

REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

“Redes WiMAX y su viabilidad en la instalación”

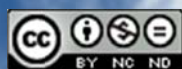
Autor: Christian Torres López

**Tesis presentada para obtener el título de:
Ingeniero en Sistemas Computacionales**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar, organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación “Dr. Silvio Zavala” que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo “Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada”, se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.





Redes WiMAX y su Viabilidad en la Instalación

Tesina Sometida a la Escuela de Ingeniería en Sistemas
Computacionales de la Universidad Vasco de Quiroga

Para obtener el grado de
**Ingeniero en Sistemas
Computacionales**

Presenta

Christian Torres López

Morelia, Michoacán, México
Mayo del 2009

Dedicatoria

ÍNDICE GENERAL

Contenido

JUSTIFICACIÓN	V
OBJETIVOS	VI
Objetivo General.....vi	
Objetivos Específicos.....vi	
CAPÍTULO 1 REDES INALÁMBRICAS	1
1.1 Redes inalámbricas.....	1
1.2 Redes infrarrojas.....	3
1.2.1 Características principales.....	3
1.2.2 Ventajas y desventajas.....	5
1.3 Estándar IEEE 802.11	5
1.3.1 Descripción de protocolos.....	7
1.4 Seguridad en redes inalámbricas	11
1.4.1 Problemas del canal inalámbrico	12
1.4.2 WEP.....	13
1.4.3 Debilidades de WEP	14
1.4.4 Otros esquemas de seguridad en redes inalámbricas.....	15
CAPÍTULO 2 WIMAX.....	18
2.1 Definición	19
2.2 Estándar 802.16 (WiMAX)	21
2.3 Características principales	31
2.4 Ventajas y desventajas.....	32
2.5 Aplicaciones	33
2.6 Casos de éxito.....	35
CAPÍTULO 3 FACTIBILIDAD WIMAX.....	44
3.1 Uso del espectro libre o con licencia	44
3.2 Clasificación áreas de desarrollo	45
3.3 Proyecto WiMAX UVAQ	46
3.4 Factibilidad Económica.....	48
3.5 Factibilidad Técnica.....	48
3.6 Factibilidad operativa	48

3.7	Análisis FODA.....	49
3.7.1	Fortalezas	49
3.7.2	Oportunidades.....	49
3.7.3	Debilidades	49
3.7.4	Amenazas	49
3.8	Hardware Estación base, Equipo para clientes.....	50
3.8.1	PacketMAX 3000	50
3.9	Equipo para clientes (CPE).....	51
3.9.1	PacketMAX 100 Series.....	51
3.9.2	PacketMAX 300 Series.....	51
3.10	WaveCenter T M Element Management System Pro.....	52
3.11	Resumen Financiero.....	53
3.12	Resumen del capítulo	54
CAPÍTULO 4 WIMAX VS 3G		55
4.1	Tecnología 3G.....	55
4.1.1	Las ventajas de la tecnología 3G en el entorno empresarial	56
4.1.2	Servicios y costos.....	57
4.2	3G vs WiMAX	59
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES		62
BIBLIOGRAFÍA.....		64
ÍNDICE DE FIGURAS		67
ÍNDICE DE TABLAS		68
GLOSARIO DE TERMINOS.....		69

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, sabemos que cada vez es más grande la demanda en cuanto a redes y movilidad de información se refiere, quién se iba imaginar la posibilidad de llegar al café y conectarse a la red con un solo clic para no perder negocios importantes o simplemente para estar en comunicación, así como también todos los beneficios que ofrecen los nuevos Smartphone, ya son PDA, mini computadora, oficina móvil, y todo esto, en un celular.

La tendencia principal es evitar el acceso a Internet vía un medio físico, es decir, por medio de un cable, ya que esto limita completamente la movilidad a los usuarios, en cambio, si se cuenta con una infraestructura que permita el acceso de manera inalámbrica la movilidad será entonces una de las principales características y ventajas para los usuarios, ya que no necesariamente tendrán que acceder siempre desde el mismo sitio, sino que podrán migrar su lugar de trabajo sin perder la conexión, pero, una consideración de suma importancia que no podemos dejar de lado, es que esta movilidad se encontrará delimitada por el rango de alcance de señal con que se cuente, además de los medios físicos que se interpongan en el viaje de la señal de acceso.

Por lo cual se hace inminente la necesidad de este proyecto, con la finalidad de plasmar las características, ventajas, desventajas y costos de la tecnología WiMAX, así como también, analizar su convergencia y/o divergencia con las tecnologías ya existentes, y que actualmente son del uso común, y por lo tanto, lograr saber si este nuevo paradigma trabajara de manera independiente, y desplazará por completo a la tecnología inmediata anterior, o bien, podrá trabajar de manera conjunta con su predecesor mejorando así la calidad del servicio para los usuarios.

Se realizará un bosquejo sobre las tecnologías anteriores, no por eso, en desuso y obsoletas, además de que se realizará un análisis sobre la factibilidad económica, operativa y técnica de este nuevo tipo de redes; se pretende definir el costo que implica la implementación de dicha tecnología, para así, lograr determinar aquellos casos en los que es conveniente y productivo hacer uso de WiMAX.

Dicho trabajo de investigación, implica además, localizar empresas y/o instituciones que ya se encuentren utilizando esta tecnología.

El presente proyecto lleva por título, “Redes WiMAX y su Viabilidad en la Instalación”.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un estudio que describa costos, ventajas y desventajas sobre la implementación de una red tipo WiMAX

Objetivos Específicos

Realizar un bosquejo sobre los distintos tipos de redes precedentes al tipo de red WiMAX

Conocer el estado del arte de la tecnología WiMAX

Definir los casos viables para la implementación de una red tipo WiMAX

Desarrollar proyecto de implementación WiMAX en la Universidad Vasco de Quiroga (UVAQ) campus Morelia

Capítulo 1

REDES INALÁMBRICAS

Con el paso del tiempo y la rapidez con la cual avanza la tecnología, hoy en día es más común encontrar usuarios para los cuales sea indispensable tener acceso a su información sin que para ello se encuentren en su lugar de trabajo, dicho de otra manera, son usuarios que necesitan tener acceso a Internet todo el tiempo independientemente de su ubicación, para lo cual una conexión vía un cable resulta ineficiente, ya que dichas personas buscan un pleno manejo de su información, sin importar donde se encuentren, desde su laptop, notebook, PDA (asistente digital personal, por sus siglas en inglés), entre otros dispositivos diseñados para estos fines, para este tipo de usuarios la solución es la comunicación inalámbrica.

En este capítulo se analizarán las principales características de este tipo de redes.

1.1 Redes inalámbricas

Como antecedente, podemos mencionar que la comunicación inalámbrica ha estado disponible desde hace ya tiempo, ya que a principios de 1901, el físico italiano Guillermo Marconi demostró un telégrafo inalámbrico desde un barco a tierra utilizando el código Morse. Sin embargo, la principal aplicación de este tipo de sistemas, había sido la comunicación por voz; esto es muy fácil de constatar ya que diariamente vemos gente utilizando sistemas de radio de dos vías o teléfonos celulares para comunicaciones punto a punto o multipunto con total normalidad.

El origen de las redes inalámbricas (WLAN) se remonta a la publicación, en 1979, de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, publicados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés), pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología.

Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas, donde se utilizaba el esquema de espectro expandido (*spread spectrum*), el cual permite que entre todos compartan un mismo espectro, pues no se usa todo el espectro ni todo el tiempo.

En mayo de 1985, y tras cuatro años de estudios, la Comisión Federal de Comunicaciones (CFC), la agencia federal del gobierno de Estados Unidos encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas ISM (industrial, scientific and medical) para uso en las redes inalámbricas basadas en ese espectro. La técnica de espectro ensanchado es una técnica de modulación que resulta ideal para las comunicaciones de datos, ya que es muy poco susceptible al ruido y crea muy pocas interferencias. La asignación de esta banda de frecuencias propició mayor actividad en el seno de la industria y ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el entorno del laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado.

Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando más en la fase de desarrollo, hasta que en mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativas que superaban la velocidad de un Mbit/s, el mínimo establecido por el IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN, con aplicación empresarial.

Las redes inalámbricas (WLAN) se componen fundamentalmente de dos elementos: los puntos de acceso y los dispositivos de cliente. Los puntos de acceso actúan como un concentrador o *hub*, que recibe y envía información vía radio a los dispositivos de clientes, que pueden ser de cualquier tipo, habitualmente una PC o PDA con una tarjeta de red inalámbrica, con o sin antena, que se instala en una de las ranuras libres o bien se enlazan a los puertos USB de los equipos.

La principal ventaja de estas redes, que no necesitan licencia para su instalación, es la libertad de movimientos que permite a sus usuarios, ya que la posibilidad de conexión sin cables entre diferentes dispositivos elimina la necesidad de compartir un espacio físico común y soluciona las necesidades de los usuarios que requieren tener disponible la información en todos los lugares por donde puedan estar trabajando. A esto se añade la ventaja de que son mucho más sencillas de instalar que las redes de cable y permiten la fácil reubicación de las terminales en caso necesario.

También presentan alguna desventaja, o más bien inconveniente, que es la "baja" velocidad que alcanzan, por lo que su éxito comercial es más bien escaso, y hasta que los nuevos estándares no permitan un incremento significativo, no es de prever su uso masivo, ya que por ahora no pueden competir con las LAN basadas en cable.

El uso más popular de las WLAN implica la utilización de tarjetas de red inalámbricas, cuya función es permitir al usuario conectarse a la LAN empresarial sin necesidad de una interfaz física.

En los últimos años el potencial de esta clase de redes provocó que surgieran los primeros sistemas que utilizaban ondas de radio para interconectar computadoras. Estos primeros sistemas, en cuanto a implementación y conectividad, eran completamente dependientes de su fabricante, además de ser lentos, ya que presentaban una velocidad de 1.5 Mbps (mega bits por segundo) y solo cubrían un reducido grupo de aplicaciones.

Como una primera aproximación, podemos dividir a las redes inalámbricas en 3 categorías principales:

1. Interconexión de sistemas.
2. LANs inalámbricas
3. WANs inalámbricas (WLAN)

La *interconexión de sistemas* se refiere a la interconexión de componentes de una computadora que utiliza radio de corto alcance. Todas las computadoras de escritorio, cuentan con un monitor, teclado, Mouse, impresora, etc. Conectados por cables al CPU (unidad central de procesos), los cuales

generalmente se pueden diferenciar entre sí porque manejan colores y diseños diferentes, pero como para usuarios nuevos puede resultar difícil identificar cada uno de los componentes antes mencionados, surgió una red inalámbrica de corto alcance llamada Bluetooth, la cual nos permite conectar sin cables estos componentes, el único requisito de esta tecnología es que los componentes que se desea conectar se encuentren en el radio de alcance del dispositivo Bluetooth.

Ahora bien, las *LANs inalámbricas*, son sistemas en los que cada computadora tienen un MODEM de radio y una antena mediante los que se puede comunicar con otros sistemas, este tipo de redes se están haciendo cada vez más en casas y oficinas pequeñas, donde instalar Ethernet resulta sumamente complicado.

Existe un estándar para las LANs inalámbricas llamado IEEE 802.11 del cual hablaremos más adelante.

Las WANs inalámbricas se utilizan en sistemas de área amplia, como por ejemplo la red de radio utilizada para los teléfonos celulares. Este tipo de redes se diferencia de las convencionales en la capa física y en la capa de enlace de datos.

“La *capa física* nos indica como son enviados los bits de una estación a otra; la *capa de enlace de datos* es la encargada de describir cómo se empaquetan y verifican los bits para que estos no tengan errores” [1].

Existen dos métodos para reemplazar la capa física en una red inalámbrica, estos son la transmisión de Radio Frecuencia y la Luz Infrarroja

Los sistemas por infrarrojos, según el ángulo de apertura con que se emite la información los podemos clasificar en:

- Sistemas de corta apertura, LOS (línea de visión, por sus siglas en inglés)
- Sistemas de gran apertura, también llamados reflejados o difusos.

Así mismo, las comunicaciones inalámbricas que utilizan radiofrecuencia se dividen en:

- Sistemas de banda estrecha (narrow band) o de frecuencia dedicada.
- Sistemas basados en espectro disperso o extendido (Spread Spectrum).

1.2 Redes infrarrojas

1.2.1 Características principales

Las redes de luz infrarroja están limitadas por el espacio y casi generalmente se utilizan cuando las estaciones se encuentran en un solo cuarto o piso, algunas compañías que tienen sus oficinas en varios edificios realizan la

comunicación colocando los receptores/emisores en las ventanas de los edificios.

Esta tecnología puede utilizar tres modos de radiación para la comunicación entre el transmisor y el receptor: *punto a punto*, *cuasi-difuso* y *difuso*.

“En el modo punto a punto los patrones de radiación del emisor y del receptor deben estar lo más cerca posible, para que su alineación sea correcta” [1]. Por lo tanto debe existir una línea de visión entre las 2 estaciones a comunicarse.

Este tipo de transmisión punto a punto es el que consume menor potencia óptica, pero nada debe obstaculizar a las dos estaciones, un ejemplo muy claro es colocar cualquier objeto físico frente al control remoto de la televisión e intentar cambiar de canal.

“En el modo cuasi-difuso las estaciones se comunican entre sí, por medio de superficies reflectoras” [1], a diferencia del modo anterior, puede no existir la línea de visión entre dos estaciones, pero sí con la superficie de reflexión; para este caso se recomienda que las estaciones estén cerca de dicha superficie, la cual puede ser pasiva o activa. “En la reflexión pasiva, el reflector debe tener altas propiedades reflectoras y dispersoras; mientras que en la reflexión activa, se requiere de un dispositivo de salida reflexivo (conocido como satélite), que amplifica la señal óptica” [1]. La reflexión pasiva requiere más energía, pero es más flexible de usar.

“En el modo difuso, el poder de salida de la señal óptica de una estación debe ser suficiente para llenar completamente la totalidad de la sala, mediante múltiples reflexiones en las paredes y obstáculos” [1]. En este modo de radiación la línea de visión tampoco es necesaria y la estación se puede orientar a cualquier otro lado.

En la Figura 1 se pueden observar las distintas modalidades de transmisión en las redes infrarrojas.

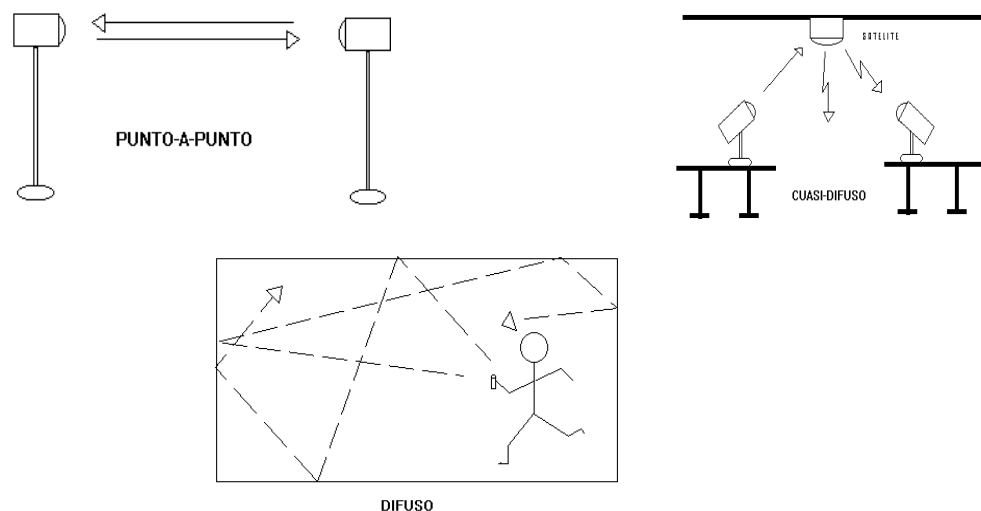


Figura 1.1 Modos de transmisión por infrarrojos

1.2.2 Ventajas y desventajas

En la Tabla 1.1 se muestra una comparación entre ventajas y desventajas en cuanto al uso de las redes infrarrojas.

