



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de ingeniería

Escuela de ingeniería Mecánica Eléctrica

**CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA
PARA REDES INALÁMBRICAS (4G/WIMAX)**

Allan José Flores Pirir

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, Febrero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA
PARA REDES INALÁMBRICAS (4G/WIMAX)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALLAN JOSE FLORES PIRIR

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMAN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA PARA REDES INALÁMBRICAS (4G/WIMAX)

Tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 03 de marzo de 2016.

Allan José Flores Pirir

Guatemala 25 de Julio de 2016

Señor
Coordinador Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

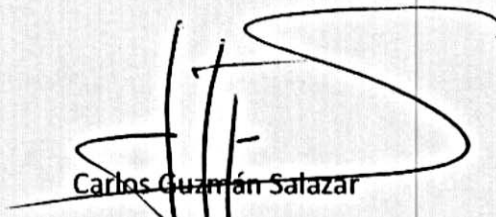
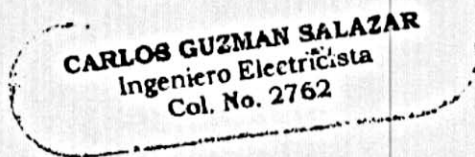
Estimado Coordinador:

Hago de su conocimiento por este medio que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante Allan José Flores Pirir, titulado "**CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA PARA REDES INALÁMBRICAS (4G/WIMAX)**". Y el mismo cumple con los objetivos que se propusieron. Pudiendo entonces continuar el trámite que en ley corresponda.

Así mismo, indico que, tanto el suscrito como el señor Allan Flores, somos los únicos responsables de lo que dice y se propone en el trabajo referido.

Quedo en la mejor disposición de ampliar lo expresado en los párrafos precedente.

Atentamente,


Carlos Guzmán Salazar
ASESOR


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 64. 2016.
Guatemala, 10 de OCTUBRE 2016.

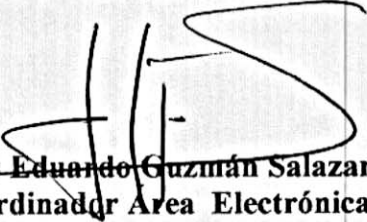
Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE SERVICIOS DE
BANDA ANCHA PARA REDES INALÁMBRICAS (4G/WIMAX),**
del estudiante Allan José Flores Pirir, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. 
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 64. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **ALLAN JOSÉ FLORES PIRIR** titulado: **CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA PARA REDES INALÁMBRICAS (4G/WIMAX)**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



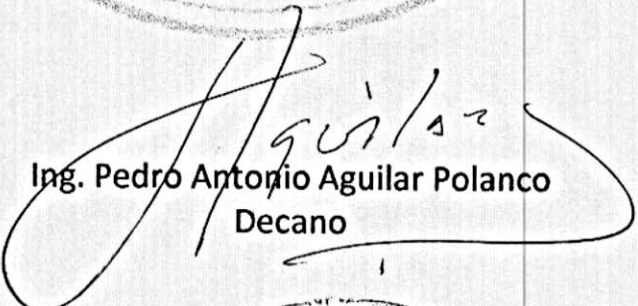
GUATEMALA, 26 DE OCTUBRE 2016.



DTG. 095.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA PARA REDES INALÁMBRICAS (4G/WIMAX)**, presentado por el estudiante universitario: **Allan José Flores Pirir**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, febrero de 2017



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiarme y darme la sabiduría en este largo camino sin él, este logro no hubiese sido posible.
Mis padres	Roberto Flores y Gloria Marina Pirir de Flores, por su amor incondicional y el apoyo que me han brindado en cada momento de mi vida.
Mis hermanos	Delis Flores, Selvin Flores, Gloria Flores y Enrique Flores por su apoyo.
Mi esposa	Ivonne Charal de Flores, esposa y compañera por su comprensión y apoyo.
Mis hijos	Sofía Alejandra y Allan Roberto por su apoyo y comprensión. Son mi motivo de vida y superación.
Mi abuela (+)	María Nicolasa Camey de Pirir que siempre estuvo apoyándome y brindándome muchos consejos.
Mis Abuelos, tías y tíos	Que en su momento han compartido conmigo las alegrías a lo largo de este camino me han aconsejado y apoyado.
Mis sobrinos	Para que este triunfo les sea de ejemplo,

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Prestigiosa y tricentenaria universidad, un templo de estudio y sabiduría.

Facultad de Ingeniería.

Por ser parte de ella y por la oportunidad de formarme profesionalmente para servir a la sociedad.

Dios

Padre celestial siempre me bendice en cada momento de mi vida

Mi familia

Porque siempre han estado para apoyarme y cuando más los he necesitado.

Mis catedráticos

Por mi formación

**Mis amigos
y compañeros**

Por su apoyo, paciencia y amistad

**Ingeniero Carlos Eduardo
Guzmán Salazar**

Asesor del presente trabajo de graduación, por su valiosa asesoría y por el apoyo brindado en la culminación de mi carrera

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCION.....	XXI
1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Redes inalámbricas de banda ancha	3
1.3 Proceso de estandarización	4
1.4 Sistemas de banda ancha	7
1.4.1 Panorama de las redes de banda ancha.....	8
1.4.2 Arquitectura de las redes de banda Ancha.....	10
2 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS	
2.1 Introducción.....	13
2.2 La confusión creada alrededor de 4G.....	14

2.3	Evolución de los sistemas celulares.....	17
2.3.1	La Primera Generación 1.....	17
2.3.2	La Segunda Generación 2G	17
2.3.3	La Generación 2.5G	20
2.3.4	Redes de Tercera Generación 3G.....	19
	2.3.4.1 Generación 3.5G y 3.75G.....	21
2.3.5	Redes de Generación 4G.....	22
2.3.6	Generaciones del futuro.....	25
	2.3.6.1 Generación 5G.....	25
	2.3.6.2 Generación 6G.....	25
	2.3.6.3 Generación 7G.....	26

3. TECNOLOGÍAS DE CUARTA GENERACIÓN

3.1	Introducción.....	27
3.2	Generación 4G.....	28
	3.2.1 WiMAX y LTE.....	28
	3.2.2 Tecnología WiMAX	30
	3.2.3 Tecnología LTE.....	31
3.3	Requisitos para 4G.....	32
	3.3.1 Acceso de banda ancha móvil y eficiencia de ancho de banda.....	32
	3.3.2 Alta capacidad de red.....	33
	3.3.3 Conectividad y roaming a través de redes Heterogéneas	33
	3.3.4 Alta calidad de servicio	33
3.4	WWRF y NTT DoCoMo.....	33
3.5	Asignación de frecuencias	34
3.6	Reutilización de frecuencias	35
3.7	Uso de las frecuencias asignadas	36
	3.7.1 Banda 800.....	36

3.7.2	Banda 900.....	37
3.7.3	Banda 1500.....	38
3.7.4	Banda 1800.....	38
3.7.5	Banda 2600.....	39
3.7.6	Banda 3500.....	39
3.8	IPv6 y celulares.....	41
3.8.1	Mobile IPV6	41
3.8.2	Módulo IPV6.....	43
3.9	Características técnicas.....	43
3.9.1	Ventajas.....	45
3.9.2	Desventajas.....	47
3.9.3	Arquitectura.....	47
3.10	Calidad de servicio en 4G.....	48
3.10.1	Control de calidad de servicio (QoS).....	49
3.10.2	Neutralidad de la red.....	51

4. REDES WiMAX

4.1	Visión general de WiMAX.....	53
4.2	El foro WiMAX.....	55
4.3	Características sobresalientes de WiMAX.....	57
4.4	Espectro de frecuencia.....	58
4.5	Cobertura	60
4.6	Aplicaciones de WiMAX.....	61
4.6.1	Sistemas punto multi-punto (PMP).....	62
4.6.2	Sistemas mesh.....	66
4.6.3	Sistemas móviles.....	67
4.7	Mobile WIMAX IEEE.802.16e.....	69
4.7.1	Características relevantes de Mobile WIMAX.....	70

4.8	WiMAX 2.0 IEEE.802.16m	72
4.8.1	Características principales de IEEE 802.16.m	72
5	MODELADO DE REDES	
5.1	Modelado de redes.....	75
5.1.1	Modelos de propagación.....	79
5.1.2	Clasificación de modelos de propagación.....	79
5.1.2.1	Modelos empíricos.....	80
5.1.2.2	Modelos teóricos.....	80
5.1.2.3	Modelos semi-empiricos.....	80
5.1.3	Propagación con línea de vista –LOS.....	81
5.1.4	Propagación sin línea de vista –NLOS.....	83
5.1.5	Modelos de propagación para WIMAX.....	84
5.1.5.1	Modelo de propagación en espacio libre...85	
5.1.5.2	Modelo de propagación okumura.....86	
5.1.5.3	Modelo de propagación cost 231 hata.....88	
5.1.5.4	Modelo de programación sui.....90	
5.1.5.5	Modelo de programación ecc-33.....93	
	CONCLUSIONES.....	95
	RECOMENDACIONES.....	97
	BIBLIOGRAFÍA	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Arquitectura BWA.....	10
2.	Velocidad 4G alcanzada en Estados Unidos.....	15
3.	Tecnologías 4G de distintos operadores.....	16
4.	Arquitectura de la red GPRS.....	18
5.	Diagrama GPRS y EDGE.....	19
6.	Visión de la evolución de los distintos protocolos disponibles, con sus velocidades máximas teóricas.....	20
7.	Provisión de crecimiento en América Latina.....	22
8.	Escenario de evolución de las tecnologías inalámbricas.....	23
9.	Despliegue de las distintas generaciones móviles.....	26
10.	Arquitectura WiMAX.....	30
11.	Esquema de reutilización de frecuencias en WiMAX Mobile.....	35
12.	Reparto del espectro después de la subasta de julio de 2011.....	40
13.	Proceso de registro con el HA	42
14.	Antenas de comunicación WiMAX.	46
15.	Esquema del SAE	48
16.	Esquema de propagación LOS	54
17.	Esquema de propagación NLOS	54
18.	Logo Wimax Forum.....	56
19.	Espectro utilizado por la tecnología WiMA	59
20.	Aplicaciones WiMAX punto multi-punto.....	63
21.	Backhaul inalámbrico WiMAX.....	65
22.	Red mesh WiMAX	67
23.	Sistemas móviles	68

24.	Modelos de propagación.....	81
25.	Enlace con línea de vista – LOS.....	82
26.	Enlace sin línea de vista –NLOS.....	83
27.	Curvas de Okumura	87

TABLAS

I.	Comparación de la familia de estándares IEEE 802.16.....	6
II.	Tabla comparativa, 1G a 4G.....	24
III.	Comparativa LTE y WiMAX.....	29
IV.	Banda 800 y operadores	37
V.	Banda900.....	37
VI.	Banda 1500.....	38
VII.	Banda 1800	38
VIII.	Banda 260.....	39
IX.	Banda 3500	39
X.	Algunos miembros del foro WiMAX.....	56
XI.	Bandas de frecuencia para IEEE 802.16	60
XII.	Cobertura de WiMAX.....	61
XIII.	Características principales de IEEE 802.16m.....	73
XIV.	Valores de C_m para el modelo de propagación COST 231 Hata.....	89
XV.	Valores de a, b y c para modelo de propagación SUI	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h_b	Altura entre transmisores
A_{mm}	Atenuación con relación al espacio libre
BS	Base Suscriptora
SS	Estación Suscriptora
d(B)	Decibels
d	Distancia entre áreas
G(h_b)	Factor de ganancia con relación al receptor
C_m	Factor de corrección en decibeles
X_h	Factor de corrección para altura de antenas
X_f	Factor de corrección para frecuencias
f	Frecuencia
KHZ	Kilo Hertz
ah_m	Parámetros de corrección
PL(dB)	Perdida de propagación en decibeles
r(m)	Radio en metros de fresnel
R(x)	Receptor
T(x)	Transmisor

GLOSARIO

ADSL	Siglas de <i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> ("Línea de Abonado Digital Asimétrica"). ADSL es un tipo de línea DSL. Consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado, siempre y cuando el alcance no supere los 5,5 km. medidos desde la central telefónica.
<i>Backhaul</i>	Red de retorno, conexión de baja, media o alta velocidad. Un <i>Backhaul</i> es usado para interconectar redes entre sí, utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.
Banda ancha	Transmisión de datos por la cual se envían simultáneamente varias piezas de información, con el objeto de incrementar la velocidad de transmisión efectiva.
<i>Broadcasting</i>	Es la distribución de audio y/o señales de vídeo que transmiten los programas a una audiencia
BS	Radiotransmisor y receptor utilizado para transmitir y recibir voz y datos desde y hacia teléfonos móviles en una célula o celda en particular.

CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social.
CPE	Es un equipo de telecomunicaciones usado en interiores como en exteriores para originar, encaminar o terminar una comunicación. Por ejemplo, los teléfonos, máquinas de fax, máquinas contestadoras y buscapersonas.
DSL	<i>(Digital Subscriber Line - línea de abonado digital)</i> es un conjunto de normas para la conectividad de red de banda ancha sobre líneas telefónicas normales.
ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	Es el conjunto de las frecuencias de radiación electromagnética. Comprende desde la bajísima frecuencia aprox. 10 a 100 hertz que corresponde a los campos generados por las actividades de generación y transmisión de electricidad, hasta frecuencias mayores a las 10 gigas hertz que corresponden a la radiación de los rayos cósmicos.
ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	Conjunto de ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3,000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial". Según definición del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT.
FBWA	<i>Fixed Broad band Wireless Access – Acceso fijo inalámbrico de banda ancha.</i>

Firmware	Parte del software de un ordenador que no puede modificarse por encontrarse en la ROM. Es el código de la programación que ejecuta un dispositivo de red.
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> o GPRS es una tecnología digital de telefonía móvil. GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos.
GSM	Global System for Mobile Communications, un sistema de comunicación 2G que utiliza tecnología TDMA.
Handover	Sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra, cuando la calidad del enlace es insuficiente.
HFC	Siglas de " <i>Hybrid Fibre Coaxial</i> " ("Híbrido de Fibra y Coaxial"). En Telecomunicaciones, es un término que define una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha. Esta tecnología permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes.
Hiperaccess	Hace referencia a redes de acceso fijo inalámbrico de banda ancha para aplicaciones multimedia.

Host	Computadoras conectadas a una red, que proveen y utilizan servicios de las mismas. Tiene una dirección única (dirección IP) y un nombre de dominio único o nombre de host.
Hotspots	Es una zona de cobertura Wi-Fi, en la que un punto de acceso o varios proveen servicios de red a través de un proveedor de servicios de Internet inalámbrico.
HSDPA	(<i>High Speed Downlink Packet Access</i>) es la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, incluida en las especificaciones de 3GPP <i>release 5</i> , y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (<i>downlink</i>) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 Mbps. Soporta tasas de <i>throughput</i> promedio cercanas a 1 Mbps.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , una fuente de información, recursos y servicios técnicos y profesionales
IPS	Un proveedor de servicios de Internet (o ISP por la sigla en idioma inglés de <i>Internet Service Provider</i>) es una empresa dedicada a conectar a Internet a los usuarios o las distintas redes que tengan, y dar el mantenimiento necesario para que el acceso funcione correctamente.

LMDS	<i>Local Multipoint Distribution Service</i> (Sistema de Distribución Local Multipunto) es una tecnología de conexión vía radio inalámbrica que permite, gracias a su ancho de banda, el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a internet, comunicaciones de datos en redes privadas, y video bajo demanda.
MAC	Dirección de control de acceso al medio, una dirección MAC es la dirección de hardware de un dispositivo conectado a un medio de red compartido. Máscara de subred, código de dirección que determina el tamaño de la red.
MPLS	<i>(Multiprotocol Label Switching)</i> es un mecanismo de transporte de datos estándar creado por la IETF y definido en el RFC 3031. Opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI.
Multipath Fading	Es un término que se utiliza para describir el desvanecimiento que experimentan las ondas de radios al seguir durante su trayectoria de propagación, diferentes caminos. Tales caminos incluyen, la ionosfera, reflexiones debido a la superficie terrestre, etc.
OFDM	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, es una modulación que consiste en enviar información modulando en QAM.

REDES 3G

3G o Tercera Generación es el término genérico utilizado para los sistemas de comunicaciones móviles de nueva generación, que habilitan servicios mejorados de comunicaciones, tales como acceso a Internet y la capacidad de ver material de video. Ejemplos de tecnologías 3G: WCDMA y CDMA2000. UMTS es un sistema de comunicaciones 3G.

ROAMING

(En inglés, y popularmente, roaming) es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra. Roaming es una palabra del idioma inglés que significa vagar o rondar. El término más adecuado en castellano es "itinerancia".

RSA

Sistema criptográfico con clave pública RSA es un algoritmo asimétrico cifrador de bloques, que utiliza una clave pública, la cual se distribuye (en forma autenticada preferentemente), y otra privada, la cual es guardada en secreto por su propietario.

Router

Dispositivo encargado de reenviar paquetes que no están dirigidos a él

SOFDMA

.Acceso de Multiplicación por División de Frecuencia Ortogonal Escalable, asigna diferentes sub-canales y soporta el acceso simultáneo a Internet de muchos abonados.

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, un sistema de comunicación 3G que utiliza tecnología <i>WCDMA</i> .
Timeout	Tiempo de espera excedido.
Timeslot	Ranura de tiempo. En <i>Bluetooth</i> tiene una duración de 625us.
<i>Token ring</i>	El anillo de fichas (<i>token ring</i>), es una red de topología de anillo que se sirve del pase de fichas, para el control de acceso.
UMTS	Sistema de comunicación 3G que utiliza tecnología <i>WCDMA</i> .
VOIP	Voz sobre protocolo de Internet, también llamado Voz sobre IP, VozIP, VoIP, o Telefonía IP. Es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (Internet Protocol). Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital en paquetes en lugar de enviarla (en forma digital o análoga) a través de circuitos utilizables solo para telefonía.

VPN Protocolo troncal virtual.

WAP Protocolo de aplicaciones inalámbricas

WIFI *Wireless-Fidelity* (Wi-fi, Wi-Fi, Wifi, wifi) es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Fue creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas; sin embargo, es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.

WIMAX Las siglas WiMax vienen de la frase inglesa *World Interoperability from Microwave Access* (o interoperabilidad mundial para acceso por microondas). Esta tecnología se encuentra dentro de las tecnologías 4G y se basa en el estándar IEEE 802.16-2004. Estos estándares permiten velocidades que están cerca de las del ADSL pero sin cables y hasta una distancia de 50-60 km.

RESUMEN

La nueva generación de redes móviles representa un avance muy significativo con respecto a las generaciones anteriores por el gran aumento de velocidad experimentado y por la capacidad de adaptación a las necesidades del usuario. Además, es de utilidad en muchos aspectos de la vida cotidiana relacionados con las telecomunicaciones, no sólo con aquellos relacionados con la telefonía móvil. Muchos países se están adaptándose a este sistema, cada vez más rápidamente.

Las tecnologías que se presentan son una norma de transmisión de datos usando ondas de radio que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. El protocolo en el que se basa esta tecnología es el IEEE 802.16. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cobre, cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costes muy elevados por usuario (zonas rurales).

Este estudio consiste en conocer todos los elementos y conceptos, que están involucrados en una red, en este caso 4G de tecnología WiMAX, gestionada por medio del protocolo snmp. Esto permite una facilidad en el intercambio de información, entre el administrador y los dispositivos de red.

OBJETIVOS

General:

Describir las características y modelos de la tecnología inalámbrica 4G/WIMAX

Específicos:

- Analizar la evolución del estándar 802.16 a través del tiempo, indicando los aportes de cada generación.
- Detallar la penetración de la tecnología WiMAX en el mercado de telecomunicaciones en el futuro según los modelos.
- Analizar el marco regulatorio y los factores reguladores en materia de redes de banda ancha.
- Analizar las iniciativas de redes WiMAX, en los casos de áreas rurales y urbanas.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de una década todas las redes de telecomunicaciones han evolucionado hacia la integración de toda clase de servicios en una única red global de telecomunicaciones. El desarrollo de esta red debe ir acorde a los tiempos actuales, siendo capaz de procesar cualquier tipo de información: voz, video, datos: además de tener la capacidad de transferir grandes cantidades de información en un corto periodo de tiempo, así como también satisfacer las necesidades de movilidad que hoy en día se demandan.

El creciente interés que despierta WiMAX entre los distintos agentes involucrados en el mundo de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) está cimentado en las ventajas competitivas, tanto de carácter económico como de prestaciones, que presenta esta tecnología de acceso radio frente a otras alternativas actualmente implementadas. Entre estos beneficios mencionados se encuentran, entre otros, la versatilidad, el ancho de banda proporcionado en comparación con otras tecnologías de acceso (WiFi, xDSL, etc.), y la alternativa efectiva en costos para el acceso a servicios de banda ancha.

WiMAX es un estándar de comunicación por radio de última generación, promovido por el IEEE y especialmente diseñado para proveer accesos vía radio de alta capacidad a distancias inferiores a 50 kilómetros y con tasas de transmisión de hasta 70 Mbps. Las soluciones WiMAX se pueden aplicar en multitud de escenarios (enlaces punto a punto, redes metropolitanas, cobertura de hot-spots WiFi, redes empresariales, backbones¹¹, etc.) con altas garantías de disponibilidad y estabilidad.

1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA

1.1 Antecedentes

Actualmente el mercado de las telecomunicaciones juega un papel muy importante en el desarrollo de una nación. Cifras actuales indican que el número de usuarios con equipos fijos y móviles que tienen acceso a Internet (en su mayoría con acceso limitado), es de aproximadamente 1.46 mil millones de usuarios, con un crecimiento aproximado del 430% del 2000 al 2016, y se espera que esta cifra crezca considerablemente en los próximos años. Así mismo, el número de usuarios de teléfonos celulares GSM/UMTS (*Global System Mobile Communications*) en el mundo es de aproximadamente de 3.4 mil millones, y se espera que supere los 4.2 mil millones en el año 2016

Este gran crecimiento de usuarios, que requieren nuevos servicios digitales tales como: acceso a Internet rápido, transferencia de datos seguros a gran velocidad, Voz sobre el Protocolo IP (VoIP), servicios multimedia, televisión Móvil, videofonia y videoconferencias entre otras aplicaciones, ha motivado a la industria de las telecomunicaciones a diseñar nuevos sistemas de comunicaciones que puedan soportar esta gama de servicios, para que todos los usuarios fijos, móviles o celulares tengan acceso a ellos desde cualquier lugar por remoto que sea, a la hora que sea y con tarifas accesibles.

Hoy en día, la forma más común de acceder al Internet es desde el hogar, (con un 65% de todos los usuarios) a través de un módem (a 56 kbps).

Pero desafortunadamente, la velocidad de transmisión es muy reducida y muchas de las veces resulta en una situación muy frustrante al tener que esperar por varios minutos para poder descargar o enviar un simple archivo de datos. Tecnologías alternativas para el envío de datos y voz, entre las cuales se encuentran la serie de protocolos de las compañías telefónicas (xDSL y ISDL) y las compañías de televisión por cable (CATV), resultan muy costosas para los usuarios de un nivel socioeconómico bajo/medio.

Para poder brindar estos servicios digitales, los estándares de telefonía celular, basados en sistemas de conmutación de circuitos como GSM y CDMA (*Code Division Multiple Access*) están siendo modificados para brindar no solamente servicios de voz, sino también servicios de transmisión de datos basados en el protocolo IP. Pero una desventaja de estos sistemas de telefonía celular, en particular los de la tercera generación (GPRS, EDGE, UTRAN y CDMA2000), es que tienen que soportar ambos sistemas de conmutación de circuitos y paquetes, lo que los hace ser una tecnología bastante costosa, debido a que los equipos de conmutación no han evolucionado como se esperaba.

