTUDIO</b> <b>Ámbito Geogr:</b> Lima, Callao.</p> <p><b>Ámbito Tempor</b> <b>AÑO 2013-2014</b></p> <p><b>Población :</b> Efect difer. Nivel jerarquías.</p> <p><b>Muestra</b> Usuarios</p> <p><b>Técnicas:</b> Observación. Pruebas Mediciones Simulaciones</p> <p><b>Procesamiento y Análisis:</b> Estadística descriptiva e inferencial</p>