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Para su uso, no requiere autorización especial en ningún país.	No puede atravesar objetos sólidos
Utiliza componentes económicos y de bajo consumo de energía	Presenta mucha resistencia a la interferencia electromagnética emitida por otros dispositivos
	Presenta poca potencia de transmisión

Después del análisis anterior, podemos concluir que debido al problema de comunicación que presenta este tipo de redes, en la mayoría de los casos, son muy reducidos los productos que implementan esta tecnología.

1.3 Estándar IEEE 802.11

El comité IEEE 802.11 o WI-FI es el encargado de desarrollar los estándares para las redes de área local inalámbricas, define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN.

La familia 802.11 incluye seis técnicas de transmisión por modulación las cuales utilizan los mismos protocolos. El estándar original data de 1997, tenía velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2.4 GHz. En la actualidad no se fabrican productos sobre este estándar.

El término IEEE 802.11 se utiliza también para referirse a este protocolo al que ahora se conoce como "802.11legacy." La siguiente modificación apareció en 1999 y es designada como **IEEE 802.11b**, esta especificación tenía velocidades de 5 hasta 11 Mbps, también trabajaba en la frecuencia de 2.4 GHz. También se realizó una especificación sobre una frecuencia de 5 GHz que alcanzaba los 54 Mbps, era la **802.11a** y resultaba incompatible con los productos de la **b** y por motivos técnicos casi no se desarrollaron productos. Posteriormente se incorporó un estándar a esa velocidad y compatible con el **b** que recibiría el nombre de **802.11g**. En la actualidad la mayoría de productos son de la especificación **b** y de la **g**

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan bandas de 2.4 GHz que no necesitan de permisos para su uso. El estándar 802.11a utiliza la banda de 5 GHz. Las redes que trabajan bajo los estándares 802.11b y 802.11g pueden

sufrir interferencias por parte de hornos microondas, teléfonos inalámbricos y otros equipos que utilicen la misma banda de 2.4 GHz.

En la Tabla 1.2 se muestran los principales estándares WLAN:

Tabla 1.2. Estándares para WLAN

Estándar	Velocidad máxima	Interface de aire	Ancho de banda de canal	Frecuencia	Disponibilidad
802.11b	11 Mbps	DSSS	25 MHz	2.4 GHz	Ahora
802.11a	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz	Ahora
802.11g	54 Mbps	OFDM/DSSS	25 MHz	2.4 GHz	Ahora
HomeRF2	10 Mbps	FHSS	5 MHz	2.4 GHz	Ahora
HiperLAN2	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz	2003
5-UP	108 Mbps	OFDM	50 MHz	5.0 GHz	2003

El estándar IEEE 802.11 se basa en el mismo marco de estándares que Ethernet. Esto garantiza un excelente nivel de interoperabilidad y asegura una implantación sencilla de las funciones y dispositivos de interconexión Ethernet/WLAN.

El estándar 802.11 define varios métodos y tecnologías de transmisión para implantaciones de LAN inalámbricas. Este estándar no sólo engloba la tecnología de radiofrecuencia sino también la de infrarrojos. Además, incluye varias técnicas de transmisión como:

- Modulación por saltos de frecuencia (FHSS)
- Espectro de extensión de secuencia directa (DSSS)
- Multiplexación por división en frecuencias octogonales (OFDM)

El salto de frecuencia (FHSS), la segunda técnica importante de transmisión de espectro de extensión, es de hecho una señal de banda estrecha que cambia la frecuencia de un modo rápido y continuo.

DSSS funciona transmitiendo simultáneamente por varias frecuencias diferentes. De esta forma, se incrementa la probabilidad de que los datos transmitidos lleguen a su destino.

El inconveniente que presenta DSSS sobre FHSS es que, es más vulnerable a las interferencias de la banda estrecha.

Otros Inconvenientes del DSSS:

- En un área sólo pueden funcionar 3 sistemas de forma simultánea.
- Necesita componentes más rápidos y caros que los sistemas FHSS equivalentes.
- Más consumo y requisitos que los sistemas FHSS.

Las funciones de la capa MAC IEEE 802.11 no sólo gestionan y coordinan el acceso al canal de transmisión, sino que hasta cierto punto se encargan de la autenticación y otras tareas de administración y seguridad.

En este estándar, también se definen los modos de conexión:

- *Modo ad-hoc*: (también conocido como modo punto a punto), en este caso, los clientes se comunican directamente entre ellos.
- *Modo infraestructura*: (también conocido como punto de acceso), aquí, cada cliente envía sus comunicaciones a un punto de acceso (AP, por sus siglas en inglés), el cual reenvía las comunicaciones a la red apropiada, ya sea ésta cableada o inalámbrica.

1.3.1 Descripción de protocolos

802.11 legacy

La versión original del estándar IEEE 802.11 publicada en 1997 especifica dos velocidades de transmisión *teóricas* de 1 y 2 Mbps que se transmiten por señales infrarrojas (IR) en la banda ISM a 2.4 GHz IR sigue siendo parte del estándar, pero no hay implementaciones disponibles.

El estándar original también define el protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) como método de acceso. Una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de esta codificación para mejorar la calidad de la transmisión bajo condiciones ambientales diversas, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas. Estas y otras debilidades fueron corregidas en el estándar 802.11b, que fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores.

802.11a

El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 GHz y utiliza 52 subportadoras OFDM con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbps. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbps en caso necesario. 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

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

802.11b

802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original, funciona en la banda de 2.4 GHz.

Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbps sobre TCP y 7.1 Mbps sobre UDP.

802.11e

Con el estándar 802.11e, la tecnología IEEE 802.11 soporta tráfico en tiempo real en todo tipo de entornos y situaciones. Las aplicaciones en tiempo real son ahora una realidad por las garantías de Calidad de Servicio (QoS) proporcionado por el 802.11e.

El objetivo del nuevo estándar 802.11e es introducir nuevos mecanismos a nivel de capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de Calidad de Servicio. Para cumplir con su objetivo IEEE 802.11e introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (HCF) con dos tipos de acceso:

- (EDCA) Enhanced Distributed Channel Access y
- (HCCA) Controlled Channel Access.

802.11g

En Junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Este utiliza la banda de 2.4 GHz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, o cerca de 24.7 Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a.

Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión. .

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

802.11 Super G

Hoy en día el estándar 802.11 Super G cuenta con una banda de 2.4 y 5 GHz, y, con una velocidad de transferencia de 108 Mbps.

802.11n

La tecnología 802.11n, suministra velocidades superiores a 100 Mbps lo cual duplica la velocidad de 802.11g y 802.11a, que es de 54 Mbps.

También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar. Existen también otras propuestas alternativas que podrán ser consideradas y se espera que el estándar que debía ser completado hacia

finales de 2006, se implante hacia 2008. No obstante ya hay dispositivos que se han adelantado al protocolo y ofrecen de forma no oficial éste estándar.

802.11s

Integra servicios y protocolos en malla en una red basada en el estándar IEEE

802.11.

Permite un despliegue rápido con un Backhaul a bajo costo.

Facilita la cobertura en áreas difíciles de cablear.

Mayor ancho de banda debido a saltos más cortos [2]

MIMO Wireless LAN

Multiple-input multiple-output, o MIMO, se refiere al uso de antenas múltiples tanto para recibir como para transmitir. Otro término común para esta tecnología es el de antenas inteligentes, las cuales presentan un procesamiento espacial de información con antenas múltiples.

En la Figura 1.2 se observa como el acceso a internet es repartido mediante un ruteador inalámbrico con tecnología MIMO mediante el cual equipos portátiles o estáticos pueden acceder al servicio de impresión y/o archivos, entre otros.

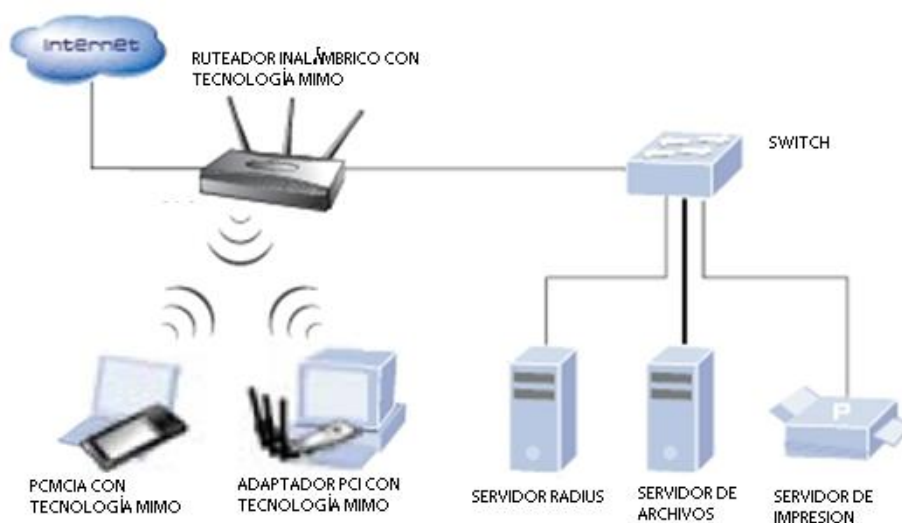


Figura 1.2 Ejemplo de antenas inteligentes

Aplicaciones

- Técnicas de Multiplexaje espacial hace a los receptores muy complejos, por lo tanto es típico el combinar con modulación OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) o con modulación OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), donde los problemas creados por canal multi-pathson manejados con eficiencia. El estándar IEEE 802.16e

incorpora MIMO-OFDMA. El estándar IEEE 802.11n, esperado a ser terminado muy pronto, recomienda MIMO-OFDM.

- MIMO está planeado también para utilizarse en estándares de telefonía radio Móvil así como los recientes estándares 3GPP y 3GPP2. En 3GPP, los estándares HSPA+ (High-Speed Packet Access plus) y LTE (Long Term Evolution) toman en cuenta a la tecnología MIMO. Además, para soportar totalmente ambientes celulares MIMO investiga consorcios incluyendo la propuesta IST-MASCOT para entregar técnicas avanzadas de comunicaciones así como MIMO cross-layer, MIMO multiusuario y Ad-Hoc MIMO.
- *MIMO Cross-layer* aumenta la funcionalidad de los enlaces MIMO resolviendo los problemas cross-layer ocurridos cuando la configuración MIMO está implementada en el sistema. Las técnicas Cross-layer han aumentado las funcionalidades de enlaces SISO. Algunos ejemplos de técnicas Cross-layer es el código de *Joint source-channel*, Adaptación de enlaces, o modulación y codificación adaptable (AMC), *Hybrid ARQ (HARQ)*.
- Multiusuario MIMO pueden aprovecharse de interferencias de energía como fuentes espaciales a un costo de procesamiento avanzado de transmisión, mientras que para los usuarios convencionales, MIMO utiliza sólo la dimensión de antena múltiple
- Ad-hoc MIMO es una técnica utilizada para las redes celulares futuras que consideran el uso de redes Inalámbricas en malla o redes Ad-Hoc inalámbricas. Para optimizar la capacidad de canales Ad-hoc, el concepto y técnicas MIMO pueden ser aplicables a enlaces múltiples entre nodos grupales de transmisión y recepción. A diferencia de antenas múltiples en usuarios sencillos de MIMO, son nodos múltiples ubicados de manera distribuida. Así que, para conseguir la capacidad de esta red, las técnicas para administrar los recursos distribuidos de radio son esenciales así como cooperación en nodo y el concepto DPC (Dirty Paper Coding) basado en codificación de redes.

Versiones de la tecnología MIMO:

MIMO: *Multiple Input Multiple Output*, este es el caso en el que tanto transmisor como receptor poseen varias antenas.

MISO: *Multiple input Single Output*, en el caso de varias antenas de emisión pero únicamente una en el receptor.

SIMO: *Single Input Multiple Output*, en el caso de una única antena de emisión y varias antenas en el receptor [3].

1.4 Seguridad en redes inalámbricas

Son muchos los motivos para preocuparnos por la seguridad de una red inalámbrica. Por ejemplo, queremos evitar compartir nuestro ancho de banda públicamente. A nadie con algo de experiencia se le escapa que las redes inalámbricas utilizan un medio inseguro para sus comunicaciones y esto tiene sus repercusiones en la seguridad. Tendremos situaciones en las que precisamente queramos compartir públicamente el acceso a través de la red inalámbrica, pero también tendremos que poder configurar una red inalámbrica para limitar el acceso en función de unas credenciales. También se debe tener en cuenta que las tramas circulan de forma pública y en consecuencia cualquiera que estuviera en el espacio cubierto por la red, y con unos medios simples, podría capturar la trama y ver el tráfico de la red.

La seguridad es un aspecto sumamente relevante cuando hablamos de redes inalámbricas. Para tener acceso a una red cableada es imprescindible una conexión física al cable de la red. Sin embargo, en una red inalámbrica en una oficina cualquier persona ajena a la misma podría acceder a la red sin siquiera estar ubicado en las dependencias de la empresa, basta con que se encuentre en un lugar próximo donde pueda captar la señal.

En la actualidad existen varios métodos para proteger una red inalámbrica, entre los más conocidos encontramos, protección mediante MAC, protección WEP y protección WPA.

Las tarjetas de red cuentan con un identificador de 48 bits conocido como dirección MAC, hasta hace poco, sabíamos que este identificador es único para cualquier dispositivo y que no se puede cambiar, ahora podemos decir que no es cierto, ya que el método de protección mediante MAC se basa en que el ruteador o el punto de acceso inalámbrico, sólo permite la conexión a la red a aquellos dispositivos cuya dirección MAC coincida con los que tiene almacenados, pero este método de protección resulta insuficiente, ya que si ponemos nuestra tarjeta de red inalámbrica en modo promiscuo (también llamado modo monitor), es decir, hacer que reciba todo el tráfico aunque no vaya dirigido a ella, y usamos un analizador de protocolos como *WireShark* podemos descubrir la dirección MAC de algún dispositivo que se conecte a esta red y hacernos pasar por él.

Si se utiliza el método de protección WEP los datos viajan cifrados y por lo tanto este método es más seguro. Pero, tampoco es suficiente, ya que el cifrado WEP se ha demostrado inseguro y es posible descifrar los datos que hayan sido cifrados con este protocolo y por lo tanto se puede averiguar la clave WEP y los parámetros necesarios para acceder a una red protegida con este método.

1.4.1 Problemas del canal inalámbrico

La propagación de las señales en los sistemas móviles es compleja. La representación del canal inalámbrico depende de los modos de propagación por radio, como la radiación por visibilidad directa (LOS), reflexiones en superficies rugosas, difracciones alrededor de una esquina o la dispersión (scattering) causada por un objeto con dimensiones del orden de la longitud de onda de la señal transmitida.

En los entornos de propagación mencionados, la señal puede sufrir, desvanecimientos, atenuaciones, retardos, interferencias, ráfagas de errores o variaciones temporales. Estos fenómenos se deben tener en cuenta debido a que condicionan la recepción correcta de la señal.

Atenuación

El nivel de la señal promedio decrece con el aumento de la distancia que hay entre el emisor y el receptor. La atenuación de la señal es más severa conforme la frecuencia de la señal aumente.

El valor de la atenuación varía en función del entorno donde se esté realizando la transmisión. Algunos factores que influyen en la variación de la atenuación son la altura de las antenas o las características del terreno. Por ejemplo, en espacio libre las pérdidas solo dependen de la distancia, mientras que en un edificio las pérdidas variarán en función del grosor de las paredes o el material del que estén construidas.

Desvanecimientos multicamino

Es causado por las reflexiones multitrayectoria de la onda transmitida debido a obstáculos naturales o a objetos que actúan como dispersores, como las casas o los edificios. Pequeñas variaciones en la distancia entre emisor y receptor, del orden de una cuarta parte de la longitud de onda por ejemplo, pueden causar grandes cambios en la amplitud o en la fase de la señal.

Para predecir el valor de la señal en campo se utilizan modelos probabilísticos. El modelo de distribución de Rayleigh describe este comportamiento cuando no hay visibilidad directa entre el emisor y el receptor, mientras que el modelo de distribución de Ricean lo describe cuando sí hay una componente de visibilidad directa, aparte de las reflejadas que se reciban. Estos modelos de distribución se describen brevemente en los anexos.

Interferencia intersimbólica (ISI)

Este tipo de interferencia es causada por el retardo en la llegada de los símbolos transmitidos (*delay spread*). En ambientes multicamino suele producirse el *delay spread*, ya que la señal llega al receptor proveniente de distintos caminos y con distintos retardos.