Los sistemas inalámbricos de banda ancha, basados en el protocolo IEEE 802.16, conocido mundialmente como la tecnología WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), es considerado como una de las mejores alternativas para el aprovisionamiento de los servicios digitales de la cuarta generación (4G), los cuales pretenden satisfacer la necesidad de comunicación que hoy en día se requiere.

No son de utilidad solamente en el hogar, sino también en las escuelas, hospitales, aeropuertos, gobierno, industrias, oficinas, centros de investigación, y sobre todo cuando uno se traslada de un lugar a otro.

Ya que permite disponer de una gran cobertura y alta capacidad de transmisión, sin importar la hora, el lugar, el tipo de movilidad, ni el tiempo de conexión.

1.2 Redes inalámbricas de banda ancha

El termino banda ancha inalámbrica (*wireless broadband*) se refiere generalmente a las altas velocidades de transmisión de datos (como mínimo, varios cientos de kilobits por segundo) que ocurren entre dos o más puntos fijos, dentro de una red. Ésta promete entregar una amplia gama de servicios informáticos, rápidos y rentables, a los negocios y clientes residenciales.

Es por eso, que las tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha (*Broadband Wireless Access- BWA*) se consideran como las más viables, para resolver los problemas que se presentan al transmitir datos a alta velocidad y al reducir las probabilidades de error por el envío de paquetes y sincronización.

Existen varias propuestas para este tipo de tecnología y entre la más notables están: el protocolo europeo ETSI BRAN (*European Telecommunications Standards Institute Broadband Radio Access Network*), el cual pretende estandarizar tecnologías que alcancen velocidades de transmisión de 25 a 54 Mbps y el protocolo propuesto por la organización IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) cuyo nombre es IEEE 802.16 (conocido comercialmente con el nombre de WiMAX).

También se dedican a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados, lo cual le da una considerable ventaja con respecto a su homólogo europeo. Además de ser compatible con otros estándares como ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e IEEE 802.11 (*Wireless Fidelity-WiFi*). Provee un gran ancho de banda, con el cual se pueden alcanzar tasas para transferencia de información de hasta 134 Mbps.

1.3 Proceso de estandarización

En 1998, el IEEE formó un grupo llamado 802.16 para desarrollar el estándar *Wireless Metropolitan Area* o *Wireless MAN* (WMAN-).

Originalmente, este grupo se centró en el desarrollo de soluciones en la banda de 10 GHz a 66 GHz, con el principal objetivo de realizar conexiones de alta velocidad a las empresas que no podrían obtener una conexión de fibra. El grupo produjo el estándar IEEE 802.16-2001, aprobado en diciembre de 2001. Este estándar, conocido también como *Wireless MAN-SC*, especifica una capa física (PHY) que utiliza técnicas de modulación *single-carrier* (portadora-unitaria) y una capa MAC (Media Access Control) con una estructura TDM (*Time Division Multiplexing*), que soporta FDD (*Frequency Division Duplexing*) y TDD (*Time Division Duplexing*), para facilitar su interoperabilidad con otros sistemas inalámbricos y celulares.

Debido a que es muy compleja la fabricación y operación de los sistemas que operan en el rango de frecuencias superior a 11 GHz, el grupo comenzó a trabajar para extenderlo hacia las frecuencias con y sin licencia en el rango de 2 GHz a 11 GHz, que permite un funcionamiento de NLOS (*Near Line of Sight*). Este nuevo esfuerzo se convirtió en el estándar IEEE 802.16^a. Fue terminado en 2003 con los esquemas agregados de OFDM como parte de la capa física, para un funcionamiento en ambientes multidireccionales o multi-trayectorias.

Además de la capa física OFDM, también especificó opciones adicionales en la capa MAC incluyendo soporte para OFDMA. Además, el estándar IEEE 802.16a soporta un nuevo protocolo en configuración malla (Mesh), en donde los usuarios se pueden comunicar entre ellos mismos, extendiendo así el rango de funcionamiento del protocolo.

La extensión IEEE 802.16b incrementa el espectro y tecnología que puede usarse en las bandas de frecuencia de 5 a 6 GHz y provee calidad de servicio (QoS). El proveer de calidad de servicio asegura la prioridad de transmisión para la transmisión de voz y video en tiempo real y ofrece diferentes niveles de servicio a diferentes tipos de tráfico.

En 2004, se hicieron otras revisiones al estándar 802.16a y surgió el estándar revisado, IEEE 802.16-2004, que substituye al 802.16, 802.16a, 802.16c y 802.16d. Este también se adoptó como base para HIPERMAN (*High - Performance Metropolitan Area Network*) por la organización ETSI.

La IEEE 802.16c representa para la banda de 10 a 66 GHz el perfil de sistema que estandariza más detalles de la tecnología. Esto asegura mayor consistencia para la implementación e interoperabilidad del sistema.

En IEEE 802.16d se incluyen pequeños detalles que ayudan a mejorar la extensión 802.16a. Esta extensión también crea los perfiles del sistema para lograr que los dispositivos basados en 802.16a sean probados.

En 2003, el grupo 802.16 comenzó el trabajo sobre revisiones a las especificaciones para permitir aplicaciones de alta movilidad en vehículos. El protocolo WiMAX Móvil fue terminado en diciembre de 2005 y publicado formalmente como el estándar IEEE 802.16e-2005. Entre sus principales características, especifica un esquema OFDMA escalable (S-OFDMA) que soporta diferentes canales con 128, 512, 1024 y 2048 portadoras en la capa física y hace otras modificaciones a la capa MAC para soportar movilidad de alta velocidad, al incorporar procedimientos de cambio de estación base como *Soft Handoff* (cambio de estación base suave), el cual garantiza una calidad de servicio (QoS) en la estación base entrante.

Las especificaciones del protocolo IEEE 802.16 es una colección de estándares con un alcance muy grande y para acomodar las diversas necesidades de la industria, el estándar incorporó una amplia variedad de opciones.

La interoperabilidad es el principal objetivo de usar la familia de estándares 802.16 y el Foro WiMAX es el encargado de solucionar este problema y promover las soluciones basadas en el estándar IEEE 802.16.

La tabla 1 muestra en detalle las principales características de las diferentes versiones del protocolo 802.16. En ella se resalta que, entre sus muchas bondades, puede ofrecer un servicio de conexión a Internet de alta velocidad (de 1 a 134 Mbps) y una capacidad de cobertura de hasta 50 km para usuarios fijos, y de uno hasta 8 km para usuarios móviles: permitiendo transmitir imágenes, video, teleconferencias, servicios multimedia, datos IP, datos ATM, voz, televisión celular, televisión interactiva y muchos otros servicios, con diferentes tipos de calidad de servicio.

Tabla I. **Comparación de la familia de estándares IEEE 802.16**

	802.16	802.16a	802.16e
Espectro	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz	< 6 GHz
Funcionamiento	Solo con visión directa (LOS)	Sin visión directa (NLOS)	Sin visión directa (NLOS)
Tasa de bit	32 - 134 Mbit/s con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbit/s con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbit/s con canales de 5 MHz
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	Igual que 802.16a
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Sistema móvil
Anchos de banda	20, 25 y 28 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Igual que 802.16a con los canales de subida para ahorrar potencia
Radio de celda típico	2 - 5 km aprox.	5 - 10 km aprox. (alcance máx. de unos 50 km)	2 - 5 km aprox.

Fuente: *Planificación y administración de redes*. [http:// es. wikibooks.org/wiki/Planificaci%C3%B3n_y_Administraci%C3%B3n_de_Nets](http://es.wikibooks.org/wiki/Planificaci%C3%B3n_y_Administraci%C3%B3n_de_Nets) Consulta: 10 de febrero de 2013.

1.4 Sistemas de banda ancha

El rápido crecimiento y la demanda para el acceso a altas velocidades a los servicios de web, Internet y voz multilínea, tanto para usuarios residenciales como para pequeños negocios, han creado una demanda para acceso de banda ancha en la última milla.

Típicamente la tasa máxima de datos de un acceso de banda ancha compartido para usuarios residenciales y SOHO (Small Office/Home Office) son alrededor de 5-10 Mbps en el canal de bajada y 0.5-2 Mbps en el canal de subida. Esta asimetría ocurre por la naturaleza del tráfico web y su dominio. Voz y videoconferencias presenta un tráfico simétrico. Mientras la evolución de los servicios de Internet y el tráfico resultante es difícil de predecir, la demanda de las tasas de datos y la calidad de los servicios en la última milla se incrementarán dramáticamente en un futuro cercano.

Actualmente el acceso de banda ancha es ofrecido a través de líneas digitales suscriptoras xDSL, por cable y acceso inalámbrico de banda ancha BWA. Cada una de estas técnicas tiene diferentes costos, desempeño y balance efectivo. Mientras que el servicio de cable y DLS están siendo efectivo en gran escala, BWA está emergiendo como una tecnología con varias ventajas. Estas incluyen la evasión de los límites de distancias de DSL y altos costos de cableado, rápida ejecución, alta escalabilidad, bajo mantenimiento y costos de actualizaciones e inversiones granulares para ser compatibles con el crecimiento del mercado.

Pero por otro lado, se tiene un número de problemas importantes que incluyen la eficiencia del espectro, la escalabilidad de la red y la instalación propia de la antena del usuario CPE (*Customer Premises Equipment*). La operación confiable sin la línea de vista NLOS (*Non-Line-Of-Sight*) debe ser resuelta antes de que BWA pueda penetrar en el mercado exitosamente.

1.4.1 Panorama de las Redes de Banda Ancha

Con la introducción de los ruteadores multi-gigabit y líneas de transmisión óptica, las redes se han convertido en redes de alta velocidad que pueden ofrecer una gran variedad de servicios a los usuarios. El cuello de botella que se presenta en la velocidad es en el ingreso a red que conecta al usuario final con el extremo hacia la red central, típicamente con la oficina central más cercana o el multiplexor.

El más conocido medio físico de ingreso a red es el cobre de par cruzado, el cual es utilizado virtualmente para todas las casas y negocios. Estos cables tradicionalmente son utilizados para transmitir servicios de voz y comunicación de datos a baja velocidad utilizando módems. Actualmente, estos cables son utilizados para servicios de abonado de líneas digitales DSL (*Digital Subscriber Line*) el cual cuenta con dos modalidades. HDSL (*High-speed DSL*) este utiliza dos o tres pares de cables cruzados ofreciendo simetría a 2 Mbps en servicios de datos, mientras que para el servicio más reciente llamado ADSL (*Asymmetric DSL*) esta tecnología ofrece de 6-8 Mbps en promedio en el canal de bajada y varios cientos de kbps para el canal de subida.

De manera similar, el cable coaxial para las redes de cable fue tradicionalmente usado para servicios de televisión *broadcast*, y ha evolucionado recientemente para redes bidireccionales que ofrecen altas velocidades en datos y telefonía hacia los abonados. A este sistema se le conoce como la tecnología Cable Modem usando el sistema de televisión por cable (CATV).

El surgimiento de accesos inalámbricos de banda ancha es muy reciente, debido a las recientes desregulaciones y a las exigencias del mercado mundial de las telecomunicaciones.

Las redes de acceso inalámbrico son muy atractivas para los nuevos operadores debido a la inexistencia de una infraestructura de red cableada. Una gran ventaja es la rápida implementación y la baja inversión inicial. Esta es una característica muy atractiva con respecto a las redes cableadas en donde la mayor inversión necesita ser realizada durante la fase de implementación.

Más frecuencias para acceso inalámbrico de banda ancha están disponibles y son ondas milimétricas de frecuencias de entre 20 y 45 GHz. Bandas dedicadas de frecuencia para este tipo de aplicaciones están siendo recientemente disponibles en Europa, Norteamérica, Asia y otras regiones. Después de un extenso período, el acceso a sistemas inalámbricos opera en frecuencias de ondas milimétricas que están actualmente en fase inicial de introducción por debajo del desarrollo masivo comercial.

Estas redes de radio celular las cuales son comúnmente referidas como redes LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*), estas redes son implementadas para ofrecer servicios integrados de banda ancha para usuarios residenciales de negocios. Las redes LMDS son particularmente para satisfacer las necesidades de áreas urbanas y suburbanas con una alta densidad de usuarios, esto es debido a la capacidad de la célula que típicamente soporta una tasa promedio de datos STM-1 de (155 Mbps) y la célula cubre un radio de 2 a 5 Km.

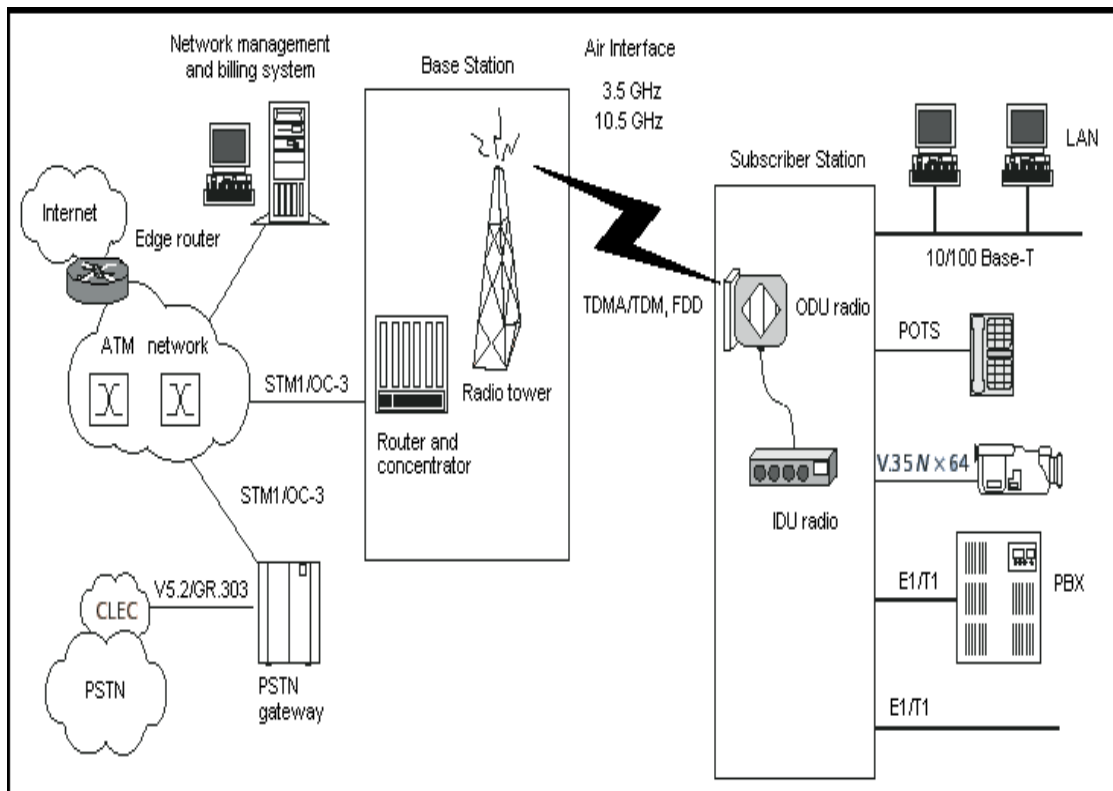
Aún cuando los rangos de frecuencias de ondas milimétricas son menores, hay algunas bandas de frecuencias disponibles debajo de los 11 GHz. Estas incluyen los servicios de banda MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Services*) en los Estados Unidos, los 3.5 GHz en Europa, y los 10 GHz en otros países. Por debajo de los 11 GHz, hay algunas bandas de frecuencia que no tienen licencia, como 5.8 y 2.4 GHz.

1.4.2 Arquitectura de las Redes de Banda Ancha

Un sistema BWA está compuesto por al menos una estación base BS (*Base Station*) y una o más estaciones suscriptoras SS's (*Suscriber Stations*). La BS y las SS's conforman la interfaz aérea del sistema ODU (*Outdoor Unit*), en donde se incluye los transmisores, receptores y antenas.

Por otro lado, se encuentra la interfaz alámbrica IDU (*Indoor Unit*) que es la interfaz que permite el acceso hacia y desde las redes *backbone* de datos y PSTN. Las dos interfaces se interconectan a una frecuencia intermedia. Esto se puede ver en la siguiente figura.

Figura 1. **Arquitectura BWA.**



Fuente: *Seguridad en redes inalámbricas* www.seguridadenredesinalambricas.com

Consulta: febrero de 2013.

La BS le asigna un canal de radio a cada una de las SS's de acuerdo a las políticas de control de acceso al medio (MAC). Todos los sistemas BWA constan de tres subsistemas, los cuales se citan a continuación:

Sistema de radiofrecuencia: es la parte inalámbrica de alta capacidad que permite la transmisión y recepción de las señales con cada SS. En la estación base, los módulos de transmisión y recepción están conectados en un lado con el equipo de acceso de datos de la BS y por otro lado con una antena cuyas características dependen de los requisitos del sistema.

Por otro lado, las estaciones remotas un módulo transmisor-receptor recibe la señal de bajada de la BS y la pasa al módem de cada SS. Asimismo, recibe el tráfico de la SS y lo trasmite hacia la BS.

Sistema de acceso: representa la interfaz de comunicación entre la SS y la BS, es el responsable de la estructuración y manejo del tráfico de señal de bajada o de subida con dirección al sistema de radiofrecuencia. En una red BWA, las SS's comparten en el tiempo los canales de subida UL (*Up Link*) y de bajada DL (*Down Link*). En el enlace de subida, el canal es usualmente ranurado permitiendo así el acceso al canal mediante la técnica TDMA, mientras que en el canal de bajada se emplea el esquema TDM. Cada SS puede entregar voz y datos utilizando interfaces comunes, por ejemplo, Ethernet, E1/T1, etc.

Interfaz de red en la BS: representa la conexión entre el proveedor de servicios y la red IP, las principales aplicaciones que se usan con el sistema de acceso a Internet, acceso de alta velocidad a servicios multimedia, además del acceso a la PSTN para aplicaciones VoIP. En el lado de la SS, es la red de conexión con el sistema inalámbrico.

2. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS

2.1 Introducción

El innovador mundo de las telecomunicaciones se encuentra en uno de los procesos más importantes de su historia, donde la tecnología más dinámica, se encuentra en el campo de las comunicaciones móviles que ha tenido grandes avances desde su introducción a inicios de los años 80. Dentro de este campo la telefonía celular es una de las que ha tenido mayor desarrollo. A pesar de que la telefonía celular fue concebida para la voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época, la tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otro tipo de servicios tales como datos, audio y video con algunas limitaciones. Pero la telefonía inalámbrica del mañana hará posible aplicaciones que requieran un mayor consumo de ancho de banda.

Es por ello que los sistemas de telefonía móvil actualmente, ofrecen perspectivas de ampliación, actualización y nuevos servicios. Por otro lado el crecimiento y la demanda de acceso a altas velocidades a servicios de Internet hacen inminente el desarrollo para el acceso a servicios de banda ancha en la última milla.

En este capítulo se presentan una clasificación de los sistemas móviles en distintas generaciones dependiendo del grado de evolución técnica de los mismos para posteriormente dar paso a las redes inalámbricas de banda ancha.

2.2 La confusión creada alrededor de 4G

4G comienza cuando la operadora de telefonía celular para Europa y Estados Unidos, T-Mobile, implementa la tecnología HSPA+. Fue promocionada como 4G para poder competir con empresas como Sprint y Verizon, las cuales se encontraban promocionando WIMAX y LTE como cuarta generación, cabe destacar que desde hace algún tiempo solo estas eran consideradas 4G.

4G es un concepto comercial más que un estándar, lo que provoca diversas confusiones que comenzarán a ser resueltas cuando esta tecnología se masifique alrededor del mundo.

La diferencia entre velocidad alcanzada por las redes WIMAX y LTE (es decir 4G); y la red HSPA+ que fue considerada como tecnología 3.9G no es sustancial, es por ello que la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) decidió incluir a HSPA+ en la categoría de redes 4G y tras un comunicado de prensa realizado en Ginebra el 6 de diciembre de 2010 en el Seminario Mundial de Radiocomunicaciones menciona lo siguiente:

Se habla de redes WIMAX con promedios de velocidades teóricas o pico superiores a los 50 Mbps, redes LTE con promedios de velocidades que superan los 20 a 30 Mbps y con picos teóricos de velocidad que alcanzarían los 100Mbps, pero en realidad las implementaciones comerciales de 4G que se han visto en varias partes del mundo, incluyendo en Europa y Estados Unidos, han sido sumamente inferiores a esos valores.

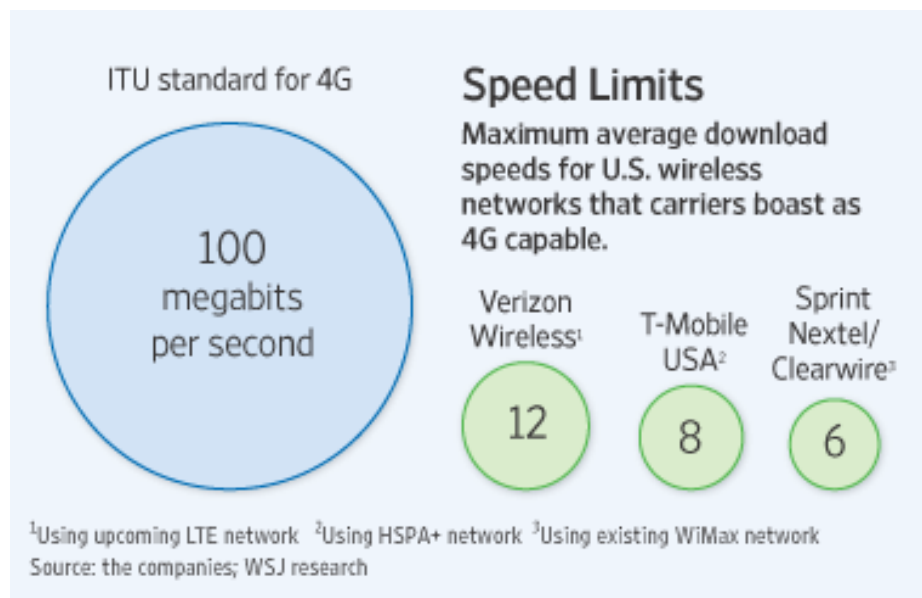
Como se puede apreciar, los argumentos que buscan dejar fuera de la categoría 4G a HSPA+ se basan más en una cuestión de nombres que de velocidades, ya que tampoco las redes WIMAX y LTE alcanzan la velocidad que originalmente se fijó como el estándar para 4G, es decir 100 Mbps.

La realidad alcanzada con 4G en Estados Unidos se aprecia en la figura 2 Verizon, T-Mobile y Sprint son los operadores de telefonía móvil más conocidos en ese país, por eso se han tomado en consideración para su análisis.

El objetivo es de 100 Mbps, para un estándar 4G, pero como se puede observar en el grafico ningún operador lo logra, indistintamente de la tecnología celular empleada.

En la figura 2 se puede observar que el promedio máximo de velocidad de conexión que alcanzan las redes 3.9G y 4G en Estados Unidos son de 12,8 y 6 Mbps. Verizon es el operador que ha apostado fuertemente por LTE, Sprint ha optado por WIMAX y T-Mobile por HSPA+.

Figura 2. **Velocidad 4G alcanzada en Estados Unidos**



Fuente: *Tecnología 4G* www.poderpda.com

Consulta: 20 marzo de 2013

Dado que las velocidades de LTE y WIMAX realmente no son tan diferentes a las de HSPA+, la ITU permitirá que el estándar HSPA+ sea reconocido como una tecnología 4G.

A continuación se presenta un resumen de las tecnologías denominadas 4G en Estados Unidos. La figura 3 presenta varios parámetros para cada operador, entre ellos se encuentran, el tipo de tecnología usada, la velocidad de transmisión brindada, la cobertura de la red desplegada, la compatibilidad de la tecnología con los distintos sistemas operativos, los equipos de usuario que pueden ser usados para acceder a la tecnología celular y el costo mensual por el cual deberían pagar los usuarios el momento de usar los servicios de la red. Desde el punto de vista económico la opción brindada por Verizon con la tecnología LTE es la más costosa.

Figura 3. **Tecnologías 4G de distintos operadores**

	Sprint	verizon	T-Mobile
"4G" Technology	WiMax	LTE	HSPA+
Speed	Downstream average speeds of 3-8 Mbps, 10 Mbps peak. "10x faster than 3G."	5-12 Mbps downstream and 2-5 Mbps upstream	Peak downstream of 21Mbps, peak upstream of 5.7Mbps. "Up to 3x faster than 3G."
Coverage	Nationwide coverage of many major cities and markets.	38 markets and 60 major airports on December 5th, 2010. Full nation-wide coverage by 2013.	Nationwide coverage of many major cities and markets.
OS Compatibility	All OS* (via Mobile HotSpot)	Windows-only (at launch, Mac OS X support to come)	Windows and Mac
Devices	USB Modems and Mobile Hotspot	USB Modems	USB Modems and Netbook
Monthly Cost	\$60 for unlimited 4G data and 5GB of 3G data.	\$50 for 5GB, \$80 for 10GB, \$10/GB overage fee.	\$25 for 200MB, \$40 for 5GB and no overage fees.

Fuente: *Tecnología 4G* www.poderpda.com

Consulta: marzo de 2013

2.3 Evolución de los sistemas celulares

El cambio constante a través de los tiempos ha permitido que la telefonía celular haya evolucionado en tal magnitud que hoy en día se habla de redes celulares con tecnología 4G, por tal motivo a continuación se presenta una pequeña descripción del proceso evolutivo.

2.3.1 La Primera Generación 1G

Esta generación se caracteriza por ser analógica y únicamente presta el servicio de comunicación por voz. Los estándares más exitosos fueron NMT (*Nordic Mobile Telephone – Telefonía Móvil Nórdica*) con especificaciones NMT-450 y NMT-900 respectivamente, TACS (*Total Access Communications Systems – Sistemas de Comunicaciones de Acceso Total*) desplegado en el Reino Unido operando en la banda de 90 MHz, y AMPS (*Advanced Mobile Phone Service – Sistema de Telefonía Móvil Avanzado*) implementado en Estados Unidos en la banda de 800MHz. En esta generación los dispositivos móviles eran enormes y pesados.

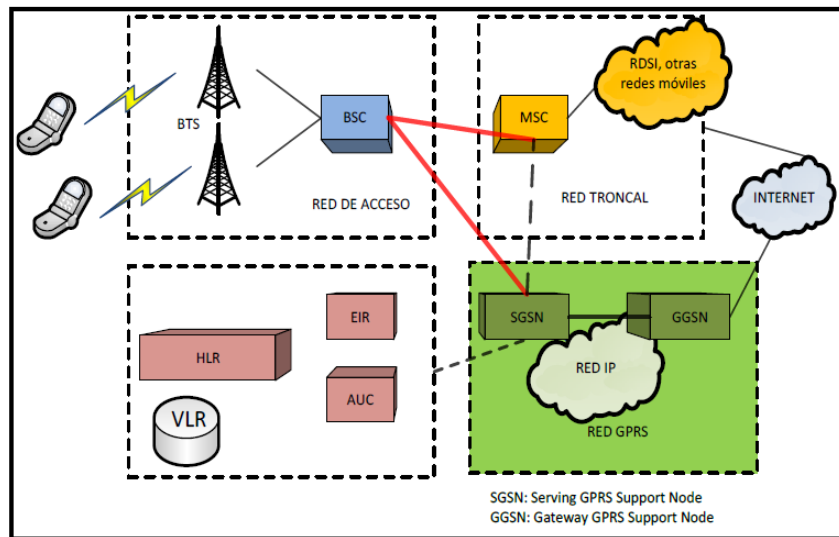
2.3.2 La Segunda Generación: 2G

A partir de esta generación de telefonía celular ya se digitaliza. Dentro de las tecnologías que sobresalen se encuentra GSM que usa canales dedicados para ofrecer datos hasta 9.6Kbps (*Full-rate*). D-AMPS o TDMA (IS-136) la cual evolucionó a PCS (*Personal Communications Systems – Sistemas de Comunicaciones Personales*) que fue utilizada en Estados Unidos por un tiempo, CDMA One (IS-95) (*Code Division Multiple Access One*) y PDC (*Pacific Digital Communications – Comunicaciones Digitales del Pacífico*) de Japón.

2.3.3 La Generación 2.5G

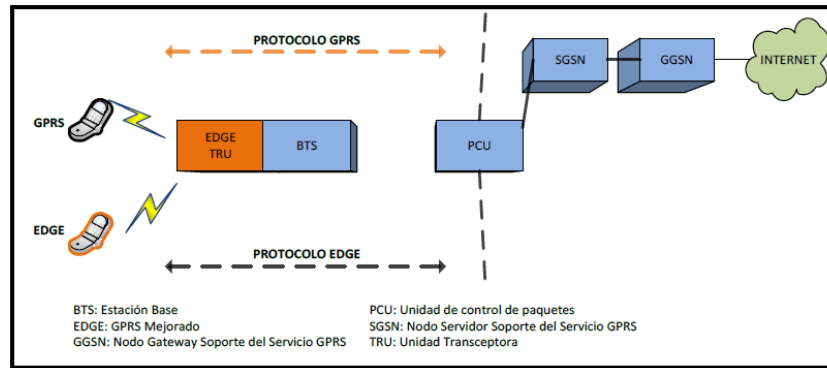
En esta generación destacan las tecnologías HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data* – Circuitos Conmutados de Datos de Alta Velocidad), GPRS (*General Packet Radio Services* – Servicio General de Paquetes por Radio) con una velocidad de transmisión de 115 Kbps: EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution* – Velocidad Mejoradas de Datos para la Evolución de GSM), que permite alcanzar velocidades de transmisión de datos de hasta 384 Kbps: EGPRS (*Enhanced GPRS* – GPRS Mejorado) que es la unión de GPRS con EDGE : y ECSD (*Enhanced –Switched Data* – Circuitos Conmutados de Datos Mejorados), que es la fusión de EDGE y HSCSD, como se muestra en la siguiente figura GPRS.

Figura 4. **Arquitectura de la red GPRS**



Fuente: Chimbo Rodríguez, Maritza Cecibel. *Análisis de la propuesta de la evolución de redes 3G y sus convergencias a la tecnología 4G para redes de telefonía móvil*. Cuenca – Ecuador. Universidad Salesiana p. 77. Consulta: Mayo de 2014

Figura 5. Diagrama GPRS y EDGE



Fuente: *Diferencias GRPS Y DGE* www.gsmSpain.com

Consulta: mayo de 2014

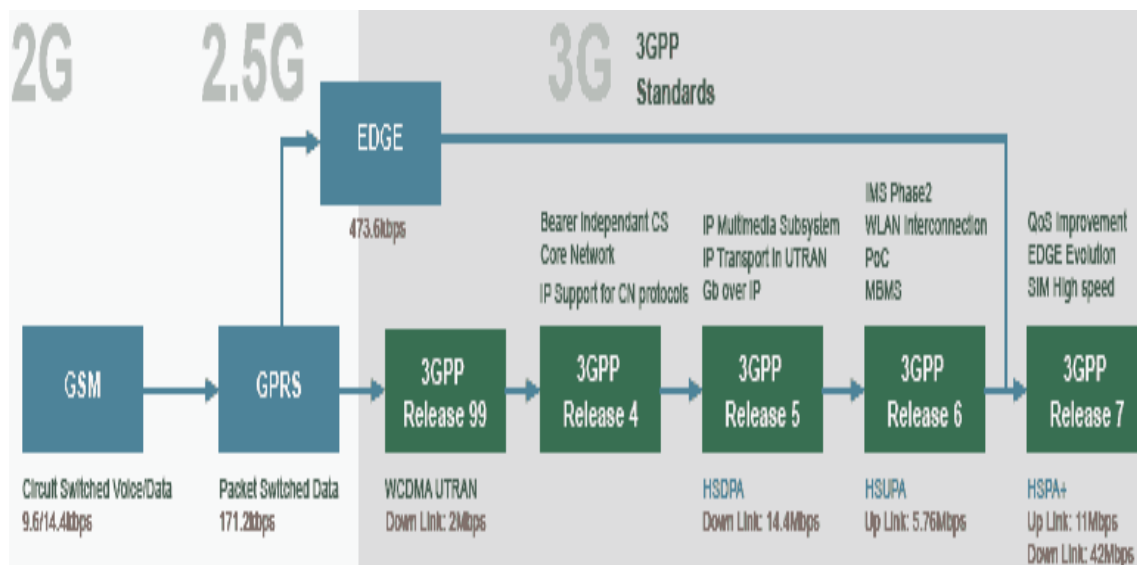
2.3.4 Redes de Tercera Generación: 3G

Las tecnologías denominadas de tercera generación (comúnmente llamadas 3G) son un conjunto de nuevos procedimientos de comunicación, estándares y dispositivos que mejorarán la calidad y velocidad de los servicios actualmente disponibles en teléfonos móviles.

Las terminales 3G combinarán la funcionalidad de un teléfono móvil con la de un PDA y una PC con conexión de banda ancha a Internet. Mientras que las redes de comunicación, según la ITU (*International Telecommunications Union*), permitirán a los dispositivos preparados para ello transmitir y recibir datos a una velocidad superior a los 144 kbps (en la práctica la tecnología está permitiendo velocidades cercanas a los 384 kbps, muy por encima de los 14.4 kbps de GSM o 53.6 kbps de GPRS). En la Figura 2.1 se observan las velocidades teóricas de diversos protocolos disponibles, así como la evolución de estos.

Entre las funcionalidades más interesantes de la tecnología 3G, aparte de mejorar la calidad de las transmisiones de voz, están las capacidades de comunicación instantánea (fax, e-mail, transmisión de grandes archivos, de imágenes, etcétera). Conexión a Internet con banda ancha (BWA), videoconferencia, multi-modalidad, capacidades de procesamiento que permitan ejecutar complejas aplicaciones en el teléfono como si fuera un PDA, funcionalidades de GPS, sistemas de pago, sistemas de identificación, comunicación con radiofrecuencia, infrarrojos, transmisión por conmutación de paquetes mejor que punto a punto (siempre *online*), *roaming* global, etc.

Figura 6. **Visión de la evolución de los distintos protocolos disponibles, con sus velocidades máximas teóricas**



Fuente: *Seguridad en Telefonía móvil*, www.expertohoy.blogspot.com

Consulta: agosto de 2014.

2.3.4.1 Generación 3.5G y 3.75G

Esta tecnología de acceso ha tenido un avance muy importante en los últimos meses con una migración hacia las tecnologías del Grupo 3GPP (EDGE/WCDMA/HSDPA/HSPA). Como se puede observar, casi todos los países analizados se encuentran con operadores que ofrecen servicios al menos con HSDPA (14.400/384 kbps como máximo) y algunos con HSPA, lo que les permite picos de hasta 5.800 kbps en la subida.

Este es un cambio realmente destacado en la región en cuanto a banda ancha inalámbrica, con una tecnología que se está afirmando en todos los países, y dentro de ellos en todas las regiones.

Recientemente ha habido operadores, incluyendo países grandes como Argentina y Brasil, que desplegaron banda ancha HSPA en las grandes ciudades y EDGE en las ciudades menores o en pequeñas poblaciones. En pocos meses, a partir del comienzo de la venta el servicio de banda ancha, el EDGE (474 kbps como máximo de bajada) resultó insuficiente cuando los clientes saturaron las redes, debiendo pasar a HSPA.

Además, cuando no hay capacidad de servicios 3,5G las velocidades se van reduciendo por el empleo de tecnologías EDGE o hasta GPRS.

En la vida real, las velocidades de pico indicadas son difíciles de obtener en horas de alto tráfico debido al hecho de compartir el medio entre todos los clientes que se encuentran servidos por la misma radio base.

Se observa así que el perfil de la oferta de esta banda ancha difiere totalmente de las ofertas de banda ancha fija. Se espera que cuando avance el despliegue de radio bases y se pase a usar la 4G podrá haber similitudes en cuanto a los parámetros críticos del servicio (velocidades de transferencia, garantía mínima de calidad, etcétera).

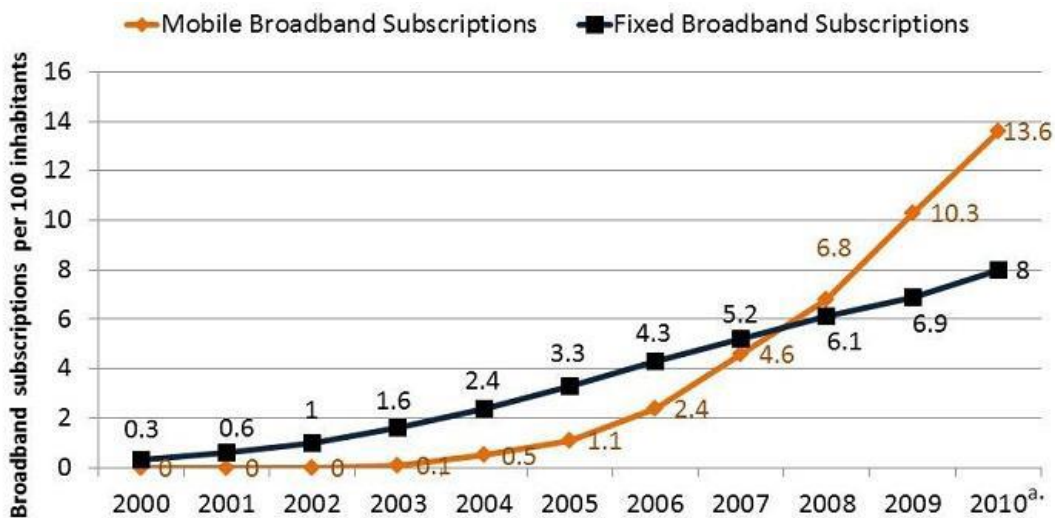
Mientras tanto, el usuario privilegia la movilidad y el “always on” frente a los parámetros que se le exige al operador de red fija.

La tecnología predominante en esta generación es la tecnología HSPA que se presenta como la unión de HSDPA(3.5G) y HSUPA(3.75G). Alcanza velocidades de transmisión de 14.4 Mbps en el *dowlink* y 5.7 Mbps en el *uplink*.

2.3.5 Redes de Generación 4G

Los estándares de cuarta generación (4G) cuentan con el apoyo de muchos usuarios, como consecuencia del aumento de la velocidad de transferencia de datos. El aumento de la velocidad de transferencia de datos permitirá a los usuarios descargar archivos, por ejemplo, de vídeo y de música, con mayor rapidez que con los estándares de generaciones anteriores, como veremos en la siguiente figura.

Figura 7. Provisión de crecimiento en América Latina



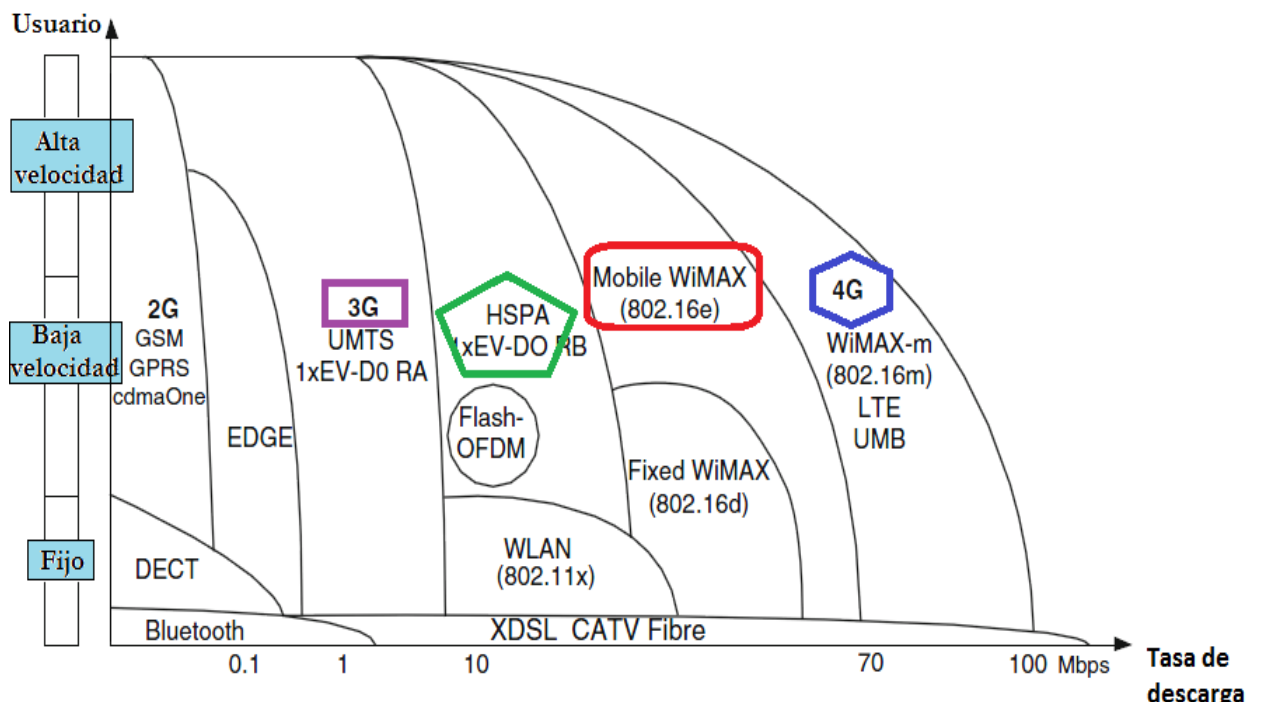
Fuente: *Aceleración de Banda Ancha en las Américas* www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/

Consulta: 12 de Junio de 2014

En la actualidad, teniendo en cuenta los estándares mencionados en los anteriores apartados, el escenario de las diferentes tecnologías inalámbricas existentes atendiendo a la movilidad del usuario o a su tasa de descarga 3GPP continúa desarrollando los protocolos para conseguir el estándar 4G, LTE, sucesor de UMTS y HSPA. El objetivo de *Long Term Evolution* es conseguir una tasa de transferencia máxima de 100 Mbps en el enlace descendente y 50 Mbps en el ascendente, con una eficiencia espectral media tres o cuatro veces superior al último lanzamiento de HSPA.

Para conseguir estos valores tan altos de tasas, la interfaz radio se basa en OFDM/OFDMA y en técnicas avanzadas de antenas, compartiendo así similitudes con WiMAX.

Figura 8. **Escenario de evolución de las tecnologías inalámbricas**



Fuente: Villar Pascual, Sonia. *Red de Acceso de Banda Ancha mediante WiMAX Móvil (IEEE 802.16e)*, España, Universidad de Madrid. p 31. Consulta: octubre de 2014.

Tabla II. **Tabla comparativa, 1G a 4G**

Technology / Features	1G	2G	2.5G	3G	4G
Start/ Deployment	1970/ 1984	1980/ 1991	1985/ 1999	1990/ 2002	2000/ 2006
Data Bandwidth	1.9 kbps	14.4 kbps	14.4 kbps	2 Mbps	200 Mbps
Standards	AMPS	TDMA, CDMA, GSM	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA-2000	Single unified standard
Technology	Analog cellular technology	Digital cellular technology	Digital cellular technology	Broad bandwidth CDMA, IP technology	Unified IP and seamless combination of broadband, LAN/WAN/PAN and WLAN
Service	Mobile telephony (voice)	Digital voice, short messaging	Higher capacity, packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic information access, wearable devices
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit	Circuit for access network & air interface; Packet for core network and data	Packet except circuit for air interface	All packet
Core Network	PSTN	PSTN	PSTN and Packet network	Packet network	Internet
Handoff	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal and Vertical

Fuente: *Telefonía celular 4G*. www.monografias.com/trabajos93/telefonía-celular-4g/

Consulta: 25 de junio de 2014

Estas redes de nueva generación necesitarán desarrollar servicios para todos los tipos de terminales, los cuales se moverán entre redes fijas (fibra óptica, DSL, cable) y distintas tecnologías de acceso móvil (basadas en 3GPP, 3GPP2 e IEEE).

2.3.6 Generaciones del futuro

2.3.6.1 Generación 5G

La quinta generación de redes móviles (5G) será el verdadero mundo de Internet móvil, el cual estará soportado por LAS-CDMA, OFDMA, MC-CDMA, UWB, Network-LMDS e IPv6.

2.3.6.2 Generación 6G

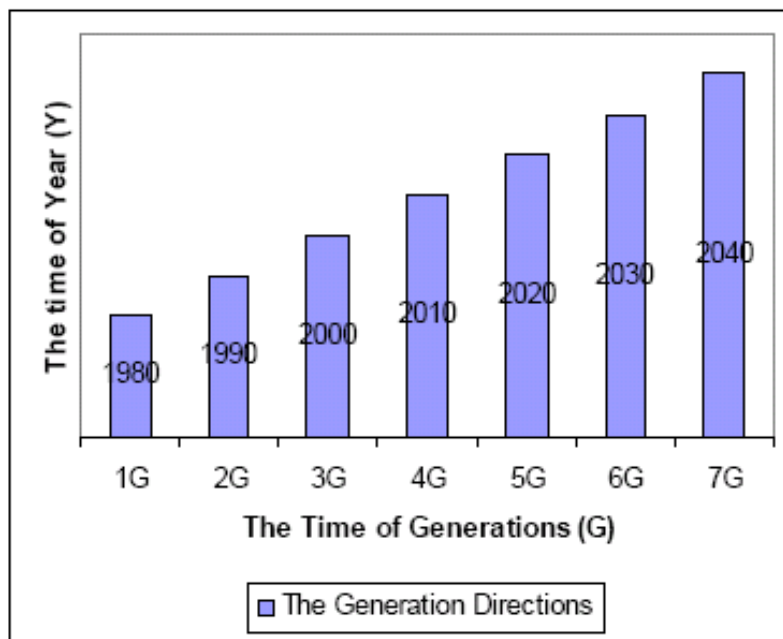
La sexta generación integrará sistemas de comunicación satelital, con 5G dando cobertura global. Estas redes satelitales están compuestas por redes de navegación (utilizadas para determinar la posición global), por redes de telecomunicaciones (usadas para brindar telefonía satelital, video multimedia, y conectividad a Internet) y redes de imagen (usadas para el monitoreo de recursos naturales e información climática).

En la actualidad, cinco países poseen o han anunciado desarrollo de sistemas de navegación por satélite mundiales (GNSS). En la práctica EE.UU. lleva desplegado desde hace ya muchos años el *Global Positioning System (GPS)*, el cual ya se encuentra liberado al uso civil. En Europa existe Galileo, en China COMPASS y en Rusia GLONASS, pero sólo enfocado para usos militares. Si 6G integra 5G con estas cuatro redes satelitales, 6G podría llegar a tener cuatro estándares distintos, en otras palabras, existirían cuatro tecnologías, redes y sistemas en 6G.