La ISI se introduce si el periodo de símbolo es más pequeño que el *delay spread* del canal. La elección de la modulación es importante a la hora de minimizar este efecto. En concreto, las modulaciones utilizadas en el IEEE 802.11b son adecuadas para que no sea tan notoria esta interferencia. [4]

1.4.2 WEP

“WEP es un estándar de cifrado para redes inalámbricas; es una autenticación de usuario y cifrado de datos incluido en el estándar IEEE 802.11, usado para superar las amenazas de seguridad” [5].

Básicamente, WEP provee seguridad a las redes inalámbricas por medio del cifrado de la información transmitida, para que únicamente los receptores que tengan la clave de cifrado correcta puedan descifrar la información

El protocolo WEP se basa en dos componentes para cifrar las tramas que circulan por la red: el algoritmo de cifrado RC4 y el algoritmo de chequeo de integridad CRC-32 (Cyclic Redundancy Code).

De estos algoritmos se hablará más adelante, ahora veamos la forma del cifrado y autenticación WEP.

Cifrado WEP

WEP utiliza una clave secreta compartida entre una estación inalámbrica y un punto de acceso. Todos los datos enviados y recibidos entre la estación y el punto de acceso pueden ser cifrados utilizando esta clave compartida. El estándar 802.11 no especifica cómo se establece la clave secreta, pero permite que haya una tabla que asocie una clave exclusiva con cada estación.

Para proteger el texto cifrado frente a modificaciones no autorizadas mientras está en tránsito, WEP aplica un algoritmo de comprobación de integridad (CRC-32) al texto en claro, lo que genera un valor de comprobación de integridad (ICV). Dicho valor de comprobación de integridad se concatena con el texto en claro. El valor de comprobación de integridad es una especie de huella digital del texto en claro. El valor ICV se añade al texto cifrado y se envía al receptor junto con el vector de inicialización. El receptor combina el texto cifrado con el flujo de clave para recuperar el texto en claro. Al aplicar el algoritmo de integridad al texto en claro y comparar la salida con el vector ICV recibido, se puede verificar que el proceso de descifrado ha sido correcto ó que los datos han sido corrompidos. Si los dos valores de ICV son idénticos, el mensaje será autenticado; dicho de otra manera, las huellas digitales coinciden.

El proceso de cifrado que sigue este protocolo es el siguiente:

1. Se calcula el CRC de los datos (*payload*) que se van a enviar en la trama y se añade al final de ésta como valor de chequeo de integridad (ICV)

2. Se selecciona una de las 4 llaves posibles y a ésta se le añade al principio el IV (vector de inicialización).
3. Se aplica el algoritmo RC4 al conjunto formado por el IV y la llave, que da como resultado el flujo de llave o *keystream*.
4. El flujo de llave es el que se utiliza para cifrar el conjunto formado por los datos y el ICV de la trama.
5. el IV y la llave utilizados se añaden a la trama justo después de la cabecera y antes la información encriptada.

En la Figura 3 se puede ver el aspecto que tiene una trama justo después de que se haya encriptado. En donde se observa en primera instancia la cabecera de la trama, seguida del resultado de la suma del vector de inicialización y la clave, en seguida se calcula el CRC de los datos y por último se tiene el valor de chequeo de integridad

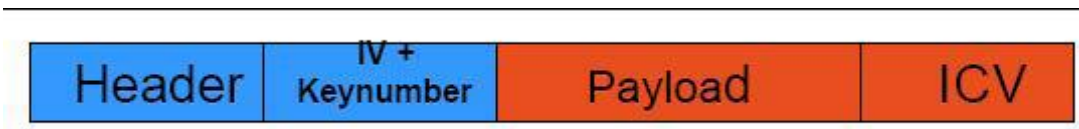


Figura 1.3 Trama cifrada con WEP

En el proceso de descifrar, se realizan los mismos pasos explicados en orden inverso. Se extraen el IV y la llave de la trama y se les aplica el RC4 para obtener el flujo de llave, y así poder descifrar los datos de la trama. Una vez descifrada la información, se recalcula el ICV y se compara con el valor enviado en la trama, para verificar que no hay un error en los datos recibidos [5].

1.4.3 Debilidades de WEP

Las debilidades de WEP se basan en que, por un lado, las claves permanecen estáticas y por otro lado los 24 bits de IV son insuficientes y se transmiten sin cifrar. Aunque el algoritmo RC4 no esté considerado de los más seguros, en este caso la debilidad de WEP no es culpa de RC4, sino de su propio diseño.

Si se tiene un vector de inicialización de 24 bits tendremos 2^{24} posibles IV distintos y no es difícil encontrar distintos paquetes generados con el mismo IV. Si la red tiene bastante tráfico estas repeticiones se dan con cierta frecuencia. Un atacante puede recopilar suficientes paquetes similares cifrados con el mismo IV y utilizarlos para determinar el valor del flujo de bits y de la clave compartida. El valor del IV se transmite sin cifrar por lo que es público. Esto puede parecer muy complicado, pero hay programas que lo hacen automáticamente y en horas o días averiguan la contraseña compartida. No olvidemos que aunque la red tenga poco tráfico el atacante puede generarlo mediante ciertas aplicaciones.

Una vez que alguien ha conseguido descifrar la contraseña WEP tiene el mismo acceso a la red que si pudiera conectarse a ella mediante cable. Si la red está configurada con un servidor DHCP, entonces el acceso es inmediato, y si no tenemos servidor DHCP pues al atacante le puede llevar cinco minutos más.

Puntualizando lo anterior, podemos mencionar que el protocolo WEP es vulnerable básicamente en dos procesos: al realizar el cifrado, y en la autenticación.

La vulnerabilidad en el proceso de cifrado se extiende a cuatro aspectos:

- Características lineales del CRC32: un atacante puede interceptar un mensaje y modificarlo, así como el CRC. En recepción, la recalcular el ICV se consideraría la trama como válida.
- MIC (Message Integrity Code) es independiente de la llave: el chequeo de integridad se realiza calculando un simple CRC32, por lo que si se acaba averiguando el *texto plano* de un solo paquete se pueden inyectar paquetes en la red.
- El IV es demasiado corto: con 24 bits se pueden llegar a generar 16 millones de IV posibles. En redes inalámbricas con tráfico intenso en pocas horas se han mandado 16 millones de paquetes.
- Es posible reutilizar el IV: WEP no utiliza con cuidado el algoritmo RC4, ya que el IEEE 802.11 define que es opcional el cambio de IV. Esto supone que el IV se repite frecuentemente, y de esta manera se está arriesgando la confidencialidad.

Vista la debilidad real de WEP lo recomendable es que se utilizarán claves WEP dinámicas, que cambiaran cada cierto tiempo lo que haría materialmente imposible utilizar este sistema para asaltar una red inalámbrica, pero 802.11 no establece ningún mecanismo que admita el intercambio de claves entre estaciones. En una red puede ser tedioso, o simplemente inviable, ir estación por estación cambiando la contraseña y en consecuencia es habitual que no se modifiquen, lo que facilita su descifrado.

Algunos adaptadores sólo admiten cifrado WEP por lo que a pesar de su inseguridad puede ser mejor que nada. Al menos evitaremos conexiones y desconexiones a la red si hay varias redes inalámbricas disponibles [5].

1.4.4 Otros esquemas de seguridad en redes inalámbricas

WPA (Wi-Fi Protected Access)

WPA es un estándar propuesto por los miembros de la Wi-Fi Alliance en colaboración con la IEEE. Este estándar busca corregir los problemas de WEP, mejorando el cifrado de los datos y ofreciendo un mecanismo de autenticación. WPA emplea el cifrado de clave dinámica, lo que significa que la clave está cambiando constantemente y hacen que las incursiones en la red inalámbrica sean más difíciles que con WEP.

Para solucionar el problema de cifrado de los datos, WPA propone un nuevo protocolo para cifrado, conocido como TKIP (Temporary Key Integrity Protocol), el cual amplía la longitud de la clave de 40 a 128 bits. Este protocolo se encarga de cambiar la clave compartida entre el punto de acceso y el cliente, cada cierto tiempo, para evitar ataques que permitan revelar la clave.

WPA está considerado como uno de los más altos niveles de seguridad inalámbrica para red, es el método recomendado si el dispositivo es compatible con este tipo de cifrado.

Las claves se insertan como de dígitos alfanuméricos, sin restricción de longitud, en la que se recomienda utilizar caracteres especiales, números, mayúsculas y minúsculas, y palabras difíciles de asociar entre ellas o con información personal.

WPA tiene dos muy diferentes modos de funcionamiento, en la siguiente Tabla 3 se analizan los modos de funcionamiento:

Tabla 1.3. WPA ENTREPRISE y WPA PSK

WPA Enterprise, para red empresarial	WPA PSK (Pre-Shared Key), para red doméstica
Requiere un servidor de autenticación	No requiere un servidor de autenticación
Utilización de RADIUS, protocolos de autenticación y distribución de claves	Secreto compartido se utiliza para la autenticación
Centraliza la gestión de las credenciales de los usuarios	Dispositivo orientado a la gestión de las credenciales de los usuarios

El modo PSK entra en acción cuando no se tiene un servidor RADIUS en la red. Se requiere entonces introducir una contraseña compartida en el punto de acceso y en los dispositivos móviles. Solamente podrán acceder al punto de acceso los dispositivos móviles cuya contraseña coincida con la del punto de acceso. Una vez logrado el acceso, TKIP entra en funcionamiento para garantizar la seguridad del acceso [6].

WPA proporciona seguridad adicional de:

- Exigir la autenticación mediante 802.1X
- La exigencia de volver a introducir el uso TKIP
- Para aumentar la ICV con el MIC para proteger la cabecera, así como la carga [7].

WPA2

El IEEE aprobó en julio de 2005 la norma 802.11i, una extensión de 802.11 para mejorar la seguridad. La norma WPA tiene como objetivo solucionar todas las deficiencias de WEP.

En el año 2004 aparece WPA2 que es la segunda generación de WPA, esta nueva generación proporciona cifrado con un fuerte algoritmo llamado AES (Advanced Encryption Standard), más poderoso que el TKIP utilizado por WPA [8].

Una debilidad WPA2 es una posibilidad de Denegación del Servicio durante el *4-Way Handshake*, utilizado en el proceso de asociación entre dos estaciones; con los equipos actuales, puede decirse que WPA2 ofrece un buen nivel de seguridad en comparación con WEP.

Mejoras de WPA respecto a WEP

WPA soluciona la debilidad del vector de inicialización (IV) de WEP mediante la inclusión de vectores del doble de longitud (48 bits) y especificando reglas de secuencia que los fabricantes deben implementar. Los 48 bits permiten generar 2^{48} combinaciones de claves diferentes, lo cual parece un número suficientemente elevado como para tener duplicados. El algoritmo utilizado por WPA sigue siendo RC4. La secuencia de los IV, conocida por ambos extremos de la comunicación, se puede utilizar para evitar ataques de repetición de tramas (replay).

Para la integridad de los mensajes (ICV), se ha eliminado el CRC-32 que se demostró inservible en WEP y se ha incluido un nuevo código denominado MIC.

Las claves ahora son generadas dinámicamente y distribuidas de forma automática por lo que se evita tener que modificarlas manualmente en cada uno de los elementos de red cada cierto tiempo, como ocurría en WEP.

Para la autenticación, se sustituye el mecanismo de autenticación de secreto compartido de WEP así como la posibilidad de verificar las direcciones MAC de las estaciones por la terna 802.1X / EAP / RADIUS. Su inconveniente es que requiere de una mayor infraestructura: un servidor RADIUS funcionando en la red, aunque también podría utilizarse un punto de acceso con esta funcionalidad.

Capítulo 2

WiMAX

El continuo e imparable progreso tecnológico, así como una sociedad cada vez más móvil y dependiente de las nuevas tecnologías, son algunos de los motivos que han provocado grandes cambios en los actuales sistemas inalámbricos, y que además, provocarán la adopción de nuevos estándares.

Apenas se está asimilando la aparición de las redes locales de datos inalámbricas (también conocidas como Wireless LANs); y si la movilidad con una laptop equipada con una tarjeta WiFi 802.11 en un radio de no más de 100 metros al aire libre no era suficiente, ahora empezaremos a ver en el mercado la nueva generación de redes sin cables. Su nombre: WiMAX.

Actualmente existen diversas tecnologías con las que un usuario accede a Internet. Las más comunes son por línea telefónica (dial-up), servicios de televisión por cable con canal de datos (cable módem), transmisión por línea telefónica a mayor frecuencia (DSL y ADSL) y las redes inalámbricas que cumplen con la norma IEEE 802.11, (genéricamente llamadas WiFi). Las comunicaciones por línea de telefonía celular y a través de los cables de energía eléctrica no tienen la misma penetración que las primeras, pero poco a poco se están ubicando en los sectores correspondientes del mercado.

Sin lugar a dudas, la tendencia en muchos ramos de las comunicaciones de audio, video y datos es omitir cables de cobre, fibras ópticas y otros conductores, en aras de la movilidad y omnipresencia [9].

Entre las nuevas tecnologías inalámbricas, WiMAX se perfila como un significativo avance tecnológico que revolucionará por completo el actual estatus de los enlaces inalámbricos.

Desde un punto de vista claramente optimista, las notables prestaciones y cualidades de esta innovadora tecnología de comunicación inalámbrica, así como la consolidación y certificación de los primeros productos WiMAX, permiten pronosticar una implantación masiva a corto plazo.

No obstante, y pese a que una de las cualidades de WiMAX son sus bajos costos de infraestructura, razón que justifica que esté especialmente indicado para llevar la banda ancha a las zonas rurales y a países subdesarrollados, han de realizarse todavía las labores de instalación de las estaciones base, concesión y asignación de licencias para el uso de determinadas bandas del espectro electromagnético, así como el desarrollo y distribución de los respectivos productos.

En pocas palabras, se necesita algo más de tiempo y, sobre todo, mucho dinero en inversiones para ver masificado el uso de esta tecnología. Pese a ello, hay un nutrido grupo de empresas encuadradas en el WiMAX Forum [10], comprometidas a sacar el proyecto adelante.

En cualquier caso, la competencia no se va a dejar avasallar fácilmente. De un lado, la telefonía U-TMS de tercera generación (3G) ya está desplegada y en funcionamiento, siendo la alternativa natural en aquellas áreas y espacios donde no exista cobertura ADSL (Cable Ethernet) o Wi-Fi, aunque su nivel de cobertura real deja bastante que desear, al menos en lo que a nuestro país concierne.

Pese a todo, para tratar de contrarrestar el avance WiMAX los promotores y operadores de telefonía móvil 3G ya tienen lista una mejora de la actual tecnología W-CDMA (es el sistema de acceso de radio utilizada para tercera generación de sistemas celulares), denominada HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access, se refiere al ancho de banda en teléfonos celulares) o 3.5G, que puede trabajar con las radio bases actuales y que supuestamente tiene picos de transmisión de hasta 10 Mbps

Aunque se prevé una dura rivalidad entre WiMAX y HSDPA, podemos mencionar que son complementarias, ya que, mientras WiMAX está orientado más específicamente a la transmisión de datos, las tecnologías móviles de nueva generación se inclinarán por las comunicaciones de voz, aunque debidamente acompañadas con servicios de datos.

WiMAX está llamado a ser el nuevo paso hacia un mundo sin cables. Igual que ha ocurrido con Wi-Fi en los últimos años, WiMAX será el centro de atención para los próximos años.

Por este motivo, WiMAX está considerada como una alternativa más barata a las líneas de suscripción digital y a los accesos de cable de banda ancha, ya que los costos de instalación de una infraestructura inalámbrica son mínimos si se comparan con las versiones alámbricas, las cuales, implican inversión en el tendido de cable desde el cuarto de comunicaciones hasta las estaciones de trabajo y demás dispositivos de la red, como son, impresoras, copiadoras, entre otros.

2.1 Definición

WiMAX, (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, por sus siglas en inglés), Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas, puede ser definido como una alternativa al uso de servicios de cable modem, DSL o servicios T1 para el acceso inalámbrico de banda ancha [11].