2.3.6.3 Generación 7G

A partir de 6G, el *handover* y *roaming* en estas nuevas redes debería ocurrir en el espacio, lo cual impulsaría la nueva generación de comunicaciones móviles (7G). En comparación con los satélites, las estaciones base son mucho más baratas y estables. Los satélites son muy caros y deben moverse para poder cubrir zonas de mayor cobertura. Estos satélites se mueven constantemente en velocidades de unos 7.000 Km/h, lo que implica dos órbitas completas en menos de 24 horas, que es el escenario donde el *handover* y el *roaming* deberá ocurrir.

Figura 9. **Despliegue de las distintas generaciones móviles**



Fuente: *El futuro de las redes de comunicaciones inalámbricas móviles* www.rodolfo-olivares-lazo.blogspot.com/2011/09/el-futuro-de-las-redes-de.html

Consulta: Mayo de 2014.

3. TECNOLOGÍAS DE CUARTA GENERACIÓN

3.1 Introducción

Está basada completamente en el protocolo IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas.

Esta tecnología podrá ser usada por módems inalámbricos, celulares inteligentes y otros dispositivos móviles. La principal diferencia con las generaciones predecesoras será la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta de alta seguridad que permitirá ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

La evolución de la tecnología actual y las conexiones móviles va creciendo, la tecnología 4G es parte de este avance, pero ¿qué es tecnología 4G? Es la nueva experiencia de conectividad que nos ofrece mejor conexión inalámbrica, denominada WIMAX y LTE: Ofrecen la posibilidad de enviar desde señales de televisión hasta controlar la energía del hogar mediante enchufes de pared, así como también mejorar la velocidad y transferencia de datos móviles.

Esta nueva tecnología promete también cambiar el modo de vida actual, ya que modifica poco a poco la forma de manipular los aparatos domésticos, como por ejemplo el televisor, los automóviles y ordenadores.

3.2 Generación 4G

3.2.1 WIMAX y LTE

En las conexiones 4G aún permanecerá la conectividad Wi-Max, una opción más que ofrece características parecidas a la LTE. Esta tecnología se usará para llegar a lugares lejanos o de poco acceso a redes de cable, lo cual será perfecto para Wi-Max.

La tecnología LTE funcionará bajo protocolos de Internet (IP) con lo cual se asegura mejor transmisión de datos. Actualmente las conexiones 3G dejan dudas de su calidad de servicio, por su velocidad no tan alta, y sus conexiones bajas, lo que lleva a pensar en la tecnología 4G como solución, aunque tardará aún para que sea masiva y funcional. En la actualidad, la tecnología 3G del momento se convirtió en un servicio masivo, desde la llegada del Iphone por parte de Apple, esto llevó a miles y millones de usuarios a tener conexión 3G y a depender de ella. Lo anterior llevó a su vez a un consumo móvil de esta tecnología, volviéndose un servicio casi tan normal como los demás servicios prestados por las empresas móviles.

El día de hoy, los dispositivos móviles con conexión 3G han crecido en un porcentaje muy alto, y según los avances de cada día, irán aumentando más y más, gracias a la llegada de otras plataformas como Android, Windows Phone 7 y WebOS.

La tecnología 4G será una solución para las conexiones de alta velocidad, pero aún queda mucho camino por recorrer antes de que sean comunes en nuestra vida diaria, mientras se expanden por todo el mundo.

Tabla III. Comparativa LTE – WiMAX

Característica	WiMAX (IEEE 802.16e-2005)	3GPP-LTE
Red Núcleo	Foro WiMAX red todo IP	UTRAN convirtiéndose hacia red todo IP EUTRA (enhanced UTRA)
Tecnología de Acceso Enlace de bajada (DL) Enlace de subida (UL)	OFDMA OFDMA	OFDMA SC-FDMA
Banda de frecuencia	2.3-2.4GHz, 2.496-2.67 GHz, 3.3-3.8 GHz	Bandas de frecuencias existentes y nuevas cercanas a 2GHz
Tasa de bits DL UL	75 Mbps 25Mbps	100Mbps 50Mbps
Ancho de banda del canal	5, 8.75, 10MHz	1.25-20MHz
Radio de Célula	2-7Km	5Km
Capacidad de Célula	100-200 usuarios	>200 usuarios a 5MHz >400 usuarios para BW mayor
Eficiencia espectral	3.75 (bits/seg/Hz)	5(bits/seg/Hz)
Movilidad: Velocidad Handover	Hasta 120 Km/h Hard Handovers son soportados	Hasta 250 Km/h Handovers inter célula soft
Standares	IEEE 802.16a hasta 16d	GSM/GPRS/EGPRS/UMTS/HSPA
MIMO: DL UL # de código de palabras	2Tx * 2Rx 1Tx * NRx 1	2Tx * 2Rx 2Tx * 2Rx 2
Roaming	Nuevo	Auto a través de GSM/UMTS
Fechas: Estándar completado Inicio de despliegue Producción en masa	2005 2007-2008 2009	2007 2010 2012

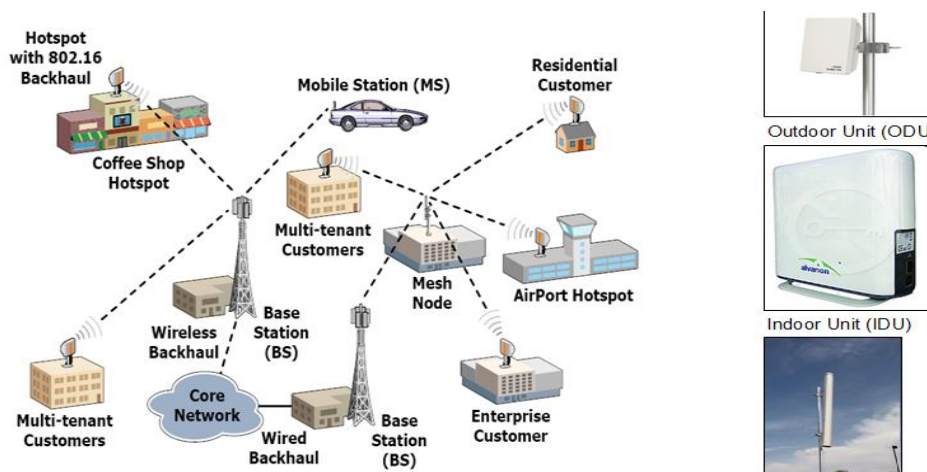
Fuente: Comparación en tecnologías 4G www.es.slideshare.net/nestorjavierperezmujiica/4-g-lte-vs-wimax Consulta: 03 de julio de 2014

3.2.2 Tecnología WiMAX

WiMAX son las siglas de *WorldWide Interoperability for Microwave Access* – Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas. Está diseñada para proveer servicios y aplicaciones de banda ancha inalámbrica tanto fija como móvil, WiMAX es la primera tecnología de banda ancha móvil basada en IP y OFDMA.

La capacidad de transferencia en WiMAX depende del ancho de banda del canal que se esté usando. A diferencia de los sistemas 3G, los cuales poseen un canal de ancho de banda fijo, WiMAX define un canal donde se puede seleccionar el ancho de banda, entre 1.25 MHz y 20 MHz, lo cual permite desarrollos muy flexibles. WiMAX móvil provee mayores tasas binarias con OFDMA que los otros estándares. Además, introduce varias características necesarias para soportar movilidad y proporcionar calidad de servicio (QoS) comunes con HSPA: modulación y codificación adaptativa, ARQ Híbrida (H-ARQ), planificación rápida y traspaso de ancho de banda eficiente.

Figura 10. **Arquitectura WiMAX.**



Fuente: *Redes WiMAX y wifi.* www.blog.cnmc.esConceptos-basico-de-redes.com

Consulta: 03 de julio de 2014

La principal diferencia se encuentra en el tipo de transmisión bidireccional: WiMAX móvil usa TDD (División por transmisión bidireccional en el tiempo) mientras que HSPA usa FDD (División por transmisión bidireccional en frecuencia).

3.2.3 Tecnología LTE

La norma LTE fue desarrollada por 3GPP a partir de HSPA (*High Speed Packet Access*). El desarrollo de la norma LTE comenzó en 2005 y dio lugar a las especificaciones para el *Evolved Packet Core* (EPC) y una nueva forma de acceso de radio denominada *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (eUTRAN).

En diciembre de 2009, el operador de telecomunicaciones sueco Telio_Sonera lanzó el primer despliegue comercial de LTE en Estocolmo, Suecia y Oslo. La red de Estocolmo fue suministrada por Ericsson, mientras que la red de Oslo fue suministrada por Huawei. Los módems fueron suministrados por Samsung.

Los objetivos iniciales de la interfaz radio LTE son:

- Flexibilidad espectral: capacidad para operar con diferentes anchos de banda (1,25 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz), tanto en espectro pareado (un bloque de espectro para el sentido descendente desde la estación de base hacia el terminal, y otro bloque para el del sentido ascendente desde el terminal hacia la estación de base), como no pareado (ambos sentidos soportados sobre una misma o mismas frecuencias).

- Eficiencia espectral: del orden de 3 a 4 veces mejor que la del HSDPA en el enlace descendente, y entre 2 y 3 veces mejor que HSUPA en el ascendente.

Traducido a velocidades (*throughput*), esto supone requisitos del orden de velocidades de pico y por usuario de unos 100 Mbps en un ancho de banda de 20 MHz en el sentido descendente, y de 50 Mbps en el ascendente.

En las conexiones 4G aun permanecerá la conectividad Wi-Max, una opción más que ofrece características parecidas a la LTE. Esta tecnología se usará para llegar a lugares lejanos o de poco acceso a redes de cables, con lo cual será perfecto para Wi-Max.

La tecnología LTE funcionará bajo protocolos de Internet (IP) con lo cual se asegura mejor transmisión de datos basados en este protocolo. Actualmente las conexiones 3G dejan mucho que desear, por su velocidad no tan alta, y conexiones bajas, lo que lleva a pensar en la tecnología 4G como solución, aunque tardará aún para que sea masiva y funcional.

3.3 Requisitos para 4G.

Los estándares para 4G deben cumplir los siguientes requisitos.

3.3.1 Acceso de banda ancha móvil y eficiencia de ancho de banda

4G está principalmente centrado en el tráfico de datos. Esto se deduce de la tendencia e incremento de este tipo de tráfico en comparación al tráfico de voz durante la evolución de las distintas generaciones de las comunicaciones móviles antes vistas.

3.3.2 Alta capacidad de red

El estándar 4G requiere una alta capacidad de red conseguida a través del uso eficiente de múltiples técnicas de acceso, unido a avanzados sistemas de antenas conocidas como smart o antenas inteligentes.

3.3.3 Conectividad y *roaming* a través de redes heterogéneas

Para sostener la idea de ubicuidad, el estándar 4G debe proveer los medios para proporcionar conectividad y *handover* a través de redes heterogéneas, es decir redes de diferentes tamaños y funcionalidades. Los *handover* verticales y horizontales son críticos a fin de permitir una adecuada transición a 4G con el objeto de garantizar su adecuada masificación y viabilidad comercial.

3.3.4 Alta calidad de servicio

Permitiendo un adecuado soporte para las aplicaciones multimedia (audio en tiempo real, datos de alta velocidad, HDTV, televisión móvil, etc.).

3.4 WWRF y NTT DoCoMo

El WWRF (*Wireless World Research Forum*) pretende que 4G sea una fusión de tecnologías y protocolos, no sólo un único estándar, similar a 3G, que actualmente incluye tecnologías como lo son GSM y CDMA.

Por su parte, el ITU indicó en 2010 que tecnologías consideradas tecnologías 3G evolucionadas, como lo son WiMAX y LTE, podrían ser consideradas tecnologías 4G.

La empresa NTT DoCoMo en Japón, fue la primera en realizar experimentos con las tecnologías de cuarta generación, alcanzando 100 Mbps en un vehículo a 200 km/h. La firma lanzó los primeros servicios 4G basados en tecnología LTE en diciembre de 2010 en Tokio, Nagoya y Osaka. En el resto del mundo se espera una implantación sobre el año 2020. En telecomunicaciones, 4G (también conocida como 4-G) son las siglas utilizadas para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Es el sucesor de las tecnologías 2G y 3G.

3.5 Asignación de frecuencias

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) decidió que la banda de frecuencias 694-790 MHz en la Región 1 de la UIT (Europa, África, Oriente Medio y Asia Central) sea adjudicada a servicios móviles, lo cual representa una solución armonizada a escala mundial para la implementación del dividendo digital.

Durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR- 15) de la UIT, reunida actualmente en Ginebra del 2 al 27 de noviembre, ha adoptado una decisión que proporcionará mayor capacidad a la banda ancha móvil en la banda de frecuencias 694- 790 MHz en la Región 1 de la UIT (Europa, África, Oriente Medio y Asia Central) y una solución armonizada a escala mundial para la implementación del dividendo digital.

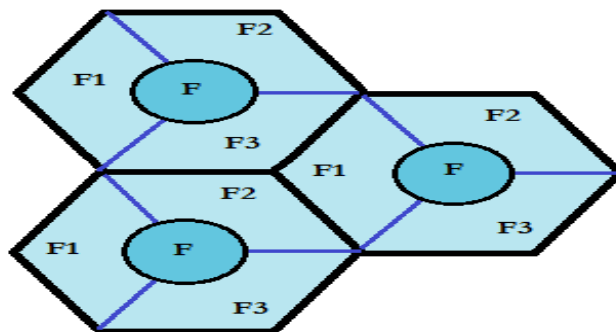
De acuerdo con esa decisión, la banda indicada es atribuida al servicio móvil e identificada para las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) en la Región 1 de la UIT, de forma similar a la decisión adoptada por la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2007 (CMR-07) para la Región 2 (América) y la Región 3 (Asia-Pacífico) de la UIT.

Las disposiciones adoptadas por la CMR-15 prevén la plena protección de la radiodifusión de televisión, así como de los sistemas de radionavegación aeronáutica que funcionan en esa banda de frecuencias, concretamente en países de la Comunidad Regional de Comunicaciones (CRC).

3.6 Reutilización de frecuencias

WiMAX móvil adopta un esquema simple de reutilización de frecuencias con un esquema de uso parcial de subportadoras PUSC (*Partial Usage of Sub-Carriers*). La división en el tiempo para DL/UL puede ocasionar colisiones por lo que se intenta el siguiente esquema de utilización de frecuencias 1x3x1 cerca de la estación base y 1x3x3 cerca de los bordes de la celda tal y como se muestra en el siguiente dibujo.

Figura 11. **Esquema de reutilización de frecuencias en WiMAX Mobile**



Fuente: WiMAX v2. www.sx-de-tx.wikispaces.com/WiMAXConsulta:

Consulta: 12 de agosto de 2014

3.7 Uso de las frecuencias asignadas

Las frecuencias de telefonía móvil o bandas de telefonía móvil utilizadas en España en la actualidad son las siguientes:

- 2G/GSM: 900 y 1800 MHz.
- 3G/WCDMA: 900 (desde septiembre de 2011) y 2100 MHz.
- 4G/LTE: 800 (desde abril de 2015), 1500 MHz (próximamente), 1800 MHz y 2600MHz.

La banda de 1500 MHz se encuentra en periodo de licencia, para usarse próximamente en servicios 4G/LTE únicamente en sentido descendente, como complemento de otras bandas 4G/LT. Por último, se utiliza la banda de los 3,5 GHz para WiMAX (IEEE 802.16).

3.7.1 Banda 800

Conocida como dividendo digital, abarca desde los 790 MHz hasta los 862 MHz. Hasta el 31 de marzo de 2015 se utilizó para servicios de radiodifusión de televisión. Una vez se trasladaron los canales de la TDT a frecuencias más bajas, se utilizó para telefonía de cuarta generación LTE, desde el 1 de abril de 2015. Esta banda de frecuencias constituye la banda 20 de LTE.

Tabla IV. **Banda 800**

LTE BANDA 20

Operadores

Frecuencias	Ancho	Uso	Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
791-821 MHz	30 MHz	Bajada	2x5 MHz	832-837MHz	791-796MHz	Orange	¿?	31/12/2030
			2x5 MHz	837-842MHz	796-801MHz	Orange	¿?	31/12/2030
832-862 MHz	30 MHz	Subida	2x5 MHz	¿?	¿?	Vodafone	¿?	31/12/2030
			2x5 MHz	¿?	¿?	Movistar	¿?	31/12/2030
			2x5 MHz	¿?	¿?	Movistar	¿?	31/12/2030
			2x5 MHz	¿?	¿?	Vodafone	¿?	31/12/2030

Fuente: *Frecuencias telefonía móvil* www.wiki.bandaancho.st

Consulta: 20 de agosto de 2014

3.7.2 Banda 900

Utilizada por la telefonía móvil GSM desde sus inicios, desde septiembre de 2011 también se utiliza para ofrecer 3G por sus buenas cualidades de propagación.

Tabla V. **Banda 900**

LTE Banda 8 (E-GSM)

Operadores

Frecuencias	Ancho	Uso	Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
880-915 MHz	35 MHz	Subida	2x5 MHz	880,1-885,1 MHz	925,1-930,1 MHz	Orange	07/07/2005	31/12/2030
			2x5 MHz	885,1-890,1 MHz	930,1-935,1 MHz	Orange	06/07/2011	31/12/2030
925-960 MHz	35 MHz	Bajada	2x5 MHz	890,1-895,1 MHz	935,1-940,1 MHz	Movistar	03/02/1995	31/12/2030
			2x5 MHz	895,1-900,1 MHz	940,1-945,1 MHz	Movistar	03/02/1995	31/12/2030
			2x4,8 MHz	900,1-904,9 MHz	945,1-949,9 MHz	Movistar	03/02/1995	31/12/2030
			2x10 MHz	904,9-914,9 MHz	949,9-959,9 MHz	Vodafone	03/02/1995	02/01/2028

Fuente: *Frecuencias telefonía móvil* www.wiki.bandaancho.st

Consulta: 20 de agosto de 2014

3.7.3 Banda 1500

Las frecuencias que hasta ese momento estaban destinadas a la radiodifusión digital DAB, pasarán a manos de las operadoras de telecomunicaciones como complemento para dar servicios 4G únicamente en sentido descendente (SDL). Lo que será útil para recepción de *streaming* video y descarga de ficheros.

Tabla VI. **Banda 1500**

Frecuencias	Ancho	Uso
1452-1492 MHz	40 MHz	Descarga

Fuente: *Frecuencias telefonía móvil* www.wiki.bandaanacha.st

Consulta: 20 de agosto de 2014

3.7.4 Banda 1800

Utilizada originalmente para tecnología GSM, desde julio de 2013 se utiliza también para telefonía de cuarta generación LTE o 4G. Esta banda de frecuencias constituye la banda 3 de LTE.

Tabla VII. **Banda 1800**

LTE Banda 3 (DCS) Operadores

Frecuencias	Ancho	Uso	Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
1710-1785 MHz	75 MHz	Subida	2x20 MHz	1710,1-1730,1 MHz	1805,1-1825,1 MHz	Movistar	24/07/1998	31/12/2030
			2x20 MHz	1730,1-1750,1 MHz	1825,1-1845,1 MHz	Vodafone	24/07/1998	31/12/2030
1805-1880 MHz	75 MHz	Bajada	2x5 MHz	1750,1-1755,1 MHz	1845,1-1850,1 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030
			2x5 MHz	1755,1-1760,1 MHz	1850,1-1855,1 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030
			2x4,8 MHz	1760,1-1764,9 MHz	1855,1-1859,9 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030
			2x20 MHz	1764,9-1784,9 MHz	1859,9-1879,9 MHz	Orange	24/07/1998	31/12/2030

Fuente: *Frecuencias telefonía móvil* www.wiki.bandaanacha.st

Consulta: 20 de agosto de 2014

3.7.5 Banda 2600

Se utiliza para tecnología móvil de cuarta generación (4G) LTE en aquellos lugares donde la banda 1800 no es suficiente por estar muy saturada (lugares con gran afluencia de público, por lo general).

Tabla VIII. **Banda 2600**

LTE Banda 7 (IMT-E)			
Tipo	Frecuencias	Ancho	Uso
FDD	2500-2570 MHz	70 MHz	Subida
	2620-2690 MHz	70 MHz	Bajada

LTE Banda 38 (IMT-E)			
Tipo	Frecuencias	Ancho	Uso
TDD	2570-2575 MHz	5 MHz	Sin asignar
	2575-2615 MHz	40 MHz	Compartido
	2615-2620 MHz	5 MHz	Sin asignar

Fuente: *Frecuencias telefonía móvil* www.wiki.bandaancha.st

Consulta: 20 de agosto de 2014

3.7.6 Banda 3500

Se utiliza en accesos a internet vía WiMAX, en zonas rurales

Tabla IX. **Banda 3500**

LTE banda 42

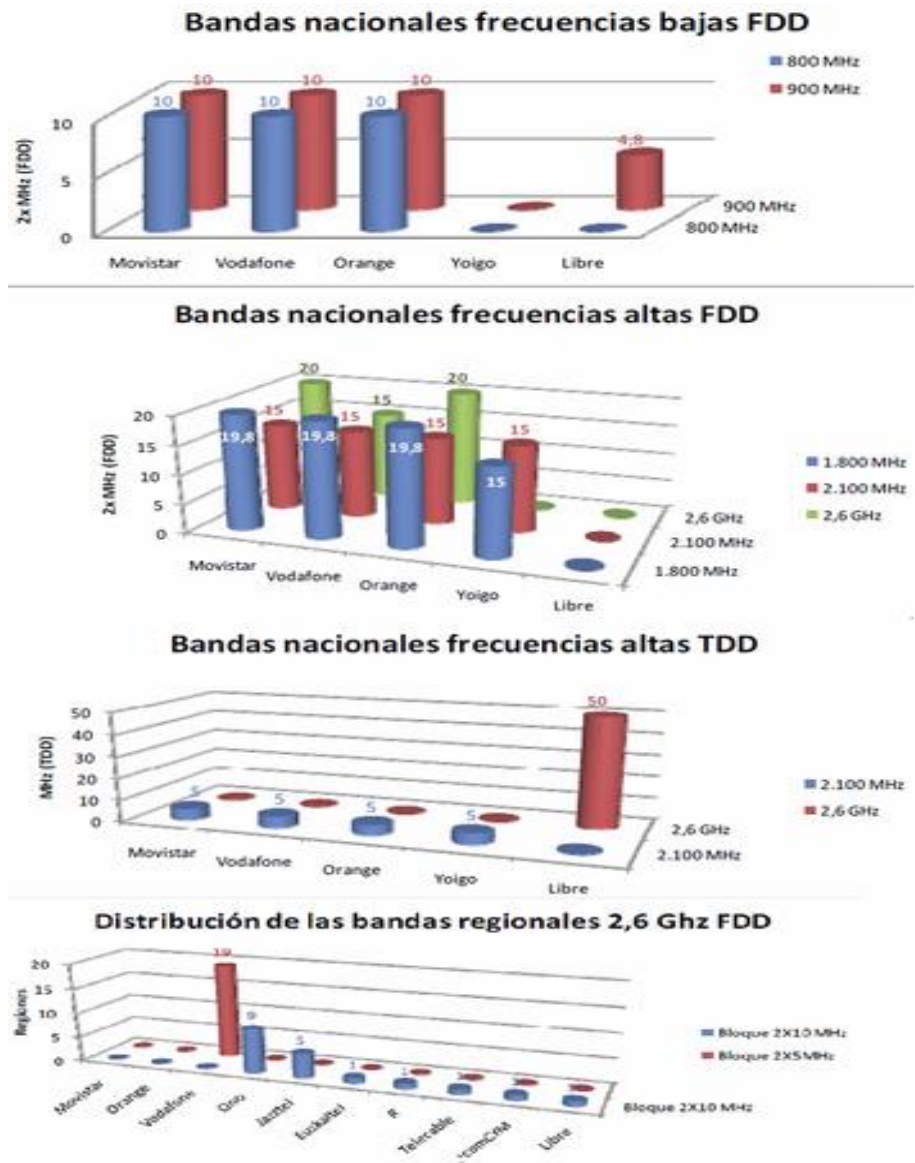
Operadores

Frecuencias	Ancho	Uso	Frecuencias	Operador
3400-3500 MHz	100 MHz	Subida	3400-3420 / 3500-3520 MHz	MRF Cartuja (Clearwire)
3500-3600 MHz	100 MHz	Bajada	3420-3440 / 3520-3540 MHz	Neo-Sky
			3440-3460 / 3540-3560 MHz	Iberbanda
			3460-3480 / 3560-3580 MHz	Cable Europa (ONO)

Fuente: *Frecuencias telefonía móvil* www.wiki.bandaancha.st

Consulta: 20 de agosto de 2014

Figura 12. **Reparto del espectro después de la subasta del 2011**



Fuente: Frecuencias telefonía móvil www.wiki.bandaancha.st
 Consulta: 20 de agosto de 2014

3.8 IPv6 y celulares

Parece claro que la denominada cuarta generación de redes celulares (4G) tendrá como ejes estratégicos la utilización de múltiples interfaces radio y la utilización de IP como protocolo de transporte de datos y señalización. Estas dos tendencias ya son claramente observables en la actualidad. IP se ha convertido en el protocolo de interconexión universal y las propuestas de redes de 3G del 3GPP y 3GPP2 muestran una clara evolución hacia redes todo IP (All-IP). En el caso de 3GPP, se da un paso más con la adopción de IPv6 como protocolo de red en lugar de IPv4. IPv6 pone solución a la actual escasez de direcciones, además entre otras cosas, ofrecer integrar un serie de mecanismos de seguridad y un mejor soporte de la movilidad. Es por todo ello que se espera que sea el protocolo de red de la 4G de redes celulares.

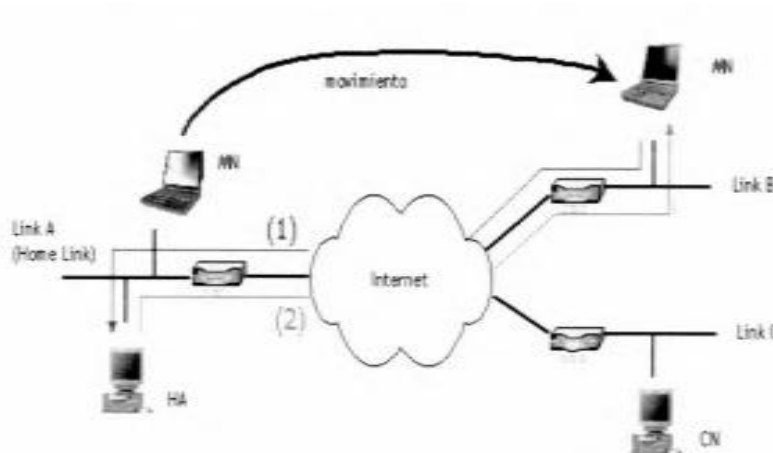
3.8.1 Mobile IPv6

En una comunicación MIPv6 intervienen principalmente tres elementos: *Mobile Node* (M), *Home Agent* (HA) y *Correspondent Node* (CN). Un MN es un nodo que cambia su punto de conexión a Internet. Un *Home Agent* es el agente con el cual el MN registra sus direcciones. Este agente es el encargado de interceptar y reenviar los paquetes dirigidos al M mientras este está en otra subred. Finalmente, un CN es un nodo que establece comunicación con un MN. Los CN también pueden ser móviles. En MIPv6, los MNs se identifican siempre mediante *su home address* (HoA) en lugar de identificarse mediante su punto de conexión a Internet. La HoA es una dirección IP asignada a un MN dentro de su *home network*. Mientras un MN está en su *home network*, los paquetes dirigidos a su HoA se encaminan hacia esa red usando los mecanismos de encaminamiento convencionales de Internet.

En MIPv6, los MNs se identifican siempre mediante su *home address* (HoA) en lugar de identificarse mediante su punto de conexión a Internet.

La HoA es una dirección IP asignada a un MN dentro de su *home network*. Mientras un MN está en su *home network*, los paquetes dirigidos a su HoA se encaminan hacia esa red usando los mecanismos de encaminamiento convencionales de Internet. Un nodo detecta que ha cambiado de red mediante la recepción de los anuncios de *router* (*Router Advertisements*, RA), en los cuales se difunden los prefijos de las redes. Cuando un MN se conecta a una *foreign network*, también estará alcanzable gracias a una o más *care-of addresses* (CoA). Una CoA es una dirección IP asociada a un MN que está fuera de su *home network*, formada con el prefijo de la nueva red en la que se encuentra. El MN puede adquirir su CoA mediante mecanismos convencionales de IPv6 como la autoconfiguración *stateless* (gracias a los anuncios de prefijo de los *routers*) o *stateful* (gracias al DHCP).

Figura 13. Proceso de registro con el HA



Fuente: *Redes celulares 4G basadas en Mobile IPV6 con soporte de nodos durmientes*
www.hdl.handle.net/2099/9916 Consulta: junio de 2014

3.8.2 Módulo IPv6

Cuando el módulo IPv6 se inicia, lo primero que se hace es iniciar los submódulos icmpv6, ndisc, igmpv6 y ip6_tunnel. Estos, a su vez, realizan un registro, creación e inicialización de los *sockets* de control icmpv6, ndisc y igmpv6. Posteriormente, inician otros submódulos propiamente del protocolo IPv6, como ip6Route, ipv6_packet, addrconf, ipv6Jrag. También se inician en este punto los protocolos de transporte udpv6 y tcpv6.

3.9 Características técnicas

El concepto de 4G trae unas velocidades mayores a las de 300 Mbps con un *rating* radio de 8.000 Khz. Entre otras cosas, incluye técnicas de avanzado rendimiento radio como MIMO y OFDM. Dos de los términos que definen la evolución de 3G, siguiendo la estandarización del 3GPP, serán LTE (*'Long Term Evolution'*) para el acceso radio, y SAE (*'Service Architecture Evolution'*) para la parte núcleo de la red. Los requisitos ITU y estándares 4G indican las siguientes características:

- Para el acceso radio abandona el acceso tipo CDMA característico de UMTS.
- Uso de SDR (*Software Defined Radios*) para optimizar el acceso radio.
- La red completa prevista es todo IP.
- Las tasas de pico máximas previstas son de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente (con un ancho de banda en ambos sentidos de 20Mhz).
- Los nodos principales dentro de esta implementación son el (BTS evolucionada), y el *'System Access Gateway'*, que actuará también como interfaz a Internet, conectado directamente al *Evolved Node B*.

El servidor RRM será otro componente, utilizado para facilitar la Interoperabilidad con otras tecnologías.

- La compañía Telefónica hace pruebas constantes que le permitan informar a sus usuarios y al resto del mundo su compromiso bidireccional con la tecnología 4G, es decir, en la que tanto usuarios registrados como potenciales clientes puedan disfrutar de todas las comodidades necesarias con el objetivo de tener una comunicación móvil rápida y efectiva.
- La actualización del sistema de telefonía móvil de Telefónica también conocida como tecnología LTE, está programada para abordar a la casi totalidad de abonados en las redes de Telefónica con respecto al servicio móvil, lo que obviamente redundaría no sólo en la calidad del servicio y el número de nuevos inscritos, sino en la conformación del territorio español como un centro de operaciones tecnológicas realmente avanzado a nivel mundial. Por supuesto que las ventajas ofrecidas por la generación 4G de la telefonía móvil de Telefónica son ineludibles, y solamente son inciertas las posibilidades reales de financiación que las personas tengan con respecto al mejoramiento de las posibilidades de una nueva e integrada comunicación vía celular.

Dentro de las características técnicas más sobresalientes de la tecnología 4G o de cuarta generación para la telefonía móvil está el envío de datos a una velocidad considerable de 50 megas y una descarga de los mismos al doble de esta velocidad, con lo que se acentúa uniformemente el grado de compatibilidad entre rendimiento y renovación que la empresa ha prometido dentro de sus estructuras tecnológicas.

Por lo demás, también vale la pena asimilar o tener en cuenta que con esta nueva incorporación de servicio a la red de Telefónica, se da un paso muy importante y provechoso en cuanto a las descargas por telefonía celular con la utilización de la tecnología TLE.

Por ejemplo, para la descarga entera de 1G, era necesario en el 2001 gastarse alrededor de tres desesperantes horas, pero con la aplicación de la intervención 4G de Telefónica en telefonía móvil, es posible hacer esta misma operación en tan sólo 54 segundos.

Mayor velocidad, cobertura, planes de atención programada y unos costos que se espera sean justos y congruentes con la verdadera capacidad de pago de los clientes, es lo que la nueva tecnología 4G en telefonía móvil de Telefónica está por ofrecer. No hay que olvidar que la compañía por ahora ofrece otro novedoso servicio de capacidad dentro de la tecnología móvil con el establecimiento de la red HSDPA+, que permite a los usuarios de telefonía móvil un uso representativo de 80 megas de transmisión de datos por segundo.

3.9.1 Ventajas

En los próximos años serán muy habituales las llamadas a través de Internet. La tecnología 4G permitirá que los teléfonos funcionen en Internet. Por ejemplo, se podrá llamar utilizando la señal Wi-Fi. Esto será mucho más económico para las empresas.

Además, la tecnología 4G permitirá que se hagan habituales las videoconferencias, debido a la alta calidad con la que se podrán establecer video llamadas. Favorecerán sin duda el teletrabajo, ya que un tele-trabajador podrá tener una comunicación bastante directa con el resto del personal, con el subsiguiente ahorro de espacio y oficinas.

El hecho de que el tele-trabajador pueda descargarse desde casa datos y vídeos a mayor velocidad también supondrá un ahorro económico, además de una optimización significativa del trabajo.

Celebrar reuniones, una conferencia de prensa, o incluso una junta será más fácil, por lo que se hará más habitual que ahora conectarse mediante videoconferencia a la otra punta del globo. El tener que acudir físicamente a lugares remotos se reducirá notablemente, salvo para casos de enorme necesidad. La ventaja es doble, pues además de ahorrar dinero, no se necesita perder tiempo en los desplazamientos.

La mayor calidad de la comunicación es, sin duda, un gran avance para evitar la distorsión de datos. El ponerse de acuerdo con cada interlocutor es mucho más sencillo si mejora la calidad del sonido, que será muchísimo mejor a partir de ahora que la calidad que ofrece la telefonía fija. Las imágenes serán también de una gran nitidez.

Figura 14. **Antenas de comunicación WiMAX.**



Fuente: *Características WiMAX*. www.ewimax2.blogspot.com

Consulta: 20 de agosto de 2014

3.9.2 Desventajas

Pero no todo va a ser positivo. De momento, la principal pega es que tardará mucho en implantarse. En algunos países podría generalizarse en 2020 o incluso más tarde. Además, requerirá que las operadoras inviertan en infraestructuras. Mientras haya pocos usuarios, los precios pueden ser demasiado altos, lo que hace prescindible este tipo de tecnología, si no se necesita utilizar los servicios de datos en el móvil.

Todas estas desventajas desaparecerán con el tiempo, como ocurrió en el caso del 3G. Pero el proceso de adaptación y de paso de un sistema a otro puede alargarse innecesariamente.

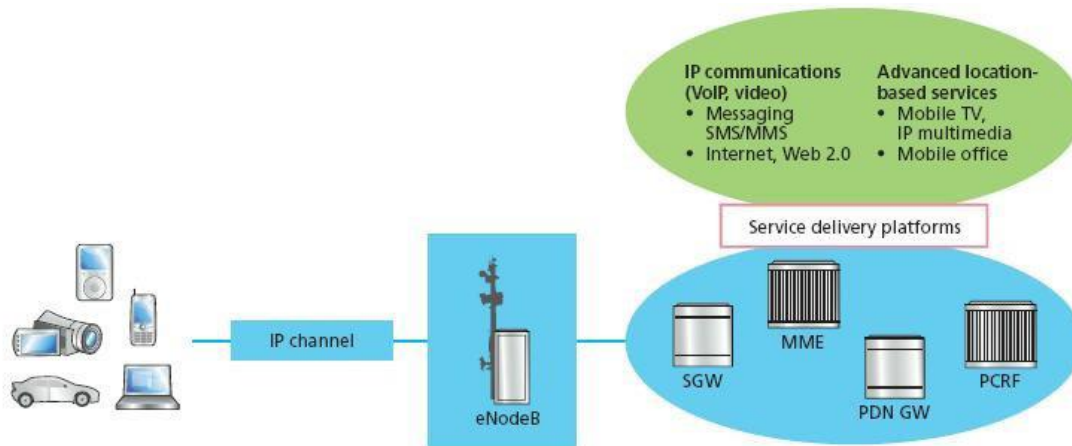
3.9.3 Arquitectura

El Core de conmutación de paquetes para las redes 4G del 3GPP ha sido rediseñado y llamado *System Architecture Evolution* (SAE) o también EPS (*Evolved Packet System*). SAE logra interconectar diversas redes de acceso, que en algunas ocasiones pueden ser heterogéneas entre ellas. La arquitectura SAE diferencia redes de acceso 3GPP y no-3GPP:

- Red 3GPP: Cuentan con el HSS como la base de datos de información del suscriptor y se conectan a redes externas a través de un Gateway de Paquetes (PDG, *Packet Data Gateway*).
- Red no-3GPP: Utilizan un servidor AAA 3GPP que se comunica también al HSS para coordinar la información necesaria. También usan el PDG para conectarse a redes externas.

La SAE sigue los mismos parámetros de diseño de las redes 3GPP antecesoras, sin embargo divide las funciones del *Gateway* de Control (SGSN en UMTS) en un plano de control comandado por el MME (*Mobility Management Entity*) y un plano de usuario liderado por el SGW (*Serving Gateway*). Las funciones originales del GGSN son implementadas por el PDN *Gateway* (PGW).

Figura 15. **Esquema del SAE.**



Fuente: *Long Term Evolution*. www.wikitel.info/wiki/Long_Term_Evolution

Consulta: 28 de Agosto de 2014

3.10 Calidad de servicio en 4G

Las tecnologías de QoS le permiten cubrir los requisitos de servicios de una carga de trabajo o una aplicación al medir el ancho de banda de red, detectar los cambios en las condiciones de red (por ejemplo, congestión o disponibilidad de ancho de banda) y clasificar por orden de prioridad (o limitar) el tráfico de red.

QoS se puede usar, por ejemplo, para clasificar el tráfico por orden de prioridad en aplicaciones dependientes de la latencia (como las aplicaciones de *streaming* de voz o vídeo) y para controlar el impacto del tráfico dependiente de la latencia, como las transferencias masivas de datos.

- Administración del ancho de banda
- Clasificación y etiquetado
- Control de flujo basado en prioridades
- QoS basada en directiva y QoS de Hyper.

3.10.1 Control de calidad de servicio (QoS)

Que una comunicación suministre las aplicaciones que el abonado espera, a la velocidad prometida y con la funcionalidad anunciada, depende de la calidad del servicio (QoS).

Este concepto forma parte del Reglamento de las Telecomunicaciones Internacionales (RTI), en el que se estipula que las administraciones deberán “cooperar en el establecimiento, la explotación, el mantenimiento de la red internacional para proporcionar una calidad de servicio satisfactoria” y que procurarán “proporcionar y mantener en la medida de lo posible la calidad mínima de servicio”.

De conformidad con el tratado, la UIT ha publicado manuales y cerca de doscientas normas técnicas (denominadas “Recomendaciones”) sobre la QoS, que están actualmente en vigor.

Se abordan parámetros tales como:

- La velocidad (caudal de datos) de las redes de acceso.
- La congestión de las redes troncales.
- El retardo en la transmisión (latencia).
- La variación del retardo (fluctuación de fase).
- La pérdida de información durante la transmisión.

Sin embargo, desde la aprobación del RTI en 1998 ha surgido un problema importante a la hora de determinar la QoS. Se han abandonado drásticamente las redes tradicionales basadas en canales de servicio especializados y las redes separadas para cada servicio. Hoy en día, la tendencia es utilizar una misma infraestructura, basada en el protocolo internet (IP), para suministrar todos los servicios – ya sea voz, vídeo o datos – y, cada vez más, un mismo dispositivo.

Antes las redes nacionales de terminación compartían la responsabilidad de la QoS en las comunicaciones internacionales. Sin embargo, en las redes modernas por paquetes los parámetros de calidad están en su mayoría por definir y ya no está nada claro sobre quién recae la responsabilidad de la QoS. En el entorno IP, los servicios son fundamentalmente aplicaciones que se ejecutan en el equipo del usuario, y las redes en sí no pueden controlar plenamente la calidad de extremo a extremo de los servicios suministrados.

El problema resulta cada vez más urgente debido al espectacular aumento de las comunicaciones móviles que pueden comprender conexiones híbridas con redes y terminales alámbricos. A esto cabe añadir que las redes están cada vez más congestionadas debido al auge del tráfico de datos (especialmente el vídeo). Se necesitan nuevas formas de enfocar la estructura de los actuales sistemas de comunicaciones.

Para seguir ofreciendo una QoS adecuada, los operadores de red y los proveedores de servicio podrían construir más infraestructura, pero ello exige inmensas inversiones para atender el colosal aumento del tráfico esperado.

Otra solución consiste en gestionar el tráfico: hacer los sistemas más eficientes, a la vez que se restringe el volumen de datos que puede enviarse y se establecen prioridades tanto en el emisor como en el receptor. Las formas en que se podría – o se debería – restringir el tráfico se aborda en los debates sobre la “neutralidad de la red”.

3.10.2 Neutralidad de La Red

El tráfico siempre se ha gestionado, por ejemplo para dar prioridad a las comunicaciones de emergencia. Sin embargo, suscitan cierta inquietud los métodos que afectan a la calidad del servicio que se ofrece a los consumidores.

Por ejemplo, determinados tipos u orígenes de tráfico pueden verse favorecidos con respecto a otros, o quedar totalmente bloqueados.

Los proveedores de servicio Internet (PSI) y las empresas que suministran aplicaciones o contenido podrían alcanzar acuerdos para ofrecer una mejor QoS en sus transmisiones por la Red, lo que iría en detrimento de otros clientes. Por otra parte, también existen los servicios “en la parte superior” (OTT), tales como Skype, que se ejecutan “por encima” del acceso básico a Internet. Los operadores podrían aplicar tasas con el fin de reservar un porcentaje de capacidad para estos servicios, capacidad que no estará disponible para el acceso general a Internet.

Estas tendencias podrían dificultar o ralentizar el acceso a ciertos sitios web o servicios en línea.

Así, ¿deberían los operadores de redes IP tratar de obtener ingresos ofreciendo una mayor QoS a precios más elevados, aun cuando ello afecte al acceso general a Internet?

En las directrices de prácticas óptimas para permitir el acceso abierto³, formuladas por el Simposio Mundial para Organismos Reguladores de la UIT, se recomienda que los reguladores solo puedan establecer diferencias cuando sean objetivamente justificables. Muchos reguladores están haciendo consultas públicas sobre las prácticas que distinguen entre la forma en que se tratan los diversos flujos de datos.

Por otra parte, deben tomarse en consideración las repercusiones financieras en sentido más amplio. Es indispensable obtener ingresos para sufragar la expansión de las redes, que luego contribuirán al crecimiento económico general. No obstante, según algunos estudios, es probable que los operadores ya no puedan conseguir los ingresos necesarios exclusivamente mediante el suministro de redes troncales o de acceso. En cambio, cada vez se obtienen más ingresos de los servicios OTT.

Ya que los servicios OTT (over-the-top) son los que se brindan través de internet, pero estos no necesitan elevadas inversiones ni requieren de infraestructura o espectro y no están sujetos al marco regulatorio de los operadores.

Se han formulado propuestas para revisar el RTI (reglamento de telecomunicaciones internacionales) con el fin de atender estos cambios en la tecnología y el mercado para ayudar a los países a alcanzar nuevos niveles de desarrollo económico y social. Las decisiones que se tomen en materia de QoS y neutralidad de la red podrán afectar al futuro desarrollo del acceso a Internet y a la calidad que podremos percibir en línea.

4. REDES WIMAX

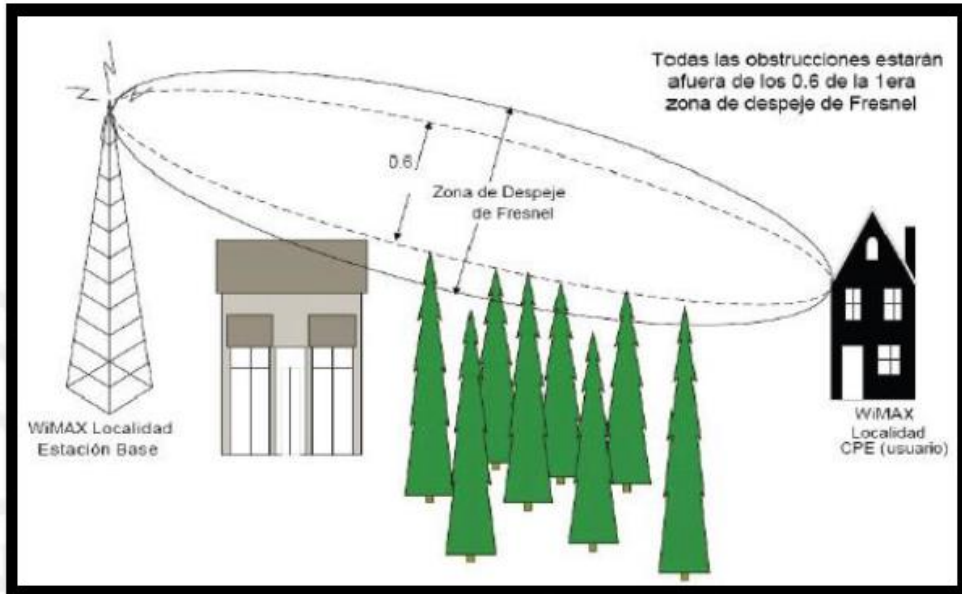
4.1 Visión general de WiMAX

WiMAX (*World Interoperability for Microwave Access* – Interoperabilidad mundial para acceso por microondas). También conocida como IEEE 802.16, es la tecnología estandarizada para redes de comunicación que permite el acceso inalámbrico de última milla. Además de representar una alternativa a las tecnologías de acceso de última milla fijas como el DSL y cable, permite el acceso móvil de banda ancha teniendo una amplia área de cobertura.

A diferencia del estándar Wi-Fi, WiMAX es una tecnología diseñada para cubrir grandes distancias con un gran ancho de banda; es una alternativa confiable para ofrecer servicios de banda ancha con calidad de servicio(QoS) en zonas donde el medio de transmisión físico (cable, cobre, fibra óptica) es de difícil implementación; debido al coste que produce o por la baja densidad poblacional como por ejemplo en zonas rurales, donde en la actualidad en nuestro país se instala la “banda ancha” por satélite.