Bosquejo histórico

Si bien el término WiMAX sólo tiene algunos años, el estándar 802.16 ha existido desde fines de la década de 1990, primero con la adopción del estándar 802.16 (10-66 GHz) en abril de 2002 y luego con el 802.16a (2-11GHz) en enero de 2003.

A pesar del establecimiento del estándar 802.16a, el mercado del FWA (Fixed Wireless Access) nunca terminó de despegar, aunque vale la pena mencionar que durante ese período toda la industria de telecomunicaciones estuvo luchando.

Así, y en principio, este estándar 802.16 se enfocaba específicamente en el uso eficiente del ancho de banda, en la región comprendida entre los 10 y los 66 GHz y definía una capa de control de acceso al medio capaz de soportar múltiples especificaciones de capas físicas, desarrolladas para el uso de esta banda de frecuencia.

Poco después, se llevó a cabo la primera revisión del estándar con el objeto de incorporar una rama adicional, denominada 802.16a, con la que se pretendía cubrir el rango de frecuencias de los 2 a los 11 GHz y contempla la utilización de dos técnicas de modulación, OFDM y OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, y Orthogonal Frequency Division Multiple Access, respectivamente).

Del mismo modo, en los años sucesivos también se han ido introduciendo significativas mejoras. La última versión del estándar IEEE 802.16, la 802.16-2004, fue ratificada en julio de 2004 e incluye las versiones anteriores (802.16-2001, 802.16b/c de 2002, y 802.16a en 2003) y cubre tanto enlaces mediante línea de visión directa (LOS, Line of Sight) como aquellos sin línea de visión directa (NLOS, Non Line of Sight) en el rango de frecuencias 2 - 66 GHz.

Como es costumbre en los estándares IEEE, sólo se regulan las especificaciones de las capas PHY (Physical) y MAC (Media Access Control). Los cambios introducidos en la norma 802.16-2004 estuvieron dirigidos al desarrollo de aplicaciones de interoperabilidad en el rango de frecuencias de 2-11 GHz.

Así las cosas, los actuales sistemas WiMAX se basan principalmente en dos especificaciones, el estándar 802.16-2004 de IEEE y la norma HiperMAN de ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Dos enfoques similares en lo que se ha dado en llamar tecnología BWA (Broadband Wireless Access). La diferenciación de ambas es tremendamente importante por una razón. La primera está orientada a comunicaciones en las que las estaciones emisora y receptora tienen una línea de visión directa, algo similar a lo que ocurre con las emisiones infrarrojas de los mandos a distancia. En la segunda, las bandas de frecuencia utilizadas permiten mantener la comunicación sin que ambos extremos estén directamente enfrentados, e incluso puede haber todo tipo de obstáculos que no impiden la transmisión de datos, como ocurre con las redes Wi-Fi actuales o con la tecnología Bluetooth.

La tecnología 802.16, funciona de manera muy similar a la telefonía celular. El principal componente es una antena colocada en una torre, el segundo elemento es el receptor WiMAX, que puede ir desde una caja colocada en el techo de la casa, hasta algo tan pequeño como una tarjeta PCMCIA en una computadora portátil.

Una antena WiMAX estará conectada al proveedor de Internet (ISP) por medio de fibra óptica o cable con un alto ancho de banda y esa misma antena, en el modelo de la telefonía celular, podrá ser el punto de acceso a la red tanto de usuarios móviles como de otras antenas funcionando como repetidoras, sin conexión por cable alguno. De esta forma, la tecnología WiMAX permitirá enlazar zonas rurales o de difícil acceso, donde las compañías de telecomunicaciones no han colocado cables por el costo de instalación o mantenimiento.

Parte fundamental de la cobertura, estabilidad e impacto de las redes MAN apoyadas en WiMAX radicarán en la frecuencia de transmisión. Existen dos alternativas:

1. Cuando el equipo del usuario se encuentre en una zona con varios obstáculos (edificios, árboles, cerros, etcétera) se podrá usar una baja frecuencia, en el orden de los 2 a 11 GHz. Estas frecuencias son menos susceptibles a la pérdida del enlace por algún objeto que se interponga entre la antena WiMAX y el dispositivo del usuario. El precio por pagar para mantener la conectividad, es que el ancho de banda también será inferior a los 54 Mbps
2. Si existe línea de vista, es decir, cero obstáculos entre la antena WiMAX y el equipo del usuario, se podrá optar por una mayor frecuencia, hasta 66 GHz, con el considerable incremento en el ancho de banda. La norma 802.16 establece un tope de 70 Mbps

A partir de las variaciones en el uso de frecuencias, es claro determinar que equipos de mayor capacidad, como es el caso de los routers, preferentemente estarán asociados a una conexión de alta frecuencia con las antenas WiMAX; y los equipos de mayor movilidad, como las computadoras portátiles, seguirán asociándose a redes WiFi o WiMAX en menores frecuencias y anchos de banda [12].

La primera generación de productos certificados se refiere a unidades exteriores que funcionarán en aplicaciones con o sin línea de vista entre equipos, ofreciendo limitados anchos de banda y sin movilidad. Se necesitará instalar el equipo en cada hogar donde se desee disfrutar de radiofrecuencia WiMax. En este primer momento se contará con las mismas prestaciones de un acceso básico a Internet.

La segunda generación será para interiores, con módems auto instalables similares a los módems de cable o DSL. En ese momento, las redes WiMAX ofrecerán movilidad para que los clientes lleven su computadora portátil o modem WiMAX a cualquier parte con cobertura.

2.2 Estándar 802.16 (WiMAX)

Es un estándar inalámbrico metropolitano creado por las empresas Intel y Alvarion en 2002 y ratificado por el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) denominado IEEE-802.16 [13].

El estándar WiMAX apoya en forma nativa la calidad de servicio, es decir, la capacidad de garantizar que un servicio funcione cuando se utiliza. En la práctica, WiMAX permite que el ancho de banda se reserve para un propósito determinado. Algunas aplicaciones no pueden funcionar cuando se produce un cuello de botella. Éste es el caso de Voz sobre IP (*VoIP*) ya que la comunicación por voz es ineficaz si se introducen vacíos de segundos. [14].

El estándar IEEE 802.16 hace referencia a un sistema BWA de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance, escalable, y que permite trabajar en bandas del espectro tanto "licenciado" como "no licenciado". El servicio, tanto móvil como fijo, se proporciona empleando antenas sectoriales tradicionales o bien antenas adaptativas con modulaciones flexibles que permiten intercambiar ancho de banda por alcance.

El estándar IEEE 802.16 se creó con el objeto de agilizar la expansión de los servicios de banda ancha, debido al hecho de que los sistemas no cableados son más rápidos de implementar siendo a su vez más económicos. Además, los sistemas que se basen en el estándar 802.16-2004 tendrán la ventaja de ser interoperables entre los diferentes vendedores, lo cual disminuye los costos de implementación. Para el estándar se han dispuesto varias bandas de frecuencias [16]:

- Bandas 10-66GHz licenciada
- Bandas por debajo de 11GHz
- Bandas no licenciadas (5-6GHz)

Tipos de modulación

En el estándar IEEE 802.16 el nivel físico incluye distintos tipos de modulación para garantizar una confiabilidad de 99.99 %, OFDM, FDD, TDD, QPSK, QAM.

La base del OFDM reside en la combinación de múltiples portadoras moduladas solapadas espectralmente, pero manteniendo las señales moduladas ortogonales, de manera que no se producen interferencias entre ellas. Otra ventaja del OFDM es la capacidad para gestionar los diferentes retardos que se producen en señales que padecen multitrayecto.

FDD, se basa en la utilización de dos bandas diferentes de frecuencia para la transmisión, una para envío y otra para la recepción. Esta técnica es la utilizada por la telefonía móvil GSM y 3G. FDD es la que mejor se adapta al tráfico de voz, ya que permite tener un retardo mínimo, pero, es la que requiere una implementación más costosa debido a la adquisición de la licencia para operar en el espectro.

TDD, a diferencia de la técnica FDD, se utiliza una única banda de frecuencia para envío y recepción de información, compartiendo los periodos de transmisión. Es una técnica muy eficiente para tráfico asimétrico, ya que se adapta al perfil del tráfico, por lo que se considera más adecuado para perfiles con descargas masivas de Internet [15].

QPSK, (Quadrature, Phase Shift Keying), es una forma de modulación en la que la señal se envía en cuatro fases: 45, 135, 225 y 315 grados, y el cambio de fase de un símbolo al siguiente, codifica dos bits por símbolo. QPSK ofrece la misma eficiencia de potencia, utilizando la mitad de ancho de banda.

QAM, (Quadrature Amplitude Modulation), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida [16].

En la siguiente Figura 2.1, se muestra el tipo de modulación utilizado tomando como referencia el alejamiento a la estación base.

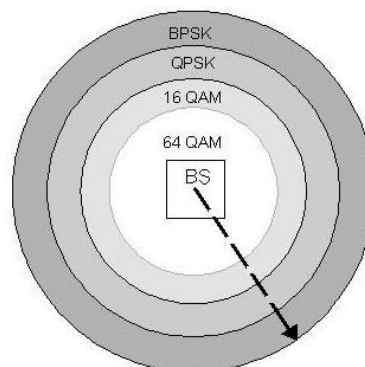


Figura 2.1. Modulación utilizada con respecto a la distancia.

A continuación se hablará acerca de la estructura de la trama y funcionamiento de las capas concernientes al estándar IEEE 802.16, las cuales se estructuran como se muestra en la siguiente figura 5:

Todas las tramas MAC del estándar IEEE 802.16, comienzan con un encabezado genérico. A este le sigue una carga útil y una suma de verificación (CRC) opcionales, como se ilustra en la figura 5. La carga útil no es necesaria en las tramas de control, por ejemplo, en las que solicitan ranuras de canal. La suma de verificación también es opcional, debido a la corrección de errores en la capa física y al hecho de que nunca se realizará un intento de retransmitir tramas en tiempo real.

En las figuras 2.2 (a) y 2.2 (b) se indica la estructura de la trama del estándar 802.16, una trama genérica y una trama con solicitud de ancho de banda, respectivamente.

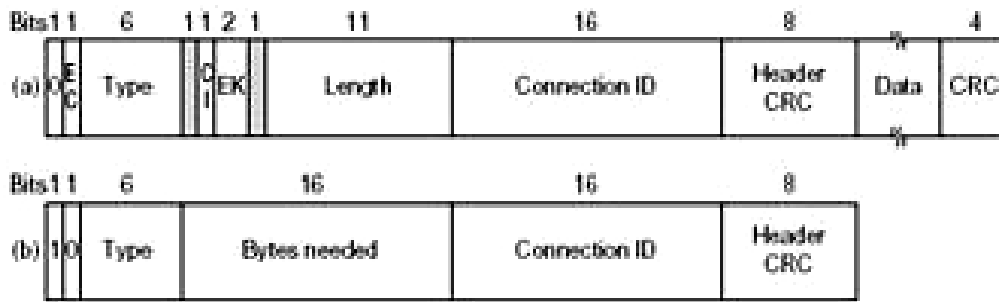


Figura 2.2. (a) ejemplo de una trama genérica. (b) una trama de solicitud de ancho de banda.

En la figura 5 (a) el bit EC indica si la carga útil está cifrada. El campo Tipo identifica el tipo de la trama e indica principalmente si hay empaquetamiento y fragmentación. El campo CI indica la presencia o ausencia de la suma de verificación final. El campo EK indica cuál de las claves de cifrado se está utilizando (si es que se está utilizando alguna). El campo Longitud proporciona la longitud exacta de la trama, incluyendo la del encabezado. El Identificador de conexión indica a cual conexión pertenece esta trama. Por último, el campo CRC de encabezado es la suma de verificación sólo del encabezado, que utiliza el polinomio $x^8 + x^2 + x + 1$.

En la figura 2.3 (b) se muestra un segundo tipo de encabezado, para tramas que solicitan ancho de banda. Comienza con un bit 1 en lugar de uno 0 y es similar al encabezado genérico, excepto que el segundo y tercer bytes forman un número de 16 bits, lo que indica la cantidad de ancho de banda necesaria para transmitir el número de bytes especificados. Las tramas de solicitud de ancho de banda no transmiten datos útiles o un CRC de la trama completa.

En la figura 2.3 se muestra la estructura de la capa MAC para el estándar IEEE 802.16.

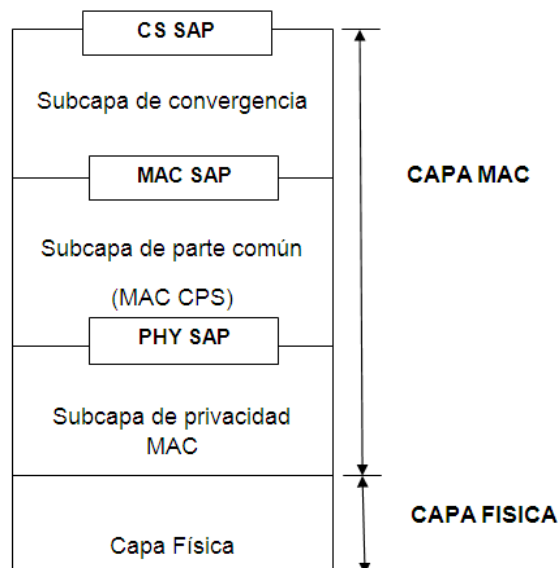


Figura 2.3. Estructura trama de capa MAC y capa FISICA

Capa MAC (MAC LAYER)

Esta capa es la encargada de validar las tramas que se reciben, comprobando errores de transmisión y verificando el destinatario, es decir, si está o no dirigida al propio elemento que las recibe.

Esta capa fue diseñada para gestionar los accesos a las aplicaciones PMP de banda ancha de muy alta tasa de datos y con una distinta variedad de requerimientos de calidad de servicios, por lo que está orientada a la conexión. Esta capa también se encarga de manejar la necesidad de tener muy alta tasa de bits, tanto para el uplink (UL), hacia la BS, como para el downlink (DL), desde la BS.

La capa MAC que es la encargada de coordinar el acceso al medio está compuesta de 3 subcapas: parte común, convergencia y seguridad, las cuales se explican a continuación.

MAC Common Part Sublayer (MAC CPS)

Es la base de la toda la capa MAC, provee los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión.

En esta subcapa se prestan los servicios de planificación que representan los mecanismos de manipulación de datos soportados por el planificador de la MAC para el transporte de datos en una conexión, cada una de las cuales está asociada a un solo servicio de datos el cual a su vez, está asociado a unos parámetros de QoS que son quienes determinan su comportamiento.

Existen cuatro tipos de servicios:

- Concesión no Solicitada (UGS)
- *Polling* en tiempo real (rtPS)
- *Polling* no en tiempo real (nrtPS)
- Mejor Esfuerzo (BE)

En esta capa se establecen los protocolos de unidad de datos (PDUs), así como también se realiza el intercambio de la unidad de servicios de datos de MAC (SDU), con la capa de convergencia.

Service-Specific Convergence Sublayer (CS): Se encarga de transformar los datos de las redes externas y pasarlos a la MAC CPS convertidos en SDU y viceversa, que son las unidades de datos que se transfieren entre capas adyacentes. También se encarga de clasificar los SDUs de las MAC entrantes a las conexiones a las que pertenecen.

Security Sublayer: Presta los servicios de autenticación, intercambio seguro de claves y cifrado. Permite proveer a los usuarios un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión fija mediante el cifrado de las conexiones, y

En la figura 2.4 se muestra de manera simplificada las tareas que realizan cada una de las subcapas de la capa de acceso al medio.

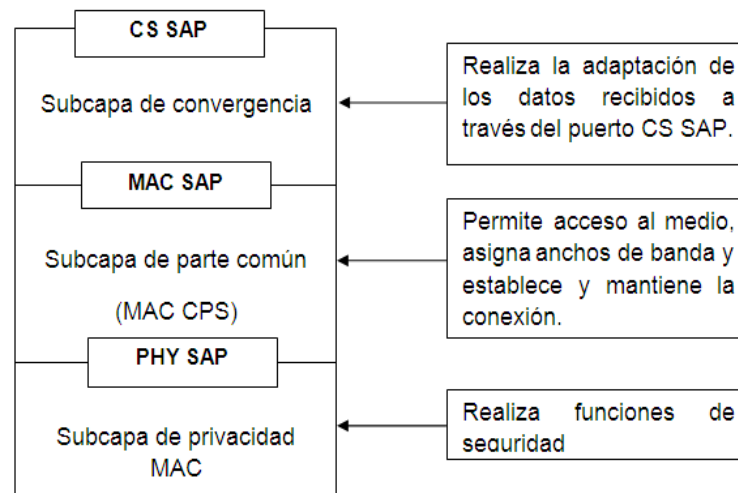


Figura 2.4. Tareas de las subcapas presentes en la capa MAC.

La PDU se refiere a la unidad de datos de la capa MAC que intercambia dicha capa con la BS y la SS, la cual está conformada por una cabecera de longitud fija, una carga útil de longitud variable y un ciclo redundante de control (CRC), en esta capa se utilizan tres tipos de subcabeceras:

- Subcabecera de gestión de concesión: es utilizada por la SS para transportar la gestión del ancho de banda necesario por su BS.
- Subcabecera de fragmentación: contiene información que indica la presencia y orientación en la carga útil de cualquier fragmentación SDU.
- Subcabecera de empaque: es usada para indicar el empaquetamiento de múltiples SDU en un único PDU.

Para la transmisión de PDUs se consideran dos procesos, el de fragmentación y el de empaque. **El proceso de fragmentación** es donde un SDU es dividido en varios fragmentos, en cambio, **el proceso de empaque** es en el que varios SDUs son empaquetados en una sola carga útil de PDU, dichos procesos se ejemplifican en la siguiente figura 2.5, en la cual se puede apreciar su funcionamiento, para el caso del proceso de empaquetado, cada paquete será insertado inmediatamente después de la cabecera, en cambio, en el proceso de fragmentación los paquetes son insertados antes de cada una de ellas.

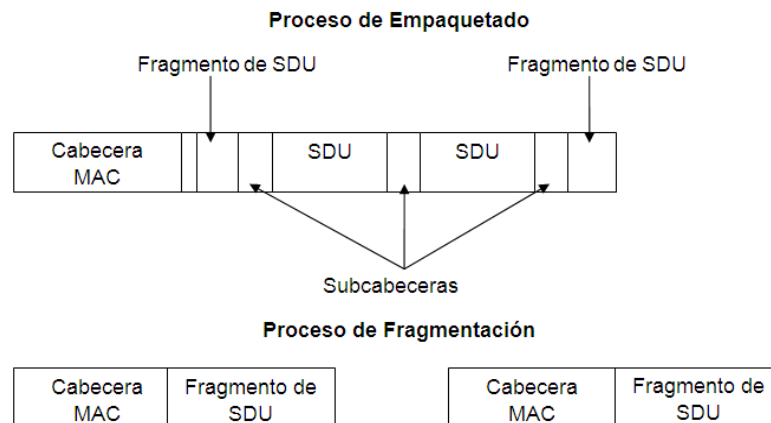


Figura 2.5. Procesos de empaquetado y fragmentación

Redes Punto-Multipunto (PMP)

El estándar, soporta una arquitectura PMP en la banda 10-66 GHz. Para esta topología de red, el DL se maneja mediante una estación base (BS) centralizada y una antena sectorizada que es capaz de manejar varias zonas simultáneamente.

Dentro de un canal de frecuencia y un sector de antenas dado, sólo existe una BS transmitiendo, de manera que no se tiene que coordinar con las demás BS, excepto en la multiplexación de tiempo. El DL es generalmente de tipo *broadcast* y el UL se maneja bajo demanda dependiendo de la clase de servicio.

En la figura 2.6, se aprecia un ejemplo de una topología PMP.

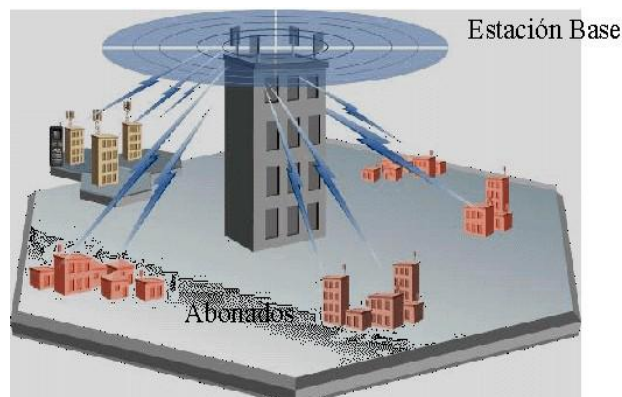


Figura 2.6. Ejemplo topología punto-multipunto

Redes Enmalladas (Mesh)

Las redes enmalladas son aquellas en las que la comunicación se puede hacer entre los diferentes nodos y no sólo entre nodo y estación base. En la Figura 2.7 se puede observar una implementación de una red en malla.

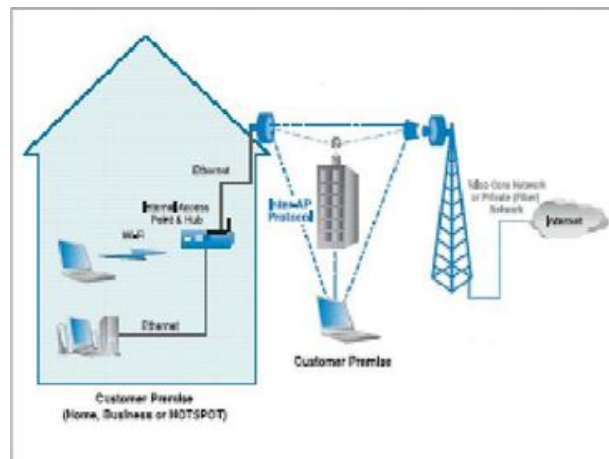


Figura 2.7. Topología en malla

Para este tipo de redes, se pueden realizar las operaciones de dos maneras diferentes: distribuida ó centralizada: Para la distribuida, todos los nodos deben coordinar con los demás la manera de transmitir para evitar colisiones con los datos y realizar el control de tráfico, y además deben enviar por difusión (*broadcast*) su respectivo estado (recursos disponibles, peticiones y concesiones) a todos sus vecinos; para la centralizada, los recursos se asignan de una manera más concentrada, ya que la estación base *Mesh*, recopila varias peticiones de un determinado sector y otorga los respectivos recursos para cada enlace, tanto para el *downlink* como para el *uplink*, al mismo tiempo que comunica estas decisiones a las demás estaciones del sector.

Capa FÍSICA (PHY)

En esta capa, el flujo de datos se conforma por una secuencia de ráfagas de igual longitud, los modos de operación FDD y TDD, se consideran tanto para UL como para DL.

En el modo FDD, las subráfagas de UL y DL, son transmitidas simultáneamente y sin interferencia, debido a que son transmitidas a distintas frecuencias. En el modo TDD, las subráfagas de UL y DL, se transmiten de manera consecutiva.

Una de las características más relevantes de esta capa, es el hecho de que, adapta el tipo de modulación a la característica de la conexión específica del enlace, así, para conexiones cercanas QAM 64, consiguiendo de esta manera, una mayor velocidad y robustez frente a interferencias. En conexiones que impliquen una mayor distancia puede seleccionar QAM 16 o QPSK, obteniendo un mayor alcance, pero, a una menor velocidad.

Para esta capa se han definido cuatro especificaciones diferentes, para satisfacer las necesidades de las diferentes aplicaciones específicas:

- WirelessMAN-SC PHY
- WirelessMAN-SCA PHY
- WirelessMAN-OFDM PHY
- WirelessMAN-OFDMA PHY

WirelessMAN-SC PHY

Está diseñada para bandas de frecuencia entre 10GHz y 66GHz con multiplexación tipo TDD o FDD para optimizar el uso del espectro, en canales de frecuencia que pueden estar entre 20 y 28 MHz, y los anchos de banda para la transmisión están entre 32 y 134.4 Mbps; estos valores varían dependiendo de la técnica de modulación utilizada, la cual puede ser QPSK, 16-QAM ó 64-QAM.

El enlace de subida está basado en una combinación de TDMA y DAMA, (Demand Assigned Multiple Access), dividido en intervalos de tiempo los mismos que son controlados por la MAC en la estación base y que varían en el tiempo para que sea óptima la transmisión.

El canal de bajada es TDM que tiene la información de cada suscriptor la cual es multiplexada sobre una cadena individual de datos y que es recibida por todos los suscriptores que pertenecen al mismo sector.

WirelessMAN-SCA PHY

Está basada en una tecnología de una sola portadora para aplicación NLOS en las bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz. Para las bandas que requieren licencia, el ancho de banda del canal debe ser igual al ancho de banda asignado por el ente regulador dividido entre una potencia de dos ($2n$) sin llegar a ser menor a 1.25MHz. Debe soportar bien sea TDD o FDD para el uso del espectro y las modulaciones que implementa son: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM.

WirelessMAN-OFDM PHY

Está basado en la modulación OFDM para ambientes NLOS y en bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz. Su orientación son principalmente los accesos fijos como residencias y empresas.

Los símbolos OFDM están conformados por cierto número de subportadoras, el cual depende de la FFT (Fast Fourier Transform) que se aplique (en este caso 256), las 256 subportadoras están asignadas de la siguiente manera:

- 192 son usadas para datos del usuario.
- 56 nulos por banda de guardia.
- 8 usadas con símbolos pilotos permanentes.

Las modulaciones que se usan son: BPSK, QPSK, 16- QAM Y 64-QAM (opcional en bandas no licenciadas).

WirelessMAN-OFDMA PHY

Esta especificación está diseñada para enlaces NLOS en bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz, con canales para bandas licenciadas de ancho igual al ancho de banda asignado por el ente regulador al operador dividido entre

alguna potencia de dos (2x) sin ser menor a 1.0MHz utilizando modulaciones QPSK, 16-QAM ó 64-QAM [16].

Calidad de servicio (QoS)

Una red debe garantizar que pueda ofrecer un cierto nivel de calidad de servicio para un nivel de tráfico que sigue un conjunto especificado de parámetros, los cuales, son, control de velocidad de transmisión, específicamente la velocidad mínima, control de latencia, control de la variación del retardo (jitter) y control de la pérdida de paquetes o tasa de bits errados.

La capa MAC es responsable de hacer diferencia entre los diversos niveles de QoS requeridos por las aplicaciones (servicios multimedia, VoIP, streaming de video, entre otras) que pueden correr a través de 802.16. Esta capa, tiene como filosofía la petición/asignación de ancho de banda, con distintas variantes (por conexión o por terminación de cliente CPE), pudiendo ser esta asignación vía polling en tiempo real, polling no en tiempo real o en régimen de mejor esfuerzo (best- effort).

El establecimiento de la calidad de servicio (QoS) para 802.16 se hace basado en el CID, tanto para modo PMP como para modo Mesh. Un aspecto importante respecto al tema de la QoS es el modelo de petición concesión de ancho de banda, que ayuda para que unos usuarios no se interfieran con los demás, ya que la BS reserva un *slot* para contención, durante el cual una SS realiza una petición de un *slot* para el uplink, y luego la BS evalúa el nivel de servicio adquirido por ese usuario y le asigna un *slot* para que éste transmita la información.

Otro elemento que vale la pena resaltar es el del manejo de la rata de transmisión de datos (data- rate) individualmente para cada enlace, lo que permite al sistema utilizar una modulación diferente dependiendo de si el usuario está lejos o cerca de la BS permitiendo así optimizar la velocidad de transmisión que pueda experimentar el suscriptor [17].

En la Tabla 2.1 se presenta un resumen de los estándares 802.16 y sus características.

Tabla 2.1. Resumen Estándares 802.16 [18].

	802.16	802.16a	802.16e
Espectro	10 - 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Funcionamiento	Solo con visión directa	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	Movilidad pedestre
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 máximo de unos 50 km)	2 - 5 km aprox.

2.3 Características principales

- WiMAX es NLOS (*Non Line of Sight*). Esto significa que no necesita la línea de visión de las antenas. Coloquialmente hablando, 'Sube y baja colinas'.
- WiMAX posee modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation*), que permite la transmisión simultánea de señales múltiples a través de cable o por aire en diversas frecuencias, con el espaciamiento ortogonal de estas frecuencias para prevenir interferencias;
- Soporte para antenas inteligentes, las cuales mejoran la eficiencia espectral en sistemas inalámbricos y distintos tipos de antenas.
- El estándar IEEE 802.16a soporta dos topologías de red: el punto-multipunto y la topología *mesh* (malla). La topología *mesh* permite comunicación de cliente a cliente;
- Calidad de Servicio (*quality of service*): el QoS califica una operación NLOS sin la distorsión severa de la señal debido a la existencia de edificios, las condiciones del tiempo (meteorología) y vehículos;
- Soporte a FDD y TDD, (*frequency division duplexing* y *time division duplexing, respectivamente*): esto para permitir la interoperabilidad con los sistemas celulares y otros sistemas inalámbricos;
- Seguridad: El estándar IEEE 802.16 incluye medidas para privacidad y criptografía inherentes en el protocolo. El estándar implementa la autenticación de los instrumentos con certificados x.509 usando DES en modo CBC (*cipher block chaining*). Soporta algoritmos AES (*Advanced Encryption Standard*);
- Opera en bandas licenciadas y no licenciadas. En banda licenciada en 2.4 y 3.5 GHz. para transmisiones externas en largas distancias. En banda libre en 5.8, 8 y 10.5 GHz;
- Tasa de transmisión de hasta 70 Mbps. Los espectros de frecuencias son: IEEE 802.16a 2 a 11 GHz y IEEE 802.16e 2 a 6 GHz;

- Alcance de 50 Kilómetros (NLOS) y en áreas de densidad demográfica alta de 8 hasta 10 kilómetros;
- Utilizado para la transmisión de voz, vídeo y datos [19].

2.4 Ventajas y desventajas

A continuación algunas de las ventajas de WiMAX con respecto a WiFi y las conexiones por ADSL y cable.

- *WiMAX es barato*
A través de WiMAX es posible ahorrar cientos y quizás miles de kilómetros de cables, además del personal encargado de instalar los cables. Las antenas de distribución de WiMAX son baratas ya que cuestan entre 20 y \$25,000 USD, en comparación con una antena de telefonía celular, la que llega hasta los \$100,000 USD. Por lo tanto WiMAX es barato para el distribuidor y para el cliente.
- *WiMAX es de largo alcance*
Mientras WiFi tiene un alcance de hasta 100 metros, WiMAX puede alcanzar 48 km. Las conexiones por ADSL y cable tampoco alcanzan ese rango de cobertura, ya que generalmente mientras más distancia hay desde el punto central de distribución menos suscriptores existen y por lo tanto se hace inviable económicamente.
- *WiMAX ofrece excelentes velocidades de transmisión de datos*
En condiciones ideales WiMAX puede llegar a 75 Mbps, comparado con las 54 Mbps de WiFi y los 10 Mbps como máximo que ofrecen los proveedores de Internet a través de ADSL y cable [20].

A continuación se muestran algunas desventajas:

- Implementación todavía complicada por falta de elementos para tener una red móvil administrable y operable en forma eficiente.
- La falta de un marco regulatorio adecuado, por lo que los costos de las licencias pueden tener un impacto negativo.
- *Interferencia.* ¿Se degradará la señal del servicio WiMAX por la intervención de otros difusores?
- *Calidad en el servicio (QoS).* El ámbito inalámbrico es inherentemente inestable, por lo tanto, ¿cómo es posible que WiMAX ofrezca servicio de voz y datos?
- *Seguridad.* ¿Es WiMAX seguro? ¿Puede lo inalámbrico ser seguro?
- *Confiabilidad.* Nada puede ser tan confiable como el servicio ofrecido por las compañías de teléfono, que ofrecen 5 minutos de tiempo muerto (downtime) por año [19].

2.5 Aplicaciones

Las primeras versiones de WiMAX están pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto, típicas de los radioenlaces por microondas. Las próximas ofrecerán total movilidad, por lo que competirán con las redes celulares.

Los primeros productos que están empezando a aparecer en el mercado se enfocan a proporcionar un enlace de alta velocidad para conexión a las redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto.

Así, WiMAX puede resultar muy adecuado para unir hot spots Wi-Fi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento Wi-Fi es relativamente barato pero un enlace E1 o DSL resulta caro y a veces no se puede desplegar, por lo que la alternativa radio parece muy razonable. WiMAX extiende el alcance de Wi-Fi y provee una seria alternativa o complemento a las redes 3G.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radioenlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un costo muy competitivo frente a otras alternativas.