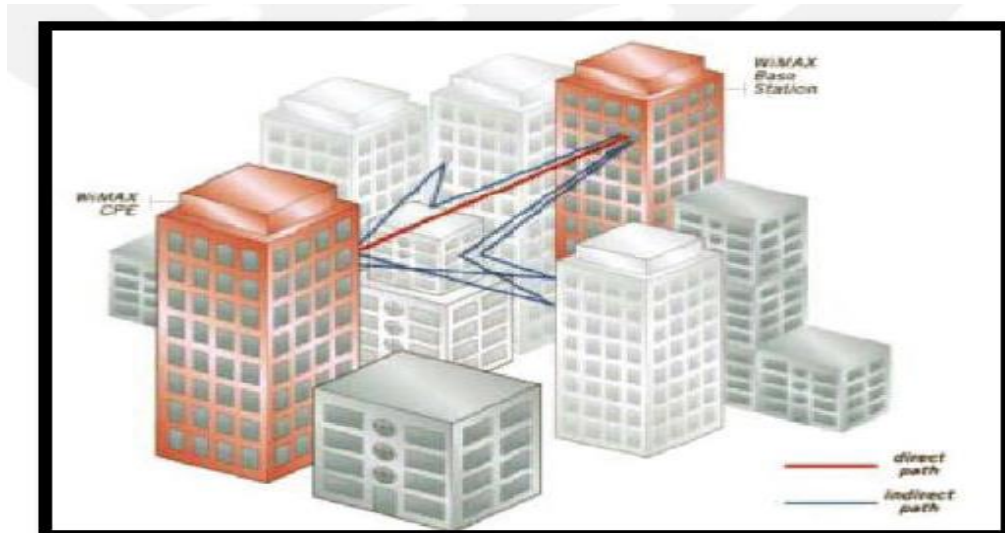
WiMAX ofrece enlaces de PtP(*Punto a punto o “backhaul”*) de hasta 50km con capacidades de hasta 72 Mbps con LOS (línea de vista) y a su vez rangos de NLOS(sin línea de vista) de hasta 7 km para la distribución PtMP (punto a multipunto).

Figura 16. Esquema de propagación LOS



Fuente: *Modelo de propagación del canal.* www.wimaxforum.org Consulta: agosto de 2014

Figura 17. Esquema de propagación NLOS



Fuente: *NLOS y LOS de WiMAX.* www.wimaxforum.org Consulta: agosto de 2014

Como ya se mencionó, WiMAX está diseñado para operar tanto en los espectros de bandas con licencia como en los espectros de bandas sin licencia, mismos en los que opera WiFi, pero a diferencia de este último, WiMAX no requiere línea de vista para funcionar con un rendimiento óptimo, y no está limitado a una docena de usuarios por punto de acceso. WiMAX puede entregar acceso a Internet ultra rápido a varios kilómetros de distancia.

También se espera que WiMAX resuelva los problemas de conectividad rural, ya que es adecuado para lugares remotos que no tienen una infraestructura establecida de redes cableadas o líneas telefónicas. WiMAX tiene el potencial de proporcionar acceso a Internet generalizado que puede ser empleado para un crecimiento económico, mejor educación, salud, y mejorar los servicios de entretenimiento. En general, WiMAX se puede describir como la base de la evolución de la banda ancha inalámbrica, en vez de una simple implementación de tecnología inalámbrica.

Con el continuo desarrollo de la tecnología, se espera muy pronto ver la tecnología WiMAX en cámaras digitales, iPods, teléfonos móviles, computadoras y PDAs, por mencionar algunos.

4.2 El foro WiMAX

Actualmente, esta tecnología es impulsada por la organización WiMAX Forum, formada por un conjunto de más de 250 empresas cuyo propósito es certificar y promover la compatibilidad e interoperabilidad de los productos inalámbricos de banda ancha basados en el estándar IEEE802.16. Uno de sus principales propósitos es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado.

Figura 18. **Logo Wimax Forum**



Fuente: *Fórum WiMAX*. www.wimaxforum.org Consulta: 14 de julio de 2014

El foro WiMAX tiene más de quinientos veintidós miembros, entre los que se encuentran fabricantes de sistemas y semiconductores, operadores de red, instituciones académicas y otras organizaciones de telecomunicaciones. Algunos miembros del foro WiMAX son mostrados en la tabla X.

Tabla X: **Algunos miembros del foro WiMAX.**

Fabricantes	Proveedores de servicio
Airspan, Alcatel, Alvarion, Broadcom, Cisco, Ericsson, Fujitsu, Huawei, Intel, LG, Lucent, Motorola, Navini, Nortel, NEC, Proxim, Sagem, Samsung, Sequans, Siemens, ZTE, etc.	British Telecom, France Telecom, KT (Korea Telecom), PCCW, Sprint, Nextel, Telmex, etc.

Fuente: *Forum WiMAX*. www.wimaxforum.org Consulta: 14 de julio de 2014

4.3 Características sobresalientes de WiMAX

WiMAX es una solución de banda ancha inalámbrica, que ofrece un amplio conjunto de características con una gran flexibilidad en términos de opciones de despliegue y oferta de servicios. Algunas de las características más importantes que merecen ser resaltadas son las siguientes:

- Utiliza la modulación OFDM la que permite la transmisión en distintas frecuencias simultáneamente. Utiliza espaciamiento ortogonal con lo que se puede garantizar que no exista interferencia entre frecuencias.
- Soporta mecanismos de antenas inteligentes (MIMO - *Multiple-Input Multiple- Output*) que mejoran la eficiencia espectral en sistemas inalámbricos y distintos tipos de antenas.
- Soporta redes PtMP (Punto a Multipunto) y PtP (Punto a Punto).
- Es capaz de implementar calidad de servicio (QoS) para los operadores NLOS sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios y otras posibles causas de interferencia.
- Soporta las multiplexaciones TDM (*Time Division Multiplexing*) y FDM (*Frequency Division Multiplexing*), tal que permite la interoperabilidad entre los sistemas móviles (FDM) y los inalámbricos (TDM).
- Como medidas de seguridad, incluyen mecanismos de criptografía y seguridad propios del sistema.
- Posee un ajuste dinámico del tamaño del paquete de transmisión.

- Tiene aplicaciones de voz, datos y video.
- Un sistema que implementa IEEE802.16 (WiMAX) presenta técnicas de modulación adaptativa dependiendo de las condiciones de la relación señal a ruido (SNR).
- Técnicas como FEC (*Forward Error Correction*), codificación convolutiva, y otros algoritmos son usados para poder detectar y corregir errores, tal que ayudan a mejorar la SNR. Se incorpora, además, el ARQ (*Automatic Repeat reQuest*), para solucionar los errores que no puede solucionar la FEC.
- Se implementan algoritmos de control de potencia en las estaciones base de manera que sea posible regular los niveles de potencia en las SS (o CPE), de forma que la potencia recibida por la BS sea ya predeterminada. Con esto se logra un ahorro de la potencia consumida por parte de los CPE'.

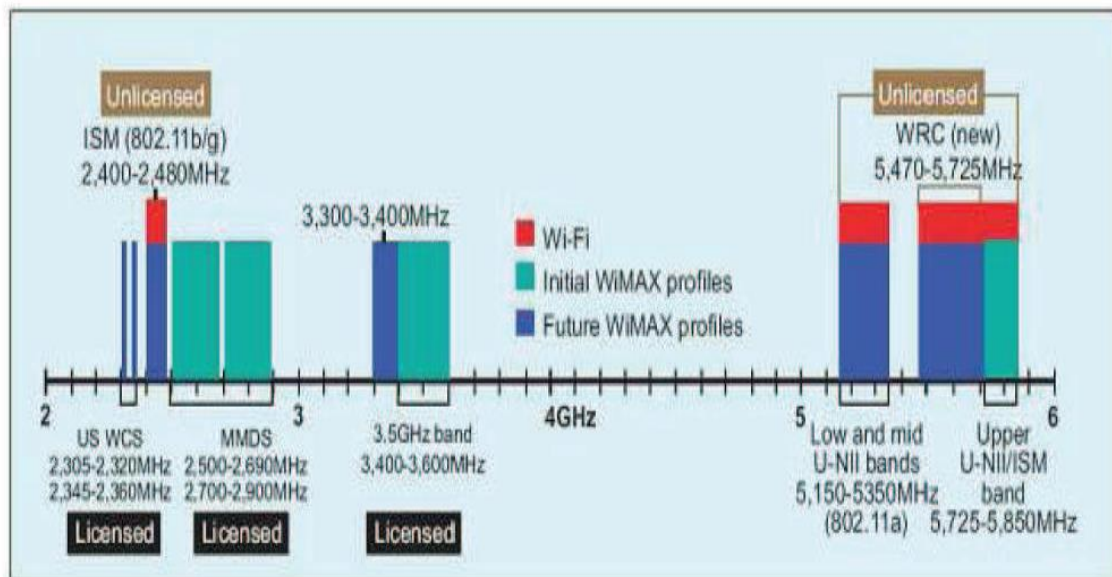
4.4 Espectro de frecuencia

WIMAX puede trabajar en bandas de frecuencia con licencia y sin licencia. Dentro de las bandas licenciadas se encuentran: La banda de 3.5GHz, la misma que tiene un ancho de banda de 300 MHz para el rango de 3.3 a 3.6 GHz; la banda WCS (*Wireless Communication Service*) que presenta dos bandas de 15 MHz que van de 2305 a 2320 y de 2345 a 2360 MHz; la banda MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*), la cual incluye 31 canales de 6 MHz en el rango de 2500 a 2690 MHz.

Las bandas no licenciadas son las bandas ISM (*Industrial-Scientific-Medica*) comprendidas de la siguiente manera: 902 – 928 MHz, 2.4 – 2.4835GHz, 5.725 GHz y la banda UNII (*Universal Networking Information Infraestructure*) la cual se divide en cuatro rangos 5150 – 5250 – MHz, 5250 – 5350 MHz, 5470 – 5725 MHz y 5725 – 5850 MHz.

Las bandas de frecuencia que utiliza WiMAX Fijo son 3.5 y 5.8 GHz y WiMAX Móvil 2.3 y 2.5 GHz, estas bandas son las más probables para el despliegue de WiMAX

Figura 19. **Espectro utilizado por la Tecnología WiMAX**



Fuente: *Espectro WiWAX*. www.redeswimax.jimdo.com

Consulta: 8 de septiembre de 2014

En la tabla XI se presentan las bandas de frecuencia en las que puede operar WiMAX, definiendo para cada banda, línea de vista y tipo de acceso.

Tabla XI. **Bandas de frecuencia para IEEE 802.16**

BANDA DE FRECUENCIA	LICENCIA	LOS / NLOS	TIPO DE ACCESO
10 - 66 [GHz]	No	LOS	Fijo
< 11 [GHz]	Si	NLOS y LOS a distancias cortas	Fijo
5 - 6 [GHz]	No	NLOS	Fijo y nómada
2 - 6 [GHz]	Si	NLOS	Fijo y Móvil

Fuente: *Espectro WiWAX*. www.redeswimax.jimdo.com

Consulta: 8 de septiembre de 2014

A continuación se presenta una descripción general del estándar 802.16e y 802.16m en la cual se basa Mobil WiMAX 2.0 respectivamente. Cabe recalcar que de acuerdo a la ITU, Mobile WiMAX puede ser considerada 4G ya que es una tecnología próxima a evolucionar a WiMAX 2.0 aunque este es un argumento que no concuerda necesariamente con las normas IMT –*Advanced*.

4.5 Cobertura

WiMAX al ser inicialmente una tecnología inalámbrica de acceso fijo fue una de las primeras soluciones para brindar conectividad inalámbrica de banda ancha en sectores donde se dificultaba la transmisión de información a través de cables. Es por ello que desde este punto de vista WiMAX se utiliza a nivel mundial; a continuación se presenta una tabla en la que se muestra el radio de cobertura que ofrece WiMAX en sus distintas versiones.

Tabla XII. **Cobertura de WiMAX**

	802.16	802.16a	802.16e
Radio de cobertura de una celda típica	2 – 5 km aprox.	5 – 10 km aprox.	2 – 5 km aprox.

Fuente: *Espectro WiMAX*. www.redeswimax.jimdo.com

Consulta: 8 de septiembre de 2014

A nivel de tecnología celular como tal, WiMAX en su versión 2.0 aún no se encuentra desplegada a nivel mundial y aunque todavía se encuentra en pruebas tanto a nivel de red como de dispositivos de usuario y es por ello que no se presenta una gráfica de los países donde estaría operando.

4.6 Aplicaciones de WiMAX

Las aplicaciones que usan una solución inalámbrica WiMAX pueden ser clasificadas como punto multi-punto, mesh y móviles.

Las aplicaciones punto multi-punto (Figura 4.1) incluyen por ejemplo:

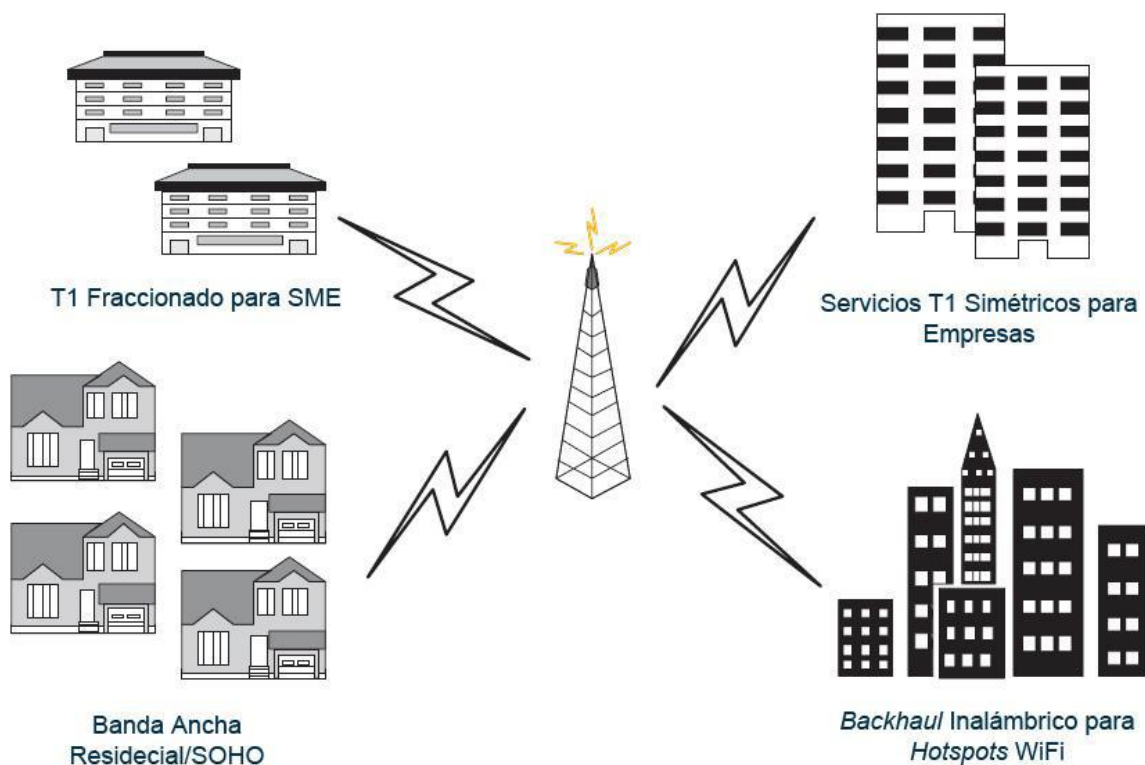
- Conectividad entre edificios empleando un *backhaul*.
- Banda ancha para zonas residenciales y pequeñas oficinas u oficinas en el hogar (SOHO).
- Servicios T1 simétricos para empresas de negocios.
- Servicios T1 fraccionados para pequeñas y medianas empresas (SME).
- *Backhaul* inalámbrico para *hotspots WiFi*.
- En los sistemas inteligentes de transporte (ITS), caracterizados por largas distancias y múltiples “saltos” en la comunicación, la redes mesh son buenas candidatas para soportar varios tipos de aplicaciones ITS.

- Las aplicaciones móviles que se pueden considerar son por ejemplo:
- Conectividad para usuarios en autobuses a través de un *hotspot*.
- Conexión en automóviles, para brindar servicios de localización y mantenimiento a distancia.
- Servicios de conectividad en trenes, etc.

4.6.1 Sistemas punto multi-punto (PMP)

Una de las más grandes aplicaciones de WiMAX en un futuro cercano, probablemente el acceso de banda ancha para zonas residenciales, SOHO y mercados SME. Los servicios de banda ancha de WiMAX siempre pueden incluir acceso a Internet de alta velocidad, servicios de telefonía mediante VoIP y un sin número de otras aplicaciones basadas en Internet. La banda ancha inalámbrica fija ofrece varias ventajas sobre las tradicionales soluciones cableadas. Estas ventajas incluyen menores costos, más rápido y fácil despliegue, reutilización, la habilidad para construir la red de acuerdo a las necesidades, menores costos de operación, administración y mantenimiento de la red.

Figura 20. **Aplicaciones WiMAX punto multi-punto.**



Fuente: *WiMAX*. www.healthinformatics.wikispaces.com Consulta: 12 de agosto de 2014

Desde la perspectiva de un CPE (*Customer Premise Equipment*), dos tipos de modelos de despliegue pueden ser empleados para los servicios de banda ancha inalámbrica fija, en las zonas residenciales, SOHO y mercados SME. Un modelo requiere la instalación de una antena exterior del lado del cliente, el otro utiliza un radio módem con la antena incluida, que el cliente puede instalar en el interior, como una instalación tradicional de DSL o Cable Módem. Utilizando antenas exteriores se mejora el enlace de radio, y por lo tanto el rendimiento del sistema.

Este modelo permite coberturas de área más grandes por parte de la BS. Sin embargo, una antena exterior implica costos más grandes del lado de la SS.

Por otra parte, una instalación interior del lado del cliente, permitirá también un modelo de negocios que puede explotar la venta por mayoreo y distribución del canal, y ofrecer a los clientes una variedad de opciones.

Una gran oportunidad para WiMAX en los mercados desarrollados, es la de funcionar como una solución competitiva para servicios T1/E1, servicios T1/E1 fraccionados, o servicios de mayor velocidad para el mercado empresarial. Dado que solo una pequeña fracción de los edificios comerciales a lo ancho del mundo tiene acceso a redes de fibra óptica, hay una clara necesidad de una solución alternativa de servicios de banda ancha para los clientes empresariales.

En el mercado de los negocios, hay una demanda por servicios T1/E1 simétricos, que tanto DSL y Cable Módem no han podido satisfacer hasta ahora, debido principalmente a los requerimientos técnicos. Las soluciones de banda ancha fija utilizando WiMAX, pueden competir potencialmente en este mercado y pueden ser mejores opciones sobre las soluciones de línea terrestre, en términos de comercialización, precio y abastecimiento dinámico de ancho de banda.

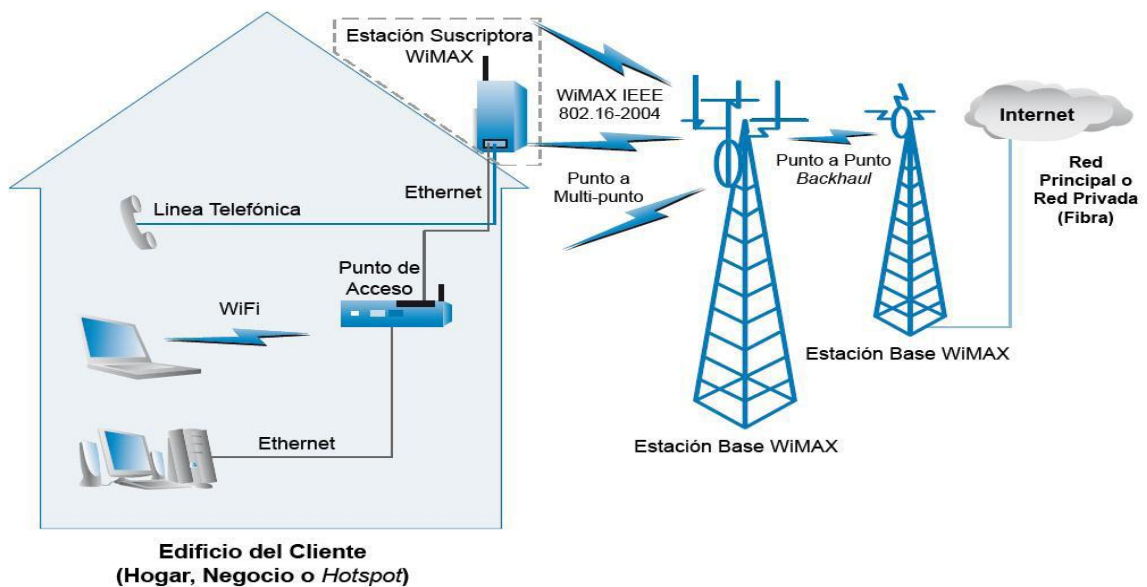
Otra oportunidad interesante para WiMAX en el mundo desarrollado, es el potencial que tiene para servir como conexión *backhaul* inalámbrica, en el floreciente mercado de los *hotspots WiFi* (). En los Estados Unidos y en otros mercados desarrollados, un creciente número de *hotspots WiFi* están siendo desplegados en áreas públicas, como centros de convenciones, hoteles, aeropuertos y cafeterías. Se espera que los despliegues de *hotspots WiFi* continúen creciendo en los próximos años.

La mayoría de los operadores de *hotspots WiFi*, actualmente usan conexiones de banda ancha cableadas para conectar los *hotspots* a un punto de red.

Usando las capacidades de transmisión punto multi-punto de WiMAX, para servir como un enlace backhaul para los hotspots, puede mejorar sustancialmente el negocio de los hotspots WiFi y proporcionar más adelante un impulso para el despliegue de los hotspots.

También, en aquellos países que cuentan con una buena infraestructura cableada, la banda ancha inalámbrica fija es más probable que sea usada en áreas rurales sin servicio, ya que las instalaciones de cable tradicionales son mucho más costosas. La alternativa es utilizar la banda ancha inalámbrica fija, como backhaul inalámbrico para hotspots WiFi y así poder satisfacer las necesidades de comunicación de dichas áreas.

Figura 21. **Backhaul inalámbrico WiMAX.**



Fuente: *Tecnología WiMAX* www.sx-de-tx.wikispaces.com

Consulta: octubre de 2014

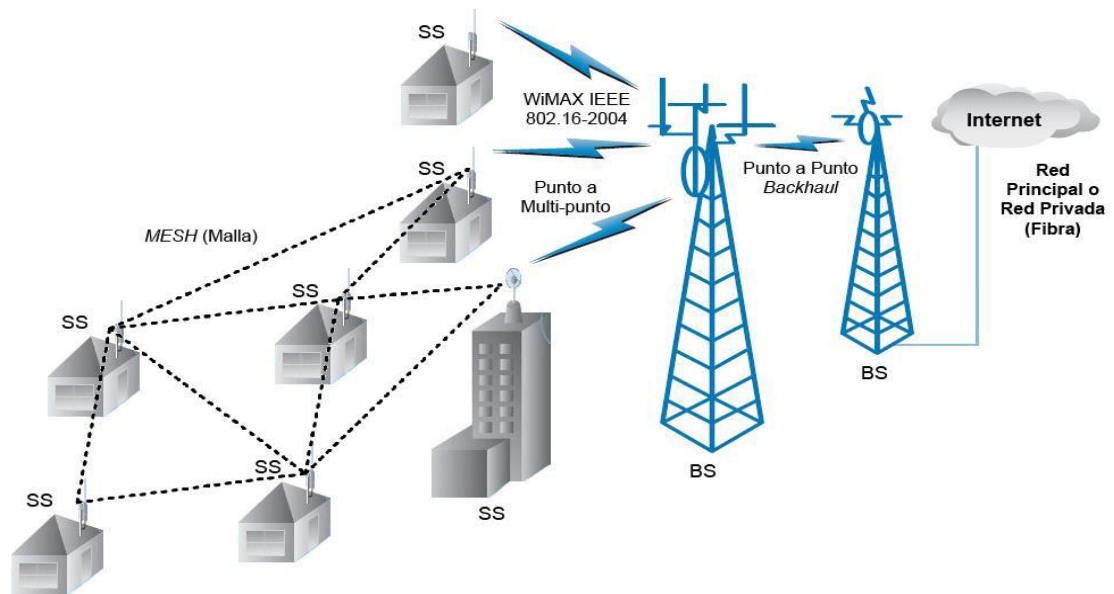
4.6.2 Sistemas mesh

Otra gran oportunidad para WiMAX fijo son las redes mesh. Las aplicaciones PMP son una topología centralizada, donde la BS es el centro del sistema. Por el contrario, en una red mesh esto no es así. Los elementos que componen una red mesh son llamados “nodos”, por ejemplo; una SS en una red mesh es un nodo.