En los países en desarrollo resulta una buena alternativa para el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia, (es el tiempo o lapso necesario para que un paquete de información se transfiera de un lugar a otro) [21].

La instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, por lo que por los operadores móviles puede ser visto como una amenaza, pero también, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad [22].

Triple and Quadruple Play

La meta en la comunidad de proveedores de servicios es ofrecer “triple play” (voz, video y datos), o “quadruple play” (voz, video datos así como también voz y datos móviles). Algunos proveedores están intentando implementar realizar esto mediante diferentes esquemas de redes, como se muestra en la figura 11.

Es difícil y costoso ofrecer más de un tipo de servicio en cualquier tipo de redes, la solución es IMS (IP Multimedia Subsystems, por sus siglas en ingles).

En la figura 2.8 se puede observar el tipo de servicio ofrecido en relación con el tipo de red utilizado [23].



Figura 2.8. Tipo de servicio ofrecido para cada esquema de red utilizado.

IMS

La visión de IMS se basa en redes “all-IP” las cuales permitirán a los clientes acceder a varios servicios sin importan como accedan a la red (cable modem, DSL, celular, Wi-Fi o WiMAX), dicho de otra manera, un suscriptor podrá acceder a cualquier servicio desde cualquier dispositivo. En la Figura 2.9 se muestra como IMS permite ofrecer varios servicios independientemente del método de acceso [23].

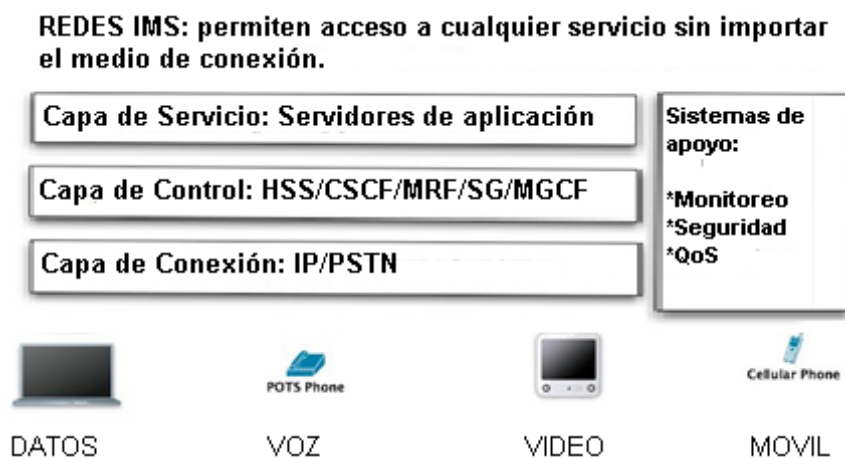


Figura 2.9. IMS permite a los suscriptores accede a cualquier servicio sin importar el dispositivo y forma de acceso que utilice.

Aplicaciones Fixed Wireless (IEEE 802.16-2004)

Sin embargo, una de las aplicaciones más lucrativas para WiMAX es la de sustituir a las compañías telefónicas, lo cual se puede lograr mediante “fixed wireless” ya que en la mayor parte de las ciudades de USA los suscriptores reciben su acceso a Internet vía una compañía telefónica, lo cual representa un gasto de aproximadamente \$800 dlls. por mes, con un proveedor de servicios WiMAX este costo se reduce a \$400 dlls con un ancho de banda equivalente a un enlace T1 (1.54 Mbps), [23].

WiMAX VoIP

La solución “fixed wireless” no solo permite ofrecer un nivel de acceso a internet competitivo, también se puede lograr lo mismo con los servicios de telefonía, utilizando VoIP (Voice over Internet Protocol), ofreciendo un amplio rango de estos servicios a un bajo costo para los suscriptores y proveedores de servicio.

Cuando WiMAX integra todos estos servicios, se convierte en una opción sumamente atractiva para suscriptores residenciales compitiendo directamente con compañías telefónicas [23].

WiMAX e IPTV

La tercera parte del “triple play” se refiere al IPTV, (Internet Protocol Television), lo cual habilita a los proveedores de servicios WiMAX a ofrecer la misma programación que la televisión por cable o vía satélite. IPTV requiere como mínimo 1 Mbps de ancho de banda entre la estación base (BS) y el suscriptor.

En la figura 2.10 se puede apreciar cómo por medio de una BS se pueden gestionar los servicios antes mencionados.

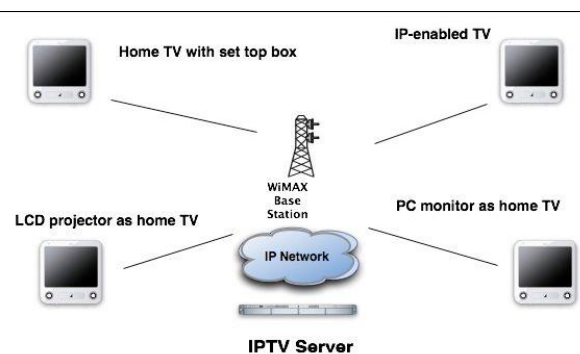


Figura 2.10. IPTV y video bajo demanda habilitan a los proveedores de servicios WiMAX para ofrecer programación idéntica a los servicios de televisión por cable o satelitales.

Adicionalmente a la programación de IPTV el proveedor de servicios puede ofrecer video bajo demanda, de esta manera, un suscriptor puede seleccionar programación a la carta para su televisión. Por lo tanto un suscriptor puede solo pagar por lo que desea ver y evitar pagar por infinidad de canales que no son de su agrado [23].

2.6 Casos de éxito

WiMAX en México

WiMAX empezó su proceso de despliegue en México al anunciar a la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) en su Programa de Licitaciones

2007, que se subastaran 150 Mhz en las bandas de 3.4-3.6 y 3.6-3.7 GHz, mismas que promoverán el acceso a los servicios inalámbricos de banda ancha o WiMAX.

Muchos funcionarios públicos consideran a WiMAX como el vehículo para asegurar la existencia de mercados competitivos de banda ancha en México. Sin embargo, el rol que jugará WiMAX en el mercado inalámbrico es discutible. Muchos de sus defensores tienen la visión de que WiMAX cambiará la manera en que todos accedamos a Internet en pocos años. Pero sus detractores afirman que las grandes economías de escala que promete WiMAX no están justificadas, señalando que los equipos pre-WiMAX para operadores y consumidores podrían implicar altos costos de despliegue.

La evolución de las redes de 3G es una amenaza al éxito de WiMAX. Muchos operadores de 3G muestran poco interés en WiMAX móvil y están más interesados en actualizaciones de sus propias redes móviles que les permitan competir con las tecnologías WiMAX debido a los altos costos en que incurrieron para desplegarlas, por lo que esperan que sus actualizaciones a banda ancha inalámbrica de alta velocidad pueda replicar las exitosas transformaciones de CDMA 2000 1x a tecnologías EV-DO de alta velocidad.

Asimismo, las redes de tercera generación ya están suministrando transmisión de datos a alta velocidad en áreas donde estas habían sido desplegadas. Sin embargo, el ancho de banda disponible en la célula es compartido por todos los usuarios que utilizan la célula. Si en la actualidad las redes WCDMA y CDMA-2000 1x no pueden ofrecer el ancho de banda que WiMAX ofrecerá, las actualizaciones de ambas tecnologías prometen mayor velocidad comparable a la de WiMAX.

Por lo anterior, puede pronosticarse que en las zonas rurales sin opciones alternativas de banda ancha, las conexiones WiMAX fijas serán las únicas que suministren servicios multiplay de voz, datos y video a las casas, mientras que en las zonas urbanas el papel del WiMAX fijo probablemente será como red de soporte de las diferentes tecnologías WLAN, como la de Wi-Fi.

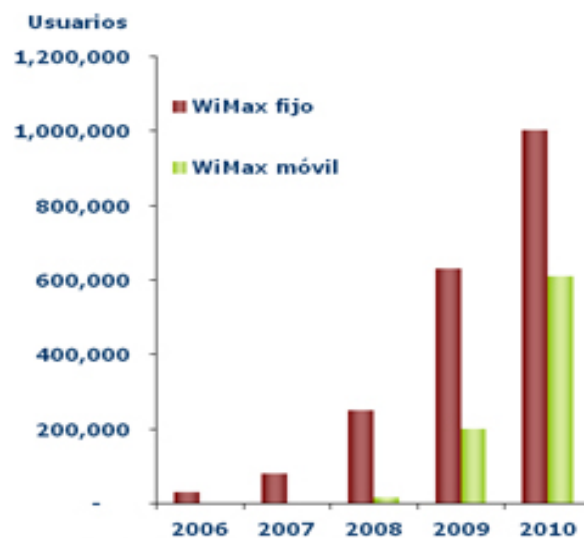
Por su parte, WiMAX móvil puede tener un papel más importante en las áreas urbanas debido a que puede llenar un hueco de conectividad entre las redes de datos de 3G y las de Wi-Fi, ya que las redes 3G ofrecen alta movilidad pero a velocidades de transmisión de datos bajas, mientras que las redes Wi-Fi ofrecen mayor velocidad de transmisión de datos pero en un ambiente nómada dentro de un rango máximo de 150 metros. Asimismo, la versión móvil de WiMAX puede ser la más eficiente conexión para transmitir datos a usuarios al aire libre. El ancho de banda más limitado de las redes 3G probablemente las volverá las redes elegidas por los usuarios que requieran en todo momento alta movilidad, como los pasajeros de trenes o de vehículos en movimiento. Sin embargo, los usuarios que se muevan a menor velocidad seleccionaran conexiones WiMAX [24].

En México, sólo un grupo reducido de operadores entre los que destacan Telmex y Axtel, cuenta con las concesiones para operar en la frecuencia de 3.5

GHz sobre la cual podría desarrollarse WiMAX móvil. Algunos factores que han inhibido el desarrollo de WiMAX en el país son, por un lado, la infraestructura, ya que se requiere instalar radiobases (para incrementar el número de AP), además de que los equipos de cómputo requieren una tarjeta de red para acceder a WiMAX y el otorgamiento de las concesiones del espectro.

En la Gráfica 1 se puede observar un estimado de las cuentas que WiMAX podría alcanzar en los próximos años.

Este comportamiento estará sustentado en la migración de los usuarios de Axtel de otras tecnologías hacia WiMAX, así como la incursión de nuevos usuarios atraídos por proyectos especiales, y el atractivo de movilidad [25].



Gráfica 2.1 Posible alcance de las cuentas WiMAX en México en los próximos años.

WiMAX y las empresas mexicanas

AXTEL

Apoyada por Intel, la empresa mexicana de comunicaciones Axtel pondrá en marcha iniciativas que permitan el desarrollo de redes de servicio basadas en la tecnología WiMAX.

Axtel es la primera compañía de telecomunicaciones en nuestro país en aprovechar este tipo de tecnología, con base en la cual pretende ofrecer una convergencia tecnológica de servicios en una red multimodal con niveles de servicio *carrier class*.

Esta infraestructura permitirá a los clientes de Axtel contar con recursos de banda ancha para equipos inalámbricos y, en un futuro, también para equipos móviles, entre otros beneficios.

En una etapa inicial el servicio de banda ancha será desplegado en Monterrey, dentro de un proyecto de colaboración tecnológica promovido por el Gobierno del Estado de Nuevo León, Intel y la propia Axtel [26].

De acuerdo con lo que se comentó en la reunión primavera 2008 CUDI [27], dicha empresa tiene contemplado el despliegue WiMAX para este 2008, en 27 ciudades de la República Mexicana, entre ellas se encuentra la ciudad de Morelia, Michoacán.

TELMEX

Ofrecerá en Latinoamérica el servicio a pequeñas empresas y centros residenciales para aumentar ganancias.

Teléfonos de México (Telmex) impulsará la venta de tecnología inalámbrica, como WiMAX, para centros residenciales y pequeñas empresas en Latinoamérica, anunció un ejecutivo de la empresa, sin precisar alguna fecha de lanzamiento.

A fin de contrarrestar las escasas ganancias en México —donde lleva seis años sin aumentar las tarifas— e impulsar su crecimiento, Telmex está buscando acceso a los mercados de Sudamérica, en primera instancia.

A fin de tener acceso a las unidades residenciales y a las pequeñas empresas, Telmex ha comprado operadores de televisión por cable y ha pedido licencias para empresas de servicios inalámbricos como WiMAX y Wireless Local Loop (WLL).

La empresa mexicana firmó una carta de intención para pagar 22.5 millones de dólares por la argentina Ertach, que proporciona servicios de telecomunicaciones a 70 ciudades con WiMAX y WLL.

Telmex ya tiene licencias para servicios inalámbricos de 3.3GHz en Argentina y de 3.5GHz en Perú, Chile y Brasil, dijo Von Hauske. Además, la empresa está buscando la licencia para prestar servicios de 3.5GHz en Colombia.

Las intenciones de Telmex de prestar servicios triples —teléfono, televisión e Internet en una misma red— surge en medio de las gestiones de las autoridades reguladoras mexicanas para implementar normas que permitirían a las empresas de televisión por cable prestar servicios telefónicos y de Internet [28].

Hospital ABC de la ciudad de México

Veamos el siguiente caso, en las azoteas del hospital ABC de la Ciudad de México, el potente zoom de la cámara analógica captura la imagen del ladrón que desvalija uno de los autos estacionados enfrente del nosocomio. Gracias a la tecnología WiMAX, la imagen es enviada desde ahí hasta la Secretaría de Seguridad Pública y la Delegación Miguel Hidalgo, a más de 4 kilómetros, y

servirá de prueba contra el delincuente que ya está por ser capturado [29], a continuación, Avantel.

AVANTEL

Avantel, empresa de telecomunicaciones propiedad del grupo financiero Banamex, con más de 3 mil 500 usuarios corporativos, ya ofrece los servicios de Net Voice, basados en la tecnología inalámbrica WiMAX, que le permiten a la compañía expandirse con más usuarios y con más servicios para esos clientes, sin necesidad de abrir calles para introducir fibra óptica [29], otro caso de éxito, Ultranet.

ULTRANET (Ultranet2Go)

Otra empresa que ha saltado al ruedo de WiMAX es Ultranet, unidad operativa de ZOMA TELECOM, un operador con televisión de cable inalámbrico (Ultravisión), estaciones radiales y otros servicios de comunicaciones en México. Con su servicio Ultranet2go, ofrecen acceso de banda ancha inalámbrica personal en las ciudades de Puebla y Cholula, en el estado de Puebla [29].

La empresa se asoció con Navini Networks, empresa miembro del WiMAX Forum, para ofrecer acceso instantáneo de alta velocidad a 3 millones de usuarios potenciales y dar cobertura contigua de más de 155 kilómetros cuadrados a usuarios de los sectores residencial, empresarial y profesional. La empresa asegura que sus usuarios estarán magníficamente posicionados para aprovechar el acceso móvil de banda ancha inalámbrica de próxima generación, WiMAX móvil, basado en 802.16e [29].

WiMAX en Durango

En Durango, el gobierno redujo el gasto de infraestructura y servicios que tenía que hacer para enlazar todas las dependencias de gobierno dentro de la ciudad.

En esta entidad querían tener una sola red, y la primera propuesta fue instalar una de fibra óptica, a un costo altísimo.

El gobierno del estado se acercó a Intel y lo que se hizo fue introducir WiMax. Sólo en infraestructura y servicios por conectar edificios que estaban uno enfrente del otro, por los que pagaban a un proveedor de servicio para salir a una red pública, el ahorro fue enorme.

El costo que tenía la primera propuesta para fibra óptica era de 4 millones de dólares. Con WiMAX el gasto fue de 200 mil pesos, con la ventaja de que hoy tienen su propia infraestructura, la cual controlan ellos mismos, ahorrándose el pago a terceros [29].

INTEL-tres frentes

WiMAX, advirtió, si bien es muy atractiva y conveniente desde los puntos de vista costo-beneficio, modelos de uso, entre otras cosas, también requiere mucho trabajo. Intel está impulsándola en tres frentes:

- El de operadores, empresas e instituciones, para que la conozcan, sepan cuáles son sus beneficios y sus limitaciones.
- El de los fabricantes - Al principio había muy pocos persiguiendo esta tecnología, pero los éxitos han sumado a muchos más. Cuando comenzó esto, con el WiMAX Forum en 2004, había apenas 46 miembros. Hoy son casi 400, de los cuales 212 son operadores, y 71 fabricantes, entre ellos Motorola, Nokia, Samsung, Siemens, Nortel, Alcatel... algunos de los cuales, al principio, no estaban muy convencidos.
- El de los reguladores - Es necesario que las comisiones encargadas de regular el uso del espectro radioeléctrico de todo el mundo y los organismos de estándares como la IEEE y el Foro WiMAX, entre otros, estén al tanto de los beneficios de esta tecnología. Sin una de estas tres piezas, la tecnología no garantiza una implementación exitosa [29].

Proyecto WIMAX Jalisco

Se han desarrollado a lo largo del tiempo y en distintas partes del mundo, avances tecnológicos que bien podrían traer beneficios a las grandes ciudades. Sin embargo, por la novedad de dichos avances, hay algunos que se encuentran bajo el estatus de “reservados”, y son utilizados exclusivamente por empresas privadas; aunque de no ser así, podrían facilitar la vida de millones de personas, además de eficientar el ejercicio de las distintas instancias gubernamentales y universitarias [30].

Es ese el propósito que tiene el proyecto propuesto por la Universidad de Guadalajara a cargo del maestro Francisco Cuellar Hernández, coordinador general de Tecnologías de Información, quien argumenta que “la comunicación ha demostrado históricamente ser el mecanismo más efectivo para la resolución de problemas y la evolución humana.

Dicho proyecto consiste en implementar hasta en el lugar más recóndito del estado de Jalisco la conectividad a internet por medio de banda ancha, lo que significa que será de la más alta calidad. Esto podrá ser posible utilizando la tecnología WiMAX, que consiste en una pequeña antena capaz de proporcionar conectividad a grandes espacios y a todo tipo de terrenos.

El propósito principal del proyecto, según Francisco Cuellar es “garantizar la cobertura total de la señal de internet en el estado: establecer en los lugares más recónditos una infraestructura de telecomunicaciones con el propósito de lograr un mayor desarrollo social de los habitantes”. Los rubros beneficiados con esta tecnología serían los de educación, servicios médicos, seguridad pública, vialidad, el total de las dependencias de gobierno y los servicios de

protección y vigilancia forestal, además de todas las dependencias de la Universidad de Guadalajara.

Además de las dependencias de gobierno y las oficinas administrativas, en cuanto al rubro de educación, se tiene contemplado cubrir con la señal de internet la totalidad de los jardines de niños, las guarderías, las primarias y secundarias públicas del estado.

En cuanto a los servicios médicos, se cubrirá el total de los hospitales y clínicas de salud públicas; y en cuanto al rubro de protección y vigilancia forestal, podría aprovecharse de distintas maneras, pues al disponer de conectividad facilitará la implementación de cámaras de vigilancia y sensores infrarrojos contra incendios.

En cuanto a la cobertura de dicha señal de internet en la Universidad, se cubrirá además de las preparatorias y centros universitarios, el total de las casas de estudio, las bibliotecas, los teatros, los museos y demás instancias de la institución. Esta cobertura se expandirá a lo largo y ancho de los más de 80 mil kilómetros cuadrados del área física de Jalisco, beneficiándose así el total de los 125 municipios y los casi siete millones de habitantes.

La tecnología WiMAX llegó por primera vez al estado impulsada por la Universidad de Guadalajara, que es la universidad pionera en el país en implementar este tipo de tecnologías y ponerlas a disposición de la población en general. “Este proyecto tiene mucha trascendencia porque nadie en México utiliza esta tecnología, y Jalisco sería el primero”, argumentó el maestro Cuellar.

Este proyecto que comenzó a desarrollarse en los últimos meses del año pasado, se encuentra ultimando los detalles antes de ser presentado ante el gobierno de Jalisco, para obtener finalmente su aprobación y poder ser aplicado. “Ahorita ya tenemos tecnología instalada y funcionando de WiMAX en Ocotlán, Jamay, La Barca, Autlán, la sierra de Manantlán y el bosque de La Primavera; sólo falta que se otorgue el permiso por parte del gobierno para ponerlo en marcha en el resto del estado [31].

El proyecto se encuentra dividido en cuatro fases:

- 1. Fase piloto.** Se contempla abarcar 41 municipios: Lagos de Moreno, Jalostitlán, Tepatitlán de Morelos, Acatic, Atotonilco el Alto, Ocotlán, Jamay, Poncitlán, Zapotlán del Rey, Zapotiltic, Zapotlán el Grande, Gómez Farías, Tolimán, Zapotitlán de Vadillo, San Gabriel, Tuxcacuesco, Tapalpa, Autlán de Navarro (Sierra de Manantlán), Casimiro Castillo, El Grullo, El Limón, Ejutla, Unión de Tula, Tomatlán, Cabo Corrientes, Puerto Vallarta, Mascota, San Marcos, Etzatlán, Ameca, San Martín de Hidalgo, Ahualulco de Mercado, Teuchitlán, El Arenal, Tala, Zapopan, Tlaquepaque, El Salto, Tonalá, Zapotlanejo e Ixtlahuacán del Río. Se instalarán un total de 24 radiobases. En la actualidad se encuentran ya en operación seis radiobases, propiedad de la Universidad de Guadalajara, ubicadas en la región 4 y 8, que

corresponden a la Ciénega, y a la zona de la Costa Sur, respectivamente.

2. **Fase I.** Aquí se vislumbran 23 municipios: Colotlán, Santa María de los Ángeles, Huejucar, Encarnación de Díaz, Chapala, Tuxcueca, Mazamitla, La Manzanilla de la Paz, Quitupán, Valle de Juárez, Jilotlán de los Dolores, Santa María del Oro, Cihuatlán, Atenguillo, Ayutla, Atengo, Cuautla, Teuchitlán, Amatitán, San Juanito de Escobedo, Magdalena, Tequila, San Martín de Hidalgo. Se instalará un total de 13 radiobases.
3. **Fase II.** Se contemplan 16 municipios: Bolaños, Totatiche, Chimaltitán, Villa Guerrero, Unión de San Antonio, San Julián, Valle de Guadalupe, Cañadas de Obregón, Capilla de Guadalupe, Jamay, Tamazula de Gordiano, Tecalitlán, Mascota, San Sebastián del Oeste, Talpa de Allende, Tlajomulco de Zúñiga. Esta fase prevee la instalación de 17 radiobases.
4. **Fase III.** Trabajo en 11 municipios: Yahualica de González Gallo, Pihuamo, Tolimán, Zapotitlán de Vadillo, Tenamaxtlán, Hostotipaquillo, San Juanito de Escobedo, Ahualulco de Mercado, Villa Corona y Acatlán de Juárez. En total se instalarán 21 radiobases.
5. **Fase IV.** Desarrollo en 14 municipios más: Mezquitic, Huejuquilla el Alto, Ojuelos de Jalisco, Unión de San Antonio, San Diego de Alejandría, Mexticacán, San Miguel el Alto, Degollado, Jocotepec, Concepción de Buenos Aires, Atoyac, Guachinango y Mixtlán. Se instalarán 23 radiobases.

En la siguiente tabla 2.2 se muestra un resumen financiero del presente proyecto, en la cual, los precios se muestran en USD con IVA incluido, para realizar la conversión correspondiente se deberá manejar T.C. \$14 Pesos M.N.

Tabla 2.2. Resumen financiero proyecto WiMAX Jalisco [30]

FASE	CAPEX
FASE PILOTO	\$6.389.215,91
FASE I	\$3.460.825,28
FASE II	\$4.525.694,60
FASE III	\$5.590.563,92
FASE IV	\$6.122.998,58
SUBTOTAL USD	\$26.089.298,29

CARACTERÍSTICAS	CAPEX
7916 Sitios remotos	\$14.742.956,30
SUBTOTAL USD	\$14.742.956,30

CARACTERÍSTICAS	CAPEX
Servido + software	\$34.500,00
SUBTOTAL USD	\$34.500,00

TOTAL GLOBAL	\$40.866.754,59
---------------------	------------------------

ULTRAVISIÓN

Una empresa con más de 17 años en el mercado de servicios de televisión de paga. Ofreciendo siempre la mejor opción de entretenimiento al más bajo costo.

Esta empresa cuenta con presencia en: Aguascalientes, Chilpancingo, Coatzacoalcos, Cautla, Cuernavaca, Iguala, Matamoros, Puebla, Tampico, Tehuacán, Veracruz y Xalapa. Ultravisión ofrece en estas ciudades acceso a Internet por medio de la tecnología WiMAX con las tarifas que se muestran en la siguiente tabla 2.3.

Tabla 2.3. Tarifas de Ultravisión [32].

ANCHO DE BANDA	COSTO MENSUAL
128 Kbps	\$215.00
256 Kbps	\$255.00
512 Kbps	\$385.00
1024 Kbps	\$850.00

Capítulo 3

FACTIBILIDAD WiMAX

Un modelo de inversión en WiMAX debe considerar todos los aspectos implícitos al diseño, desarrollo, implementación, y mantenimiento de la infraestructura; se deben tomar en cuenta varias categorías en cuanto a costos se refiere, como son: costos de infraestructura, de dispositivos, costo del sitio (site), Backhaul, (enlace de interconexión entre redes), IT (Information Technology), costos de operación.

Las principales inversiones recaen en los equipos que necesitan los usuarios. Los costos de infraestructura es decir las estaciones bases, solamente requieren una inversión menor a \$300,000 USD considerando costo de sitios, antenas, sistemas de alimentación, además, se debe considerar una inversión de aproximadamente \$150,000 USD en algo que llaman Sector WiMAX, y se debe contar con 4 unidades como mínimo en el sitio; en cuanto a los puntos de acceso, se puede hablar de un costo aproximado de 1,500 a 2,000 USD tanto para el sitio como para el usuario final [33].

En cuanto al costo de los dispositivos, aquí se contemplan receptores de señal tanto para PC como para computadora portátil, su costo aproximado no rebasa los \$180 USD [34].

Para los costos de IT se deben considerar todos los aspectos implícitos al desarrollo de la arquitectura del sistema y la integración en apoyo de la arquitectura de la red y servicio WiMAX, así como también plataformas para manejo de relaciones con los clientes; en los costos de operación se encuentran incluidos costos de soporte técnico, garantías, costos de adquisición del servicio, publicidad y gastos administrativos.

3.1 Uso del espectro libre o con licencia

Para emplear una solución WiMAX con licencia es preciso que el operador adquiera el espectro, que es un proceso muy variable dependiendo del país en el que se quiera operar, teniendo que pasar por licitaciones, elevados precios y retardos considerables, siendo éste el caso de México, el proceso de adquisición deberá realizarse por medio de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL [34]) la cual será la encargada de lanzar las licitaciones correspondientes para el uso de determinada frecuencia.

Visto desde otra perspectiva, estos obstáculos, una vez superados, permiten conseguir una gran calidad y un nivel de interferencia muy bajo.

Las frecuencias bajas asociadas a bandas licenciadas (2.5 y 3.5 Ghz.) permiten conseguir una mejor característica NLOS [35].

Debido al elevado costo de la adquisición del espectro y de las numerosas trabas impuestas por los organismos gubernamentales, obliga a gran cantidad

de operadores de servicios inalámbricos a considerar el uso de bandas sin frecuencia para áreas rurales o mercados emergentes.

Los proveedores de servicio en mercados emergentes, como países en desarrollo o países con áreas subdesarrolladas, pueden reducir el tiempo de llevar al mercado el servicio y los costos iniciales, si optan por usar soluciones basadas en licencia abierta. Además, también es posible considerar el uso de este tipo de soluciones para el caso de operadores con licencia, como respaldo de su red habitual.

Las soluciones en bandas de libre uso están limitadas en términos de la potencia de salida transmitida, esta potencia es el único punto en contra para los proveedores, que pueden usar el espectro tanto como deseen; otra limitación se refiere a la calidad del servicio, la cual podemos considerar como directamente proporcional al número de señales de interferencia emitidas por otros operadores, es decir, a mayor cantidad de interferencia, menor calidad en el servicio [36].

Las desventajas del uso de espectro sin licencia se reducen en cuatro aspectos que se describen como sigue:

1. **Interferencias:** debido a que el espectro que no requiere licencia puede ser utilizado por varios sistemas diferentes de radiofrecuencia, hay altas probabilidades de que ocurran interferencias, pero tanto WiMAX como Wi-Fi soportan DFS (Dynamic Frequency Selection- Selección Dinámica de Frecuencia), que permite que se utilice un nuevo canal si fuera necesario.
2. **Mayor competencia:** los operadores que utilicen el espectro que no requiere licencia tienen que asumir que otro operador fácilmente podría ingresar en el mercado utilizando el mismo espectro.
3. **Potencia limitada:** se refiere, a que las organizaciones encargadas de regular el uso de los diferentes espectro (para el caso de nuestro país, COFETEL es la encargada de estas normas), por lo general limitan la potencia que puede transmitirse.
4. **Disponibilidad:** mientras el espectro 2.4 GHz está disponible universalmente, en la actualidad el espectro 5.8 GHz no se encuentra disponible en varios países, (no así para México).

3.2 Clasificación áreas de desarrollo

Este apartado se refiere al tipo de área en el cual se pretende el despliegue de la infraestructura WiMAX, la cual se encuentra estrechamente relacionada con los usuarios potenciales de dicha tecnología. Para tal efecto se consideran 4 distintos tipos de áreas urbanas de desarrollo:

1. **Área urbana densa:** este tipo de área se centra en la parte de la ciudad en la que existe una gran cantidad de edificios de grandes dimensiones separados únicamente por el ancho de una calle.

2. **Área urbana:** se refiere a la parte de la ciudad en la que existen gran cantidad de edificio de grandes dimensiones pero, a diferencia del área urbana densa, existe una mayor separación entre ellos.
3. **Área suburbana:** en este tipo de área se puede encontrar una mayor cantidad casas con poca presencia de edificios de grandes dimensiones, este tipo de zonas se encuentra más enfocado a casas habitación y zonas residenciales.
4. **Área rural.** Se refiera a zonas donde la presencia de edificios de grandes dimensiones es muy poca, o casi nula, solo se apreciarán 1 o 2 de estas construcciones, separados por un amplio espacio de terreno [37].

Por lo anterior se puede concluir lo siguiente, en una zona con mayor densidad de población, la capacidad multiusuario aumenta considerablemente, pero, disminuye el alcance. Por lo tanto en una zona o área rural se contará con mayor alcance, pero con menor usabilidad debido a la densidad de población en un área rural.

3.3 Proyecto WiMAX UVAQ

En la actualidad resulta inminente y necesario permanecer comunicado para no perder contacto con su ámbito laboral, por ello, el hecho de tener acceso a Internet de banda ancha resulta una herramienta de trabajo indispensable.

Mantenerse siempre en comunicación aumentará la productividad y desempeño, ya sea de su empresa, y/o compromisos personales, así como también permitirá aumentar su productividad y optimizar su tiempo.

Debido a esta problemática, la Universidad Vasco de Quiroga (UVAQ), en aras de mantenerse al día, tecnológicamente hablando, considera una buena opción de inversión el hecho de implementar una red WiMAX en su campus ubicado en la ciudad de Morelia, Michoacán.

De manera general, se pretende, desarrollar, mantener y operar una red WiMAX implementando la infraestructura necesaria para su correcto funcionamiento, lo cual brindará la seguridad de ofrecer un servicio sustentable, robusto, y de alta calidad para la diversidad de sus usuarios, es decir, el nivel de beneficio social es sumamente alto, impulsando de esta manera el desarrollo tecnológico, económico y productivo del estado de Michoacán.

Específicamente, se tiene contemplado ofrecer acceso inalámbrico de banda ancha de alta disponibilidad con una variedad de servicios, como son, transmisión de voz, datos y video para satisfacer las necesidades inherentes a los distintos usuarios potenciales aprovechando las ventajas que ofrece la tecnología WiMAX.