En una red mesh, cada nodo puede crear su propia comunicación con otro nodo vecino de la red. Así, en una red mesh, cada nodo puede actuar como un ruteador simple. Esto no restringe la comunicación de las SSs solamente con la BS. De este modo, la mayor ventaja de las redes mesh, es que el alcance de una BS puede ser mucho mayor, dependiendo del número de “saltos” hasta la SS más distante. Este alcance tiene la capacidad de rodear grandes obstáculos como una montaña, la cual puede bloquear una SS del alcance de una BS.

Cada nodo de una red mesh puede tener varios vecinos, creando múltiples rutas para la comunicación entre dos dispositivos. Es por ello que las redes mesh son tolerantes a fallas, es decir que si falla un nodo de la red o si una interferencia ocurre entre una comunicación, la red continúa operando. Simplemente los datos son enviados a lo largo de una ruta alterna. Por otro lado, el empleo de redes mesh trae consigo el estudio de otro tema de investigación, el ruteo en las redes Ad-hoc (sin infraestructura).

Figura 22. **Red mesh WiMAX**



Fuente: Tecnología WiMAX www.sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX

Consulta: octubre de 2014

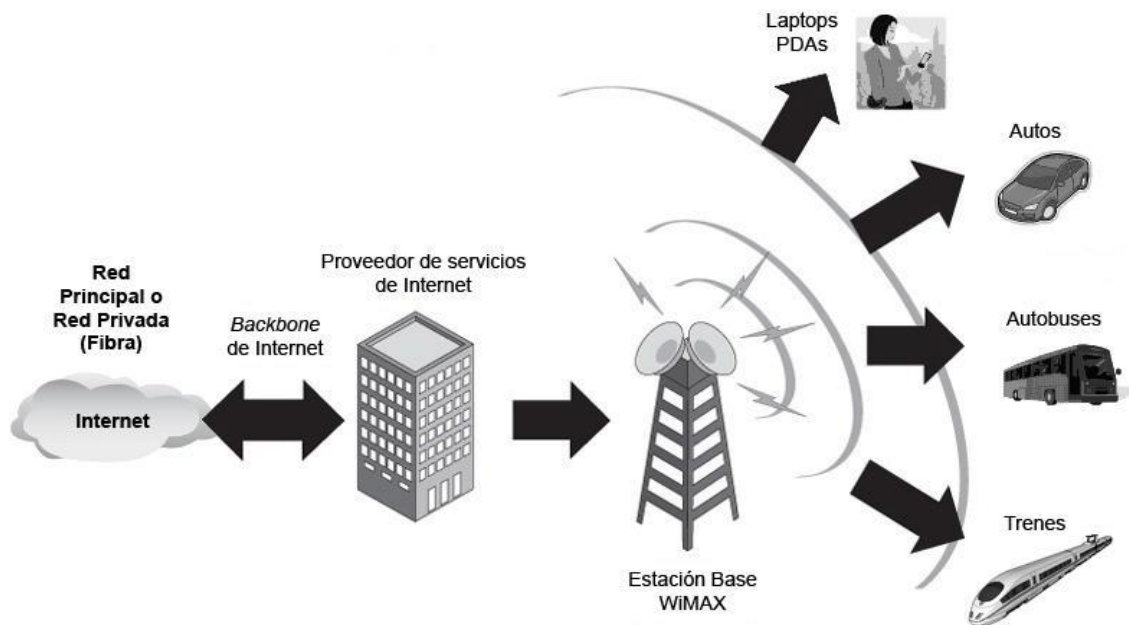
4.6.3 Sistemas móviles

Aunque los despliegues iniciales de WiMAX son probablemente para aplicaciones fijas, el potencial completo de WiMAX será realizado sólo cuando se use para innovadoras aplicaciones de banda ancha móvil, como se muestra en la Figura 1.4. Como los usuarios finales están acostumbrados a la banda ancha de alta velocidad en el hogar y en el trabajo, demandarán servicios similares en el contexto nomádico y móvil y muchos proveedores de servicio podrían usar WiMAX para satisfacer ésta demanda.

El primer paso hacia la movilidad pudiera darse simplemente agregando capacidades nomádicas a la banda ancha fija.

Proveer servicios WiMAX a dispositivos portátiles, permitirá a los usuarios la experiencia de la banda ancha no solo en el hogar o en el trabajo, sino que también en otras ubicaciones.

Figura 23. **Sistemas móviles**



Fuente: Sistemas Móviles www.radioenlaces.es

Consulta: 2 de octubre de 2014

En muchas partes del mundo, existen empresas de telecomunicaciones con líneas fijas, que no tienen sus propios sistemas celulares y que podrían mirar hacia WiMAX para proporcionar servicios móviles. Como la industria se mueve a lo largo de una ruta para ofrecer juegos de servicios cuádruples (voz, datos, video y movilidad), algunos proveedores de servicios que no ofrecen servicios móviles a su cartera de clientes, probablemente encuentren a WiMAX como una atractiva alternativa.

Adicionalmente al acceso a Internet de alta velocidad, WiMAX móvil puede ser usado para proporcionar servicios de voz sobre IP. Tanto operadores ya existentes como nuevos están intentando usar WiMAX para ofrecer servicios personales de banda ancha diferenciados, tal como entretenimiento móvil.

Los canales de ancho de banda flexibles y el soporte de múltiples niveles de QoS, permitirán que WiMAX sea usado por los proveedores de servicio, para aplicaciones de entretenimientos de banda ancha diferenciadas. Por ejemplo, WiMAX podría ser incluido dentro de los dispositivos de juegos portátiles, para ser usado en ambientes fijos y móviles por los juegos interactivos. Entre otros ejemplos se tienen, servicios de audio para reproductores MP3 y servicios de video para reproductores multimedia portátiles.

4.7 Mobile WIMAX IEEE.802.16e

En el año 2005 se desarrolló la versión de WiMAX Móvil, más conocido como Mobile WiMAX, basándose en el estándar 802.16e-2005. Presenta movilidad, con velocidades de transmisión de hasta 15 Mbps en frecuencias interiores a 6 GHz. Este estándar aparece como una mejora al estándar 802.16d-2004 y permite la operación combinada de aplicaciones fijas y móviles para bandas de frecuencia con licencia. Permite el desplazamiento del usuario de un monto similar al que se presenta en GSM/UMTS, actualmente compite con la tecnología LTE versión 8. La mitad de la revisión 80.16e trata sobre la capa física OFDMA, que se adapta para incorporar la movilidad. Hay que señalar que se introducen modificaciones en la capa física MAC y en el resto de la movilidad de la capa física.

4.7.1 Características relevantes de Mobile WIMAX

En esta sección se presentan las características representativas de la capa física (PHY) y la capa de acceso al medio (MAC) que permite a WiMAX Móvil ser una tecnología fuerte, fiable y adaptable a cualquier ambiente gracias al gran número de opciones que ofrece y que se mencionan a continuación.

Capa física (PHY):

- La capa física está basada en OFDM, un esquema que ofrece una buena resistencia al efecto multicambio (multipath) incluso en condiciones NLOS.
- Elevadas tasas de transmisión pico gracias a las técnicas de modulación y codificación adaptiva: así como uso de múltiples antenas y multiplicación espacial. Por ejemplo, utilizando un ancho de banda de 10 MHz y el esquema de dúplex TDD de 3:1 (3 tramas *Down link* - 1 trama *uplink*) la velocidad máxima en capa física es aproximadamente de 25 Mbps para *Down link* y 6.7 Mbps para *uplink*.
- Velocidad y ancho de banda escalable. Esta característica es única para IEEE 802.16e-2005 con el modo escalable OFDMA. Permite adaptar la velocidad con el ancho de banda del canal disponible, esto implica que habrán más sub-portadoras en el canal, obteniendo así un aumento en las velocidades de transmisión.
- Utiliza modulación y codificación adaptiva teniendo en cuenta la SNR (relación señal a ruido) que el receptor recibe en un instante. El termino adaptiva, significa que utiliza la mejor modulación y/o codificación para

cada sub-trama de usuario y de esta manera mejor notablemente la velocidad de transmisión.

- Soporte para técnicas de múltiples antenas. WiMAX permite incorporar antenas adicionales al transmisor/receptor. La velocidad se aumenta gracias a las técnicas de antenas avanzadas tales como: conformación de haz, codificación en espacio-tiempo y multiplicación espacial.

Capa de acceso al medio (MAC):

- WiMAX Móvil utiliza la técnica ARQ (*Automatic Repeat Request*) para retransmisiones en la capa de enlace. También posibilita la combinación entre FEC(*Forward Error Correction*) y ARQ es decir ARQ-*Hybrid*.
- IEEE 802.16e-2005 soporta dúplex FDD (*Frequency-Division Duplexing*) y TDD (*Time-Division Duplexing*). TDD será dúplex para el futuro de WiMAX ya que tiene mejor eficiencia espectral. Con el uso de TDD los enlaces pueden ser asimétricos lo que permite mayor flexibilidad para escoger las velocidades de *uplink* y *dowlink*, las ventajas de lo anterior son las que se aprovechan de la mejor manera los recursos del canal asignado y los equipos no son tan complejos.
- La asignación de ancho de banda a los usuarios en los canales de bajada y subida, es controlado desde la estación base gracias a software.

- La capa MAC tiene una arquitectura orientada a conexión que está diseñada para soportar varias aplicaciones, incluyendo servicios de voz y multimedia con múltiples conexiones. Las QoS de WiMAX ofrece tasa de bits constante, tasa de bits variable, flujo de tráfico en el tiempo no real, y tráfico de datos *best-effort* de manera que permiten adaptarse a los requerimientos QoS de cada conexión de usuario.
- WiMAX Móvil incluye una serie de mecanismos que permiten al usuario mantener una conectividad móvil, eficiente y muy robusta para aplicaciones tolerantes a los retardos tales como VoIP, especialmente en cambios de estación base (*handover*). También se especifican en el soporte para aplicaciones móviles técnicas como estimación de canales de frecuencia, ahorro de potencia, subcanalización de *uplink* y control de potencia.

4.8 WiMAX 2.0 IEEE.802.16m

La futura generación de WiMAX Móvil es WiMAX 2.0 tecnología que obedece a las normas del estándar IEEE 802.16m. Esta tecnología hará posible la transferencia de datos de manera inalámbrica a tasas teóricas de alrededor de 1Gbps en reposo y 100 Mbps en movimiento, requisitos establecidos por el estándar global que acoge a las futuras tecnologías de cuarta generación (4G). IMT-Advanced y WiMAX 2.0 soportan un extenso rango de aplicaciones y servicios de gran calidad y capacidad sobre IP, además, deberán mantener total compatibilidad con las versiones antiguas de WiMAX.

4.8.1 Características principales de IEEE 802.16.m

Dentro de los aspectos más destacados de IEEE 802.16m se pueden mencionar:

- Soporte para alta movilidad gracias a la adaptación al enlace, retardos menores en el acceso y mejor funcionamiento en el *handover*.
- Antenas MIMO: técnica avanzada con capacidades de flujo único y multi-flujo para cada usuario.
- Mayor eficiencia, menor sobrecarga y menores tiempos de latencia: esto conlleva un incremento en la capacidad del sistema.
- Reducción del consumo de potencia del dispositivo móvil.

Tabla XIII. **Características principales de IEEE 802.16m**

Frecuencia portadora	Banda con licencia por debajo de 6 GHz
Ancho de banda	5-20 MHz (superior a 100 MHz con la técnica de agregación de bandas).
Dúplex	Full-duplex, half-duplex FDD, TDD
Antenas	Enlace descendente ≥ 2 TX ³³ , 2 RX ³⁴ Enlace ascendente ≥ 1 TX, 2 RX
Latencia de la capa de datos	< 10ms
Latencia de la capa de control	< 100 ms
Tiempo de traspaso	Intrafrecuencia < 30 ms Interfrecuencia < 100 ms
Eficiencia espectral	2 – 4 bps/Hz (depende de la distancia entre estaciones base)
Movilidad	Velocidades de hasta 500 km/h con rendimiento óptimo para velocidades hasta 10 km/h

Fuente: Villar Pascual, Sonia. *Red de Acceso de Banda Ancha mediante WiMAX Móvil (IEEE 802.16e)*, España, Universidad de Madrid. p 74. Consulta: 20 de mayo de 2014.

Otros aspectos que integra la tecnología WiMAX 2.0 son:

- Uso de esquemas de transmisión bidireccional en tiempo y en frecuencia.
- Posibilidad de adaptarse a las diferentes clases de bandas IMT (de 4450 a 3600 MHz).
- Soporte para multiportadora y anchos de banda de hasta 100 MHz a través de la agregación de canales de radiofrecuencia.

5. MODELADO DE REDES

5.1 Modelado de redes

No fue hasta la evolución de las Redes de Área Local (con el desarrollo de las redes Ethernet y Token Ring) que el rendimiento de las redes de comunicaciones se convirtió en un tema de interés y de gran importancia. El cuestionamiento respecto a la eficiencia sucedió debido a la necesidad de soportar aplicaciones multimedia en redes de computadoras. Esta demanda ha permitido la introducción de nuevas técnicas y protocolos que han sido diseñados para manejar tasas de datos variable y constantes de manera simultánea con una alta calidad de servicio.

Los requerimientos para medir el análisis de eficiencia de las redes de comunicaciones incluyen principalmente:

- *MEAN ACCES DELAY* (retardo promedio de acceso)
Es el retardo promedio entre el momento en que el paquete está listo para ser transmitido hacia un nodo, hasta que el paquete es transmitido y recibido hacia su destino final (en este caso la estación base).
- *THROUGHPUT* (máxima capacidad de transmisión de datos)
Consiste en la tasa de datos que son transmitidos entre los nodos. El análisis es comúnmente hecho en términos del número total de bits transferidos en la capa WiMAX MAC (kbps, Mbps o como el porcentaje de la capacidad del canal).

- *UTILISATION* (utilización de la red)
Es la fracción de la capacidad total del canal que está siendo usado, (incluyendo datos, protocolos de encabezado, peticiones de reservación, retransmisión y colisiones).
- *PACKET LOSS* (paquetes perdidos)
Es la tasa de pérdida de paquetes que se tiene ya sea por interferencia, o por retardos excesivos. Las aplicaciones de tiempo real, como VoIP, videoconferencia, etc., requieren una pérdida de paquetes menor al 3% para que puedan ser soportados.

Estos son los requerimientos importantes en la evaluación de una red, de acuerdo a *Stallings*. Los resultados, para este tipo de parámetros, son generalmente mostrados como una función de la carga ofrecida (la cual es la carga actual o el tráfico demandado en la red) o como una función del número de estaciones activas transmitiendo tráfico en la red. Adicionalmente.

Otras propiedades que afectan el desempeño son :

- Capacidad del canal.
- Retardo de propagación.
- Número de bits por *frame*.
- Protocolo local de la red.
- Número de estaciones.

Los primeros tres factores listados arriba pueden ser vistos como parámetros que caracterizan la Red y generalmente son tratados como constantes.

Los protocolos locales de las redes son el punto principal en el diseño de técnicas para estudiar el comportamiento de una red y principalmente consisten tanto en el acceso al medio como en la capa física. Esta última no parece ser un factor relevante, ya que generalmente la información de datos es transmitida con un pequeño retardo.

La capa de acceso al medio tiene un efecto significativo en el desempeño de la red, los factores en la capa de acceso tienen que ver con el desempeño, como una función de la carga ofrecida y el número de estaciones activas. Un factor que no se menciona es la tasa de error del canal.

La alta complejidad envuelta en la solución para redes de colas permitió la formalización de métodos de aproximación tales como MVA (*Mean Value Analysis*), convolución y programación lineal. Dichos modelos tiene varias consideraciones, ejemplos de los cuales son tasas aleatorias de paquetes y un número definido de estaciones.

De acuerdo con la consideración aleatoria y el tráfico en redes de computadoras es congestionado con patrones que se distinguen porque se repiten en intervalos de tiempo específico. Por lo tanto puede ser útil, las consideraciones de los paquetes aleatorios ya que puede no ser acertado para el análisis de redes de computadoras. Sin embargo, aun cuando el tiempo los paquetes pueden ser estimados con una precisión adecuada, la evaluación del desempeño de las redes está lejos de ser solucionado debido a los accesos híbridos de los protocolos de accesos aleatorios.

Por otro lado la simulación es otra técnica utilizada para el análisis de desempeño, el cual ha sido utilizado para el análisis de protocolos de comunicación con gran éxito durante las últimas décadas. El uso de simulaciones se debe en gran parte al gran número de redes en existencia.

El diseño de simulación de paquetes se consideró especialmente para los sistemas de comunicaciones. Estos diseños los reduce el desarrollo de modelos y también reducen considerablemente el tiempo de análisis, teniendo una mejor precisión así como beneficios en incrementos continuos de procesos de poder disponibles. Con frecuencia, los modelos de simulación son diseñados para estudiar escenarios complejos en lugar de técnicas analíticas.

Los errores pueden ser introducidos durante las etapas de diseño y como una medida para disminuir estos. Los resultados de simulación se comparan con los resultados obtenidos por otros métodos de evaluación de desempeño. Los métodos pueden incluir análisis matemáticos o prácticos.

Una desventaja de los casos prácticos es la validación, ya que esta requiere de un sistema existente que pueda ser medido.

5.1.1 Modelos de propagación

Un modelo de propagación básicamente predice lo que sucederá con la señal transmitida entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx). La ruta que sigue la señal desde el origen a su destino puede ser un ambiente en el cual exista línea de vista o un ambiente con una gran cantidad de obstáculos tales como montañas, edificios o árboles.

Un modelo de propagación se define como el conjunto de expresiones matemáticas que se utilizan para predecir la pérdida de una señal inalámbrica o señal RF (siglas de radio frecuencia) en la trayectoria de recorrido entre una estación base emisor y un cliente receptor fijo o móvil. La pérdida se expresa en decibeles.

El objetivo de utilizar y aplicar modelos de predicción para modelar canales de radio con la información de las características de trayectoria entre su origen y destino, es conocer la viabilidad del proyecto en estudio, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de las especificaciones técnicas y la capacidad de los equipos requeridos tomando en cuenta sus costos.

5.1.2 Clasificación de los modelos de propagación

Los modelos de propagación generalmente se clasifican en los siguientes tipos: empíricos o estadísticos, teóricos o deterministas y en una combinación de estos dos llamados semi-empíricos.

5.1.2.1 Modelos empíricos

Este tipo de modelos trabajan con la extrapolación estadística de resultados a partir de mediciones previamente realizadas sobre el terreno. Se desarrollan en base a mediciones realizadas en laboratorio o con modelos a escala de los ambientes de propagación. La principal ventaja de los modelos empíricos es que manejan de forma implícita todos los factores de propagación que influyen en el entorno.

Su precisión depende de la exactitud de las medidas de la similitud entre el entorno donde fueron llevadas a cabo las medidas y el entorno que se analizará.

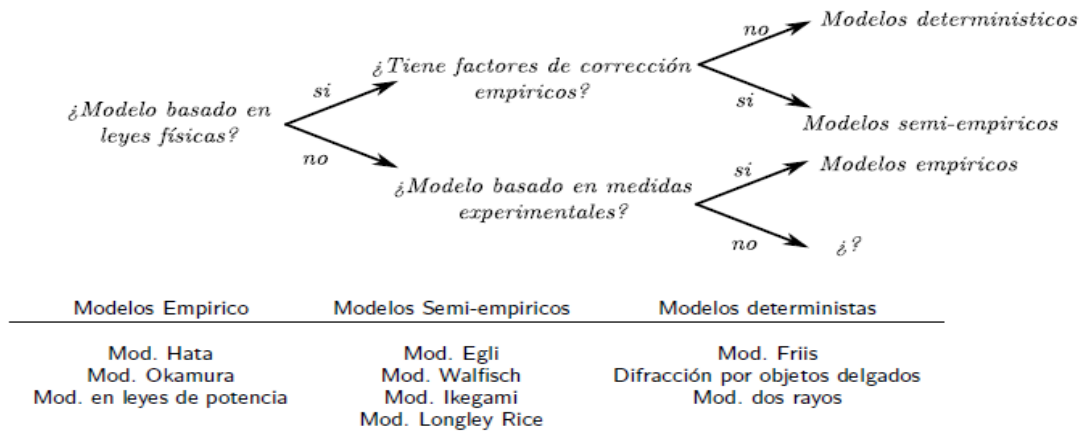
5.1.2.2 Modelos teóricos

Predicen en base a los principios fundamentales del medio que se desea modelar, por ejemplo los principios de la física si se modelan fenómenos físicos. La precisión en los cálculos es su principal ventaja. Para utilizar estos modelos se requiere de grandes bases de datos con las características del entorno que se estudiara, información que generalmente es difícil de obtener. Maneja algoritmos complejos y computacionalmente poco eficientes. Por esta razón su implementación se limita a pequeñas áreas.

5.1.2.3 Modelos semi-empíricos

Los resultados de estos generalmente tienen distribución de probabilidad. Combinan leyes físicas del fenómeno a modelar y factores de corrección empíricos que adaptan el modelo al entorno en el que se desea trabajar. La figura 23 explica gráficamente la clasificación de los modelos de propagación.

Figura 24. **Modelos de propagación**



Fuente: *Principios de propagación de señales*
www.gonzalezabustos.wikispaces.com/Tecnologías-Inalámbricas
 Consulta: 10 de Agosto de 2014.

WiMAX 802.16 en su versión lanzada en enero 2003 describe tecnología de sistemas que trabajan en la banda de frecuencias que va de 2GHz a 11 GHz. Estas especificaciones hacen que el estándar IEEE además de admitir enlaces en condiciones de línea de vista LOS (siglas en inglés de *Line Of Sight*) soporte el funcionamiento de enlaces en condiciones sin línea de vista NLOS (siglas de *Non Line Of Sight*) obteniendo como resultado una mejor cobertura para los clientes.