Dicho proyecto, en primera instancia, considera ofrecer el servicio para un total de 3000-5000 usuarios aproximadamente, con una tasa media de conexión

simultánea de 500 usuarios aproximadamente, en un área considerada del tipo urbana, con un rango de cobertura de cobertura de 8-10 Km. Considerando un acceso Outdoor (fuera de edificios o lugares cerrados), por parte de los usuarios.

La implementación de la infraestructura necesaria será colocada en un punto estratégico, a convenir, del campus UVAQ, lo cual permitirá evitar destinar recursos para este rubro, reduciendo de esta manera, el costo total del presente proyecto.

Dicho proyecto contempla, por el momento, el uso de una banda de frecuencia del tipo “no licenciada” lo cual permite, en gran medida, reducir costos de desarrollo y recortar tiempos, ya que el uso de una banda de frecuencia “licenciada” lleva consigo la elaboración de infinidad de trámites burocráticos sumamente lentos y sobre todo costosos, por tal motivo, no se tiene considerado el uso de una banda de frecuencia de este tipo, además, de esta manera, en el peor de los escenarios, si el proyecto no tiene el éxito esperado en el mercado, las pérdidas económicas no serán tan elevadas.

Con la finalidad de no frenar el crecimiento tecnológico y de recuperar la cantidad erogada en el presente proyecto, se tiene contemplado el cobro de una mensualidad a los suscriptores, lo cual permitirá en determinado momento, considerar una reinversión en el mismo, para de esta manera, incrementar los beneficios ofrecidos a los usuarios.

Cabe mencionar, que la culminación de éste proyecto, no implica que se detenga el desarrollo, sino que, se abrirán múltiples líneas de investigación para proyectos a futuro.

En la figura 3.1 se puede apreciar el proceso de acceso a Internet por parte de un usuario final, el cual, será completamente transparente para el mismo.

Primero se establece la conexión con el servidor, después se ingresarán datos de identificación como nombre de usuario y contraseña para q éste realice la validación y de esta manera autorice o no el acceso al servicio

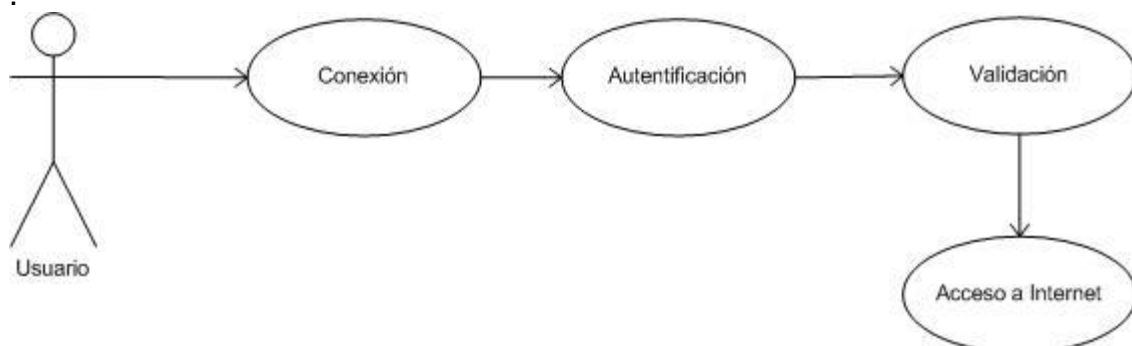


Figura 3.1 Proceso de acceso de banda ancha inalámbrico

3.4 Factibilidad Económica

- Con una inversión de \$25,271.00 USD, la Universidad Vasco de Quiroga (UVAQ) ofrecerá nuevos servicios de Internet. El desglose de la inversión mencionada se muestra a detalle en la tabla 6.
- El costo promedio del equipo receptor y la antena es de \$ 22,000 USD.
- La mensualidad contemplada para los suscriptores, oscila entre los 40 y 70 USD. La variación de precio dependerá de la velocidad de navegación que se solicite.
- El costo de los CPE´s será menor a los \$ 100 USD.

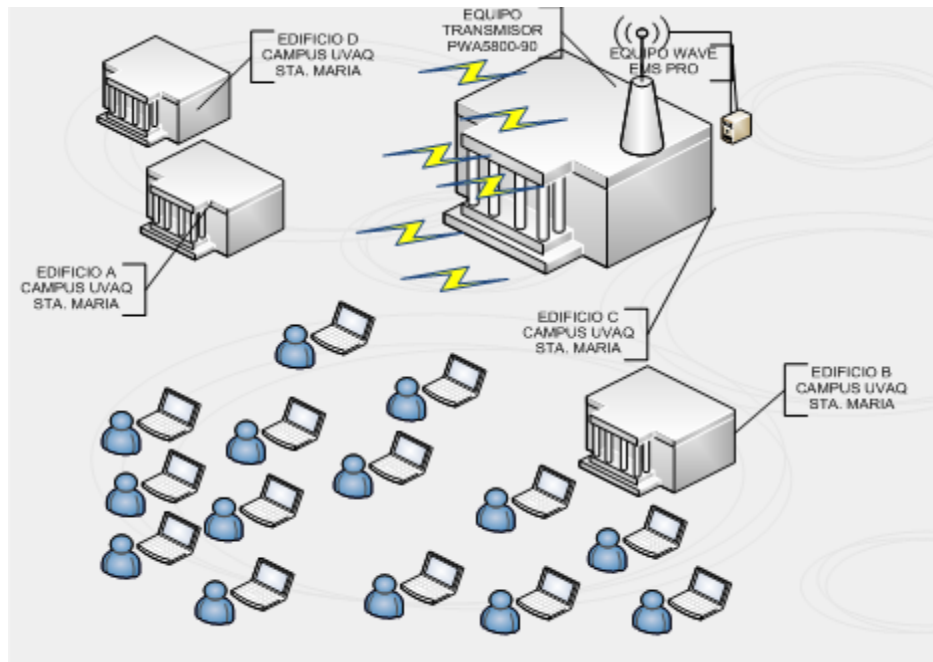
3.5 Factibilidad Técnica

- Conectividad de banda ancha inalámbrica a distancias superiores que los estándares actuales.
- Con la instalación de 2 transmisores en la ciudad, el nuevo servicio ofrece alta velocidad en la transferencia de información y conectividad de banda ancha de última milla. Es decir, que los usuarios ya no tendrán que conectarse por medio de un cable, sino con antenas, en forma completamente inalámbrica.
- Para acceder al servicio, los clientes deberán contar con equipos que tengan antena que permita el uso de esta tecnología.

3.6 Factibilidad operativa

- El mantenimiento operativo será realizado por personal de departamento de sistemas de la Universidad Vasco de Quiroga, y servirá como base para prácticas de campo de estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- En cuanto a mantenimiento técnico los gastos no excederán los \$ 100 USD

A continuación se muestra un básico diagrama de red en cual se puede observar, que, el equipo que se describe más adelante, sería ubicado en la azotea del Edificio C en dicha institución, debido a que se encuentra aproximadamente en el centro del campus, logrando de esta manera una línea de visión casi directa para con los usuarios finales, los cuales también se aprecian en dicha imagen, por medio de esta ubicación se garantiza un mejor acceso al servicio ya que la cantidad de obstáculos inmersos en esta distribución es mínima y de casi nula importancia.



3.7 Análisis FODA

3.7.1 Fortalezas

- A futuro, movilidad con el estándar 802.16e.
- El tipo de enlace de WiMax es Punto-Multipunto.
- Compatibilidad con el estándar 802.11
- Escalabilidad de la Red

3.7.2 Oportunidades

Ofrecer acceso inalámbrico de banda ancha a usuarios que se encuentren fuera de su lugar de trabajo y requieran el acceso para continuar con sus actividades laborales y de esta manera, optimizar su tiempo y compromisos laborales.

3.7.3 Debilidades

- La seguridad de la información estará expuesta a que una persona con grandes conocimientos de informática vulnere las claves de acceso y contraseñas, e introducir virus y/o robar información.
- No se contempla el acceso de manera móvil, como en el caso de la tecnología 3G, la cual permite el acceso a los usuarios aunque estos se encuentren en constante movimiento al hacer uso del servicio.

3.7.4 Amenazas

- Nueva tecnología inalámbrica que ofrezca mayor seguridad a la información.
- Aparezca una nueva empresa proveedora de WiMAX a menor costo.

En la figura 3.2 se puede apreciar de manera más concreta las distintas vertientes del análisis FODA para éste proyecto, de la cual se puede concluir que, las debilidades y amenazas presentes son inherentes a la esencia del ser humano, es decir, no se puede afirmar que esta tecnología no sufrirá algún cambio o mejora con el paso del tiempo, así como en muchas otras circunstancias, no se puede garantizar un grado de seguridad e integridad de la información al 100%, ya que siempre habrá alguien que por distintos motivos intente y sin dudarlo, logre vulnerar los medios de seguridad implementados. Pero esto no deberá limitar y detener el crecimiento del presente proyecto, ya que los beneficios esperados son por demás superiores a las desventajas antes mencionadas, elevando de esta manera el prestigio y renombre que caracteriza a la Universidad Vasco de Quiroga.

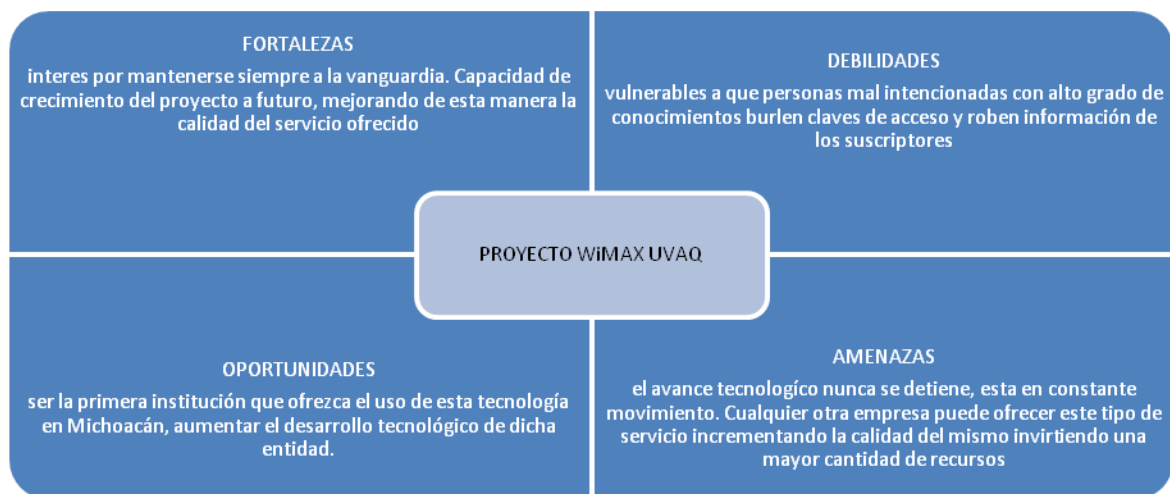


Figura 3.2 Análisis FODA proyecto WiMAX UVAQ

3.8 Hardware Estación base, Equipo para clientes

A continuación se muestran los dispositivos sugeridos para el desarrollo del presente proyecto, todos dirigidos específicamente para la implementación de la tecnología WiMAX, tanto para BS como para CPE's, se considera a Aperto Networks como proveedor de hardware debido a las ventajas que ofrece la serie PacketMax en sus distintas modalidades, además de que, estos productos se encuentran certificados por el WiMAX Forum.

3.8.1 PacketMAX 3000



Figura 3.3 Equipo PacketMax 3000

PacketMAX 3000 es una plataforma de sector simple, apilable para el desarrollo de WiMAX, este equipo es una opción económica y modular para aplicaciones con no mucha densidad [38].

Este equipo se eligió, para la parte inicial del presente proyecto debido a que es el equipo básico para la implementación que se contempla, ya que solo maneja un sector simple que permite tener 512 conexiones activas simultáneas, las cuales pueden ser duplicadas si se agrega otro equipo del mismo tipo, o bien, el número de conexiones se incrementará en la medida que se elija un dispositivo que maneje más de un sector para las conexiones, y por consiguiente, aumenta el costo del mismo.

3.9 Equipo para clientes (CPE)

3.9.1 PacketMAX 100 Series



Figura 3.4 Equipo PacketMax 100

La serie PacketMAX 100 está diseñada para satisfacer las necesidades de pequeños negocios y trabajos de oficina, provee una red libre de errores para un usuario simple o bien, para toda una oficina [39]. Este dispositivo contempla como máximo 5 usuarios conectados simultáneamente

3.9.2 PacketMAX 300 Series



Figura 3.5 Equipo PacketMax 300

La serie PacketMAX 300 es una completa combinación de poder e inteligencia para entornos de medianas a grandes empresas. Este dispositivo soporta cientos de usuarios, específicamente hablando, 250 conexiones activas, y acceso a múltiples servicios simultáneamente [40].

Los dispositivos mencionados en los apartados anteriores, para BS y CPE's, entre otras características semejantes, se encuentra el hecho de que permiten distintos tipos de modulación, tales como, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, uso de banda de frecuencia de 5.8 GHz (sin licencia), compatibilidad con el estándar IEEE 802.16-2004, administración y monitoreo de manera remota por

medio de WaveCenter EMS Pro, el cual se describe a continuación en el apartado 3.10.

3.10 WaveCenter T M Element Management System Pro

Para la administración, manejo y monitoreo de los dispositivos antes mencionados se utilizará WaveCenter T M Element Management System Pro, ya que dicha aplicación está diseñada para el control de esta infraestructura.



Figura 3.6 Captura de pantalla software WaveCenter T M Element Management System Pro

WaveCenter EMS Pro provee capacidades FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, and Security, por sus siglas en inglés) logrando que la información de la red sea fácil de analizar agilizando el trabajo del administrador de la red para tomar las decisiones correctas. La información es mostrada en pantallas intuitivas mientras se guarda información en tiempo real en una base de datos. Además incluye una base de datos SQL embebida por lo cual no se necesita un manejador adicional.

Entre sus características principales encontramos:

- Integración rápida y de bajo costo
- Operación simple
- Para su manejo no requiere de capacitación adicional
- No se necesita equipo adicional para su administración

En la figura 3.7, se muestra una breve explicación, acerca de las cualidades FCAPS que ofrece el software antes mencionado.

FCAPS

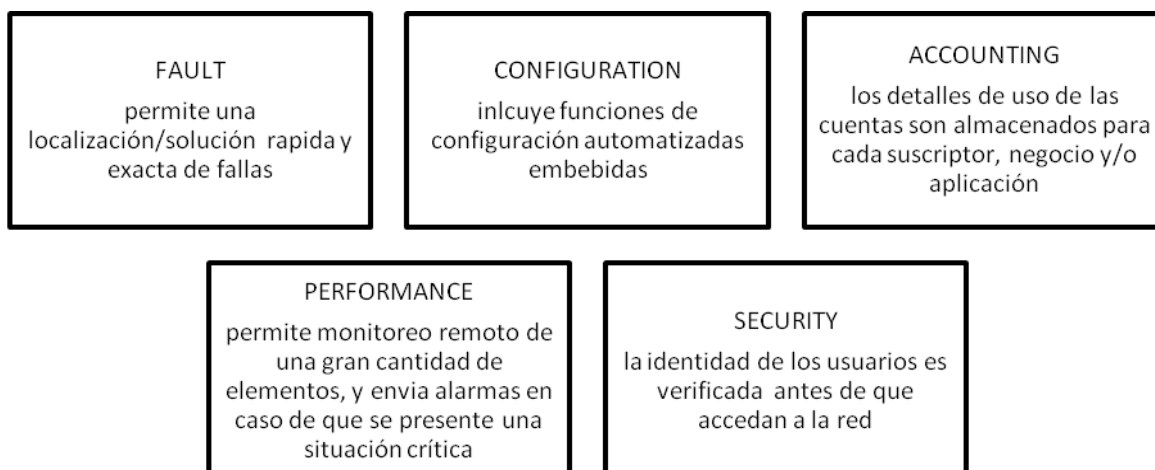


Figura 3.7 Diagrama de cualidades FCAPS [40].

3.11 Resumen Financiero

En la tabla 3.1 se muestra un ejemplo de presupuesto de hardware, antes mencionado, necesario para la implementación del proyecto WiMAX UVAQ. En dicha cotización, se contemplan costos de los dispositivos así como también los cables necesarios para su correcto funcionamiento