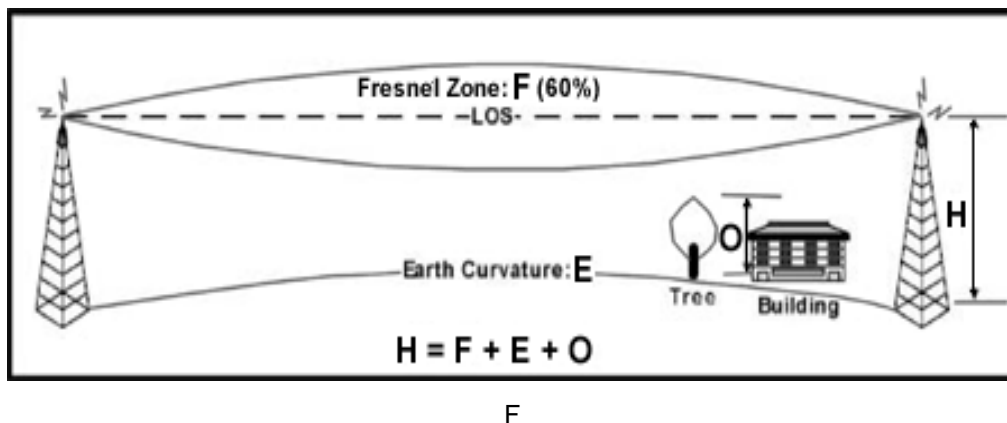
5.1.3 Propagación con línea de vista –LOS

En los enlaces con línea de vista (LOS) la onda electromagnética viaja directamente sin obstrucciones entre la estación transmisora y el receptor. Un enlace en estas condiciones demanda que la mayor parte de la primer zona de Fresnel 60% este libre de obstáculos. En caso de no cumplir con esta condición, la intensidad de la señal presentará una reducción significativa.

La zona de despeje de Fresnel, que se requiere para establecer un enlace depende de la distancia entre el transmisor y el receptor y de la frecuencia de la operación (IEEE 2004). Para delimitar la zona de Fresnel, debemos determinar la línea de vista de radio frecuencia (RF LOS), la cual es un segmento de recta entre las antenas transmisora y receptora.

La zona que rodea el RF LOS se determina zona de Fresnel. El radio de la sección transversal r de la primera zona de Fresnel tiene su máximo valor en el centro del enlace, como se observa en la siguiente figura.

Figura 25. **Enlace con línea de vista – LOS.**



Fuente: *Zona de Fresnel* communicationsone.wordpress.com Consulta 12 de septiembre de 1014

Para calcular la primera zona de Fresnel se utiliza la ecuación siguiente:

$$r(m) = 17.31 \sqrt{\frac{(d1)(d2)}{(f)(d)}}$$

Dónde:

$r(m)$ = radio de la primera zona de Fresnel en m

f = frecuencia en GHz

d = distancia total en el transmisor y receptor en Km

d_1 = distancia desde el obstáculo al extremo emisor en Km

d_2 = distancia desde el obstáculo al extremo receptor en Km

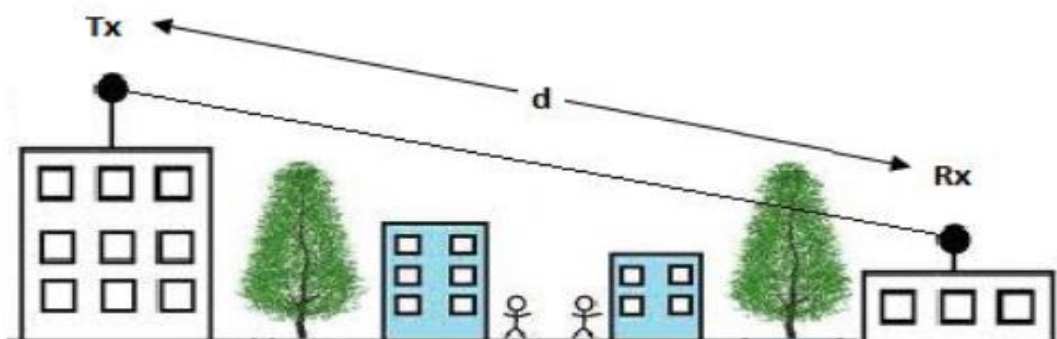
5.1.4 Propagación sin línea de vista –NLOS

Como se observa en la figura 4.7, cuando existe un enlace sin línea de vista (NLOS), la onda electromagnética no viaja directamente entre la estación transmisora y el receptor, existen en el trayecto,

objetos que interfieren con la transmisión y hacen que la señal llegue al receptor por medio de dispersiones, refracciones, distracciones y reflexiones.

Las señales que alcanzan al receptor son componentes del camino directo, caminos reflejados múltiples, energía de dispersión y caminos de propagación por difracción. Las señales poseen distintos retardos, polarizaciones, atenuaciones y estabilidad relativa al camino directo.

Figura 26. **Enlace sin línea de vista –NLOS**



Fuente: *Zona de Fresnel* communicationsone.wordpress.com Consulta septiembre de 2014

Existen varios modelos que intentan caracterizar este entorno de radio frecuencia. Estos modelos usados para predecir coberturas de gran escala para sistemas de comunicaciones inalámbricas se basan en mediciones empíricas y proveen estimaciones de pérdidas de trayecto considerando la distancia entre el transmisor y el receptor, la frecuencia de operación, factores de terreno y altura de las antenas tanto en Tx como en Rx.

5.1.5 Modelos de propagación para WiMAX

En el diseño de una red WiMAX es fundamental considerar la cobertura que se desea lograr en un enlace de comunicación, razón por la cual se debe contar con un modelo de predicción que permita calcular la pérdida de potencia que sufrirá una señal al transmitirse en un ambiente determinado.

Actualmente existe gran cantidad de modelos para determinar las pérdidas de propagación en comunicaciones inalámbricas. Por tal motivo , se consideran únicamente modelos empíricos específicamente elaborados para sistemas con tecnología WiMAX, cuyas mediciones se realizaron en ambientes en donde la expansión de la onda no viaja directamente entre el emisor y el receptor, es decir las condiciones del canal de comunicación sin línea de vista NLOS.

Generalmente se afirma que los modelos existentes ofrecen un patrón de curvas similares, no obstante puede generarse una considerable diferencia en los resultados que cada modelo arroja. Esta divergencia se relaciona con las constantes que cambian según las condiciones del terreno u orografía en donde se estudia la red, altura de las antenas, distancia entre el transmisor y receptor, frecuencia de operación y también con los diferentes tipos de ambientes que pueden ser urbano, suburbano y rural.

Del gran conjunto de modelos de propagación existentes, los cálculos para predecir el comportamiento de las ondas de radio se realizarán en base a bibliografía de los modelos de propagación que pueden ajustarse para trabajar en las bandas de frecuencia de 3 GHz, 5.8 GHz y superiores, estos son los siguientes:

- Modelo de propagación en espacio libre
- Modelo de propagación okumura
- Modelo de propagación COST 231 Hata
- Modelo de propagación SUI (siglas en inglés de Stanford University Interim)
- Modelo de propagación modeloECC-33

5.1.5.1 Modelo de propagación en espacio libre

El modelo de propagación en espacio libre FSPL (*Free Space Path Loss Model*) es un conjunto de expresiones matemáticas que se utilizan para calcular la propagación general de una señal. Representa el rango de comunicación como un círculo alrededor del transmisor, de manera que si un receptor se ubicara dentro del círculo este recibe toda la información, en caso contrario los paquetes se pierden en su totalidad.

FSPL define la cantidad de fuerza que la señal pierde durante la propagación entre el transmisor y el receptor. La propagación en espacio libre depende de la frecuencia y la distancia del enlace. El cálculo se hace mediante el uso de la ecuación siguiente.

$$L_f (\text{dB}) = 32.45 + 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f)$$

Donde:

$L_f (\text{dB})$ = pérdida de propagación en espacio libre expresada en dB

f = frecuencia en MHz

d = distancia entre el transmisor y el receptor en Km.

5.1.5.2 Modelo de propagación Okumura

El método de Okumura se desarrolló en un sector urbano de la ciudad de Tokio-Japón. Este modelo se basa en valores medidos y en métodos estadísticos con los cuales se calculó el valor medio del campo de fuerza y algunos factores de corrección como son: el grado de urbanización, el grado de irregularidad del terreno y la ubicación de la radio base receptora con respecto a montañas cercanas.

Este modelo no se debe usar para frecuencias inferiores a los 150 MHz. El método de Okumura es el más utilizado para diseño de redes celulares en sistemas de 800 MHz específicamente para coberturas en áreas urbanas.

Es aplicable en un rango de frecuencias que van desde los 150 a 1920 MHz y se puede extrapolar a 3 GHz con distancia de 1 a 100 km. La altura de la antena de la estación base puede estar en el rango de 30 a 1.000 metros. El cálculo se hace mediante el uso de la ecuación (Jankiraman,2004).

$$PL (\text{dB}) = L_f + A_{mm} (f,d) - G (h_b) - G (h_r) - G_{AREA} \quad (3)$$

Dónde:

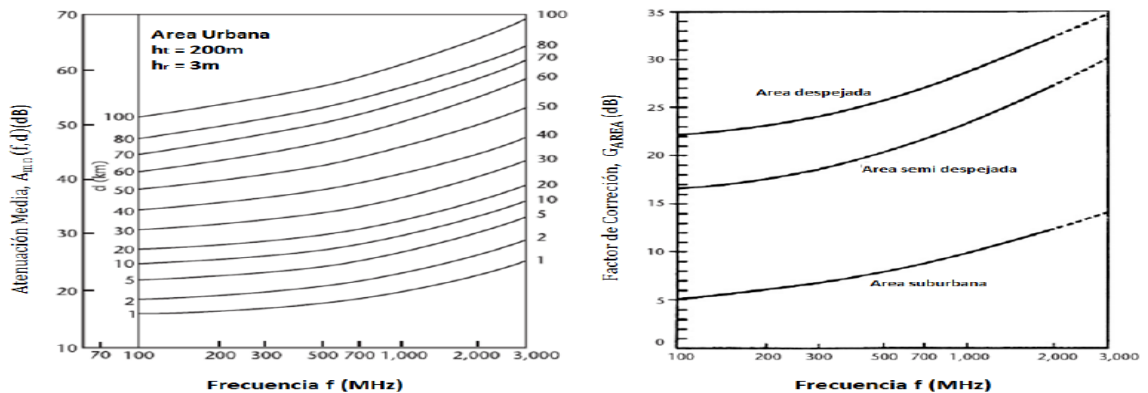
- PL (dB) = pérdida de propagación en dB
- f = frecuencia en MHz
- d = distancia entre el transmisor y el receptor en Km
- h_b = altura antena del transmisor en m
- h_r = altura antena del receptor en m
- L_f = pérdida de propagación en espacio libre expresada en d
- $A_{mm}(f,d)$ = atenuación con relación al espacio libre en dB
- $G(h_b)$ = factor de ganancia con relación al transmisor en dB
- $G(h_r)$ = factor de ganancia con relación al receptor en dB
- G_{AREA} = ganancia debido al tipo de medio ambiente en dB

La atenuación y factores de ganancia se calculan en base a las ecuaciones (4)

y (5)
$$G(h_b) = 20 \log_{10} \left(\frac{h_b}{200} \right), 1000m > h_b > 30m$$

$$G(h_r) = \left\{ \begin{array}{l} 10 \log_{10} \left(\frac{h_r}{3} \right), h_r \leq 3m \\ 20 \log_{10} \left(\frac{h_r}{3} \right), 10m > h_r > 3m \end{array} \right\}$$

Figura 27. Curvas de Okumura



Fuente: Tapia Sánchez, Daniel. WiMAX www.agonizante0001.blogspot.com

Consulta: 10 de octubre de 2014

5.1.5.3 Modelo de propagación COST 231 Hata

Este modelo se utiliza principalmente para predecir por trayectoria en sistemas inalámbricos móviles, aunque también se usa alternativamente para aplicaciones fijas en la banda de 3.5 GHz. El modelo incluye correcciones para ambientes urbanos, suburbanos y rurales.

COST 231 Hata es un modelo creado por Cooperación Europea para la Investigación Científica y Técnica (EURO-COST) con el objetivo de tener una mejor correspondencia con las curvas de Okumura. El rango de frecuencias que maneja varía entre los 1500 y 2000 MHz.

Este modelo se restringe a una altura de la antena del transmisor de 30 m a 200 m, altura de la antena del receptor de 1 m a 10 m y una distancia entre el transmisor y el receptor de 1 Km a 20 Km. El cálculo se hace mediante el uso de la ecuación (6) (Goldsmith,2005).

$$PL \text{ (dB)} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - ah_m + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}d + C_m$$

Donde:

PL (dB)	=	perdida de propagación en <i>dB</i>
f	=	frecuencia en <i>MHz</i>
d	=	distancia entre el transmisor y el receptor en <i>Km</i>
h_b	=	altura antena del transmisor en <i>m</i>
C_m	=	factor de corrección en <i>dB</i>
ah_m	=	parámetro de corrección

El parámetro C_m se define con una cantidad constante de acuerdo al ambiente de propagación en el cual se trabaja. El detalle de su valor se muestra en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Valores de C_m para el modelo de propagación COST 231 Hata.**

Entorno	C_m [dB]
Para ciudades urbanas densas edificios altos de más de 7 pisos	2
Para ciudades urbanas medias edificios más pequeños con calles pequeñas y medianas	0
Para ciudades urbanas medias con calles anchas	-5
Para entornos suburbanos con pequeños edificios	-12
Para entornos mixtos, pueblo y rural	.-20
Para entornos rurales con pocos árboles y casi sin colinas	-26

Fuente: *Modelos de propagación* www.johnbminor.com

Consulta: 2 de noviembre de 2014

Para ambientes urbanos ah_m se calcula con la ecuación (7) (Sharma y Sing 2010)

$$ah_m = 3.20 (\log_{10} (11.75h_r))^2 - 4.79 \quad \text{para } f > 400\text{Mhz.} \quad (7)$$

Donde:

H_r = altura antena del receptor en m

Para las áreas suburbanas y áreas rurales ah_m se calcula con la ecuación (8)

$$ah_m = (1.11\log_{10}f - 0.7) h_r - (1.5\log_{10}f - 0.8) \quad (8)$$

Aunque COST 231 Hata esta predeterminado para ambientes urbanos, se define las ecuaciones (9) y (10) para correcciones en el cómputo de pérdidas de propagación en ambientes suburbanos y rurales respectivamente

$$PL_{suburbano} (dB) = PL(dB) - 2 \left(\log_{10} \left(\frac{f}{28} \right) \right)^2 - 5.4 \quad (9)$$

$$PL_{rural} (dB) = PL(dB) - 4.78(\log_{10}(f))^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 40.94 \quad (10)$$

5.1.5.4 Modelo de programación SUI

El modelo SUI se desarrolló por el Grupo de Trabajo de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha de la IEEE, es una extensión del modelo Hata con parámetros de corrección para frecuencias superiores a 1900 MHz. El estándar IEEE 802.16 recomienda el uso de SUI para la estimación de cobertura en sistemas con tecnología WiMAX.

Este modelo contempla tres clases de escenarios rurales.

- Terreno tipo A: Se caracteriza por ser un terreno montañoso con moderada alta densidad de árboles, este escenario es el que genera mayor pérdida por trayectoria.
- Terreno tipo B: considera terrenos llanos con una densidad alta de árboles o terrenos montañosos con una densidad baja de árboles.
- Terreno tipo C: representa terrenos llanos con baja densidad de árboles, este escenario es el que genera menor pérdidas por trayectos.

Inicialmente el modelo SUI se propuso para trabajar en la banda de 1.9 GHz, en la actualidad se incluyen parámetros de corrección para extender el uso de SUI a frecuencias en la banda de 3.5 GHz y superiores. El cálculo se hace mediante el uso de la ecuación (11).

$$PL(\text{dB}) = A + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + X_f + X_h + S \quad \text{para } d > d_0 \quad (11)$$

Donde:

- PL(dB) = pérdida de propagación en dB
- A = parámetro de corrección
- γ = ruta de pérdida
- d = distancia entre el transmisor y el receptor en *m*
- d_0 = distancia de referencia *entre 100 y 100 m*
- X_f = factor de corrección para frecuencias superiores a 2 GHz en MHz
- X_h = factor de corrección para altura de la antena del receptor en *m*
- S = factor de corrección de sombras de db

El parámetro de corrección A se calcula con la ecuación (12)

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\gamma} \right) \quad (12)$$

Donde

γ es = longitud de onda en *m*

$$\lambda = c/f \quad (13)$$

Donde *c* = velocidad de la luz 3×10^8 m/s y *f* = frecuencia de operación. Tomando en cuenta una frecuencia de 5.8 GHz, el valor de λ se define como en la ecuación (14)

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} \text{ m} \quad (14)$$

La ruta de perdida Y se calcula con la ecuación (15).

$$Y = a - bh_b + \left(\frac{c}{hb}\right) \quad (15)$$

Donde a, b y c son constantes que dependen del tipo de terreno en el cual se trabaja (las constantes se exponen en la tabla XIX y h_b = altura de la antena de la estación base en el rango de 10 a 80 m.

Tabla XV. **Valores de a, b y c para modelo de propagación SUI.**

	Terreno A	Terreno B	Terreno C
A	4.6	4.0	3.6
b (m ⁻¹)	0.0075	0,0065	0.005
c (m)	12.6	17.1	20

Fuente: *Modelos de propagación* www.johnbminor.com.

Consulta: 05 de noviembre de 2014

Los factores de corrección X_f y X_h se calculan con las ecuaciones (16) y (17) respectivamente.

$$X_f = 6.0 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (16)$$

$$X_h = \left\{ \begin{array}{l} -10.8 \log_{10} \left(\frac{h_r}{2000} \right) \text{ para terrenos tipo A y B} \\ -20.0 \log_{10} \left(\frac{h_r}{2000} \right) \text{ para terrenos tipo C} \end{array} \right\} \quad (17)$$

Donde:

f = frecuencia en MHz

h_r = altura antena del receptor en el rango de 2 a 10 m.

El factor de corrección S corresponde a un valor constante de 10.6 dB para terreno tipo A, 9.6 dB para terreno tipo B y 8.2 dB para terreno tipo C.

5.1.5.5 Modelo de programación ECC-33

El modelo original de Okumara no proporcionaba soporte para trabajar con frecuencias de más de 3 GHz.

Por tal razón la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU insto a este modelo su expansión para alcanzar frecuencias de hasta 3.5 GHz, con lo cual se crea el modelo ECC-33 como una extrapolación de las medidas originales de Okumura.

Este modelo se desarrolló por el Comité de Comunicaciones Electrónicas ECC (*Electronic Communication Committee*).

La pérdida en el trayecto para el modelo ECC-33 se calcula con la ecuación (18).

$$PL(\text{dB}) = L_f + A_{bm} - G_b - G_r \quad (18)$$

Donde:

$PL(\text{dB})$ = pérdida de propagación en dB

L_f = pérdida de propagación en espacio libre expresada en dB

A_{bm} = pérdida de propagación media

G_b = factor de corrección para la altura de la antena del transmisor
en m

G_r = factor de corrección para la altura de la antena del receptor
en m

La pérdida de propagación media A. se calcula con la ecuación (19).

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log_{10}(d) + 7.894 \log_{10}(f) + 9.56 [\log_{10}(f)]^2$$

Donde f = frecuencia en GHz y d = distancia entre el transmisor y el receptor en Km.

El factor de corrección G_b se calcula con la ecuación (20)

$$G_b = \log_{10} \left(\frac{h_b}{200} \right) \{13.958 + 5.8 [\log_{10}(d)]^2\}$$

Donde h_b = altura de la antena del transmisor en m.

El factor de corrección de G_r para ciudades medianas se calcula con la ecuación (21) y para ciudades grandes se calcula con (22).

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log_{10}(f)] [\log_{10}(h_r) - 0.585] \quad (21)$$

$$G_r = 0.759 h_r - 1.862 \quad (22)$$

Donde h_r = altura antena del receptor en m.

Las mediciones para validar el modelo ECC-33 se realizaron en la ciudad de Torio. Factores como la población y la existencia de altos edificios se tomaron en cuenta inicialmente por esta razón el parámetro de corrección para ciudades medianas es apropiado para urbes europeas.

CONCLUSIONES

1. El uso de la tecnología WiMAX es la mejor opción en cuanto a ancho de banda, alcance, capacidad de usuarios, optimización del espectro y costos, ya que permite alcanzar hasta 50 km, velocidades de hasta 70Mbps, operación en ambientes con LOS y NLOS, la utilización de diferentes perfiles de transmisión para cada usuario de acuerdo con sus necesidades, QoS diferenciado, privacidad, seguridad y flexibilidad en anchos de canal, además de otras características.
2. El servicio, tal como hasta el momento se ha ofrecido, no ha encontrado un segmento del mercado que sienta que sus requerimientos sean resueltos por un acceso WiMAX de banda ancha inalámbrica, razón por la cual no se opta por elegir esa tecnología, las otras tecnologías presentan un elemento diferente. Un cliente puede percibir como similar el acceso a banda ancha ofrecido por un operador de telecomunicaciones mediante una red HFC, de fibra o a través de radio como el caso de WiMAX. Aunque desde el punto de vista de la red, sean servicios totalmente distintos.
3. Desde el punto de vista tecnológico WiMAX es un avance en el sector de las telecomunicaciones. En los países latinoamericanos se ha utilizado este servicio brindando unas reglas de juego claras desde el horizonte regulatorio en pro de los desarrollos comerciales de las redes, aunque aún no alcanza los niveles de penetración deseables en el mercado de la banda ancha si plantea una gran oportunidad de negocio para los operadores de telecomunicaciones y una buena oportunidad para los usuarios de acceder a los beneficios de la banda ancha de punta.

RECOMENDACIONES

1. Debido a la naturaleza variable de los parámetros de tráfico, en ocasiones, para llevar a cabo el análisis, se les debe dar valores promedio, obtenidos tanto de estudios como de experiencia de los diseñadores (por ejemplo el tráfico promedio por usuario).
2. Se necesita realizar un completo análisis de radio frecuencia, para determinar que las frecuencias a utilizar estén libres y así evitar interferencias posteriores que pudieran afectar el funcionamiento de la red WiMAX.
3. Si queremos lograr un buen desempeño de la red se debe hacer pruebas previas sobre parámetros como ancho de banda, latencia, cobertura, etc., ya que de esta manera lograremos ajustar los requerimientos de la red que deseamos implementar.
4. Se deben tener siempre a la mano los procedimientos que se seguirán según el evento que se presente en la plataforma de gestión, y de esta forma realizar prontamente las correcciones y reparaciones necesarias para normalizar el funcionamiento de la red o de una parte de ella.
5. Cuando se seleccionan equipos para la implementación de una red, se debe prestar atención a lo que realmente ofrecen los fabricantes, ya que algunos equipos no cumplen con el estándar IEEE 802.16-2004.

BIBLIOGRAFIA

1. RAMOS PASCUAL, Francisco. *Radiocomunicaciones*. 3ª edición. España: Marcombo, 2010. p. 344.
2. HOLMA.Harri. TOSKALA, *Anti, HSDPA/HSUPA for UMTS*. 3ª edición, Estados Unidos, agosto 2012.
3. GALINDO SANCHEZ, Luis Ángel. *Modelo de Negocio para la convergencia de operadores de telecomunicaciones e internet*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid, 2011 p.51.
4. KOROWAJCZUR, Leonhard. *LTE, WIMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis*. Editorial Wiley. 2012. p.120.
5. EUGENE CROZIER, *White Paper: WiMAX NLOS Features, WiMAX Forum* España, Año 2007.
6. VILLAR PASCUAL, Sonia. *Red de Acceso de Banda Ancha mediante WiMAX Móvil (IEEE 802.16e)*. Trabajo de graduación de inga. Sistemas, Departamento de informática, Universidad autónoma de Madrid, 2010. p. 31.

7. *Aceleración de Banda Ancha en las Américas*
www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/ Consulta: junio de 2014
8. *LTE-Advanced*. www.3gpp.org/lte-advanced
Consulta: diciembre 2013.
9. WIMAX FORUM. www.wimaxforum.org Consulta: 20 de noviembre 2014.
10. *4G Américas. Global 3G and 4G Deployment Status HSPA/HSPA+LTE*
www.4gamericas.org Consulta: Julio 2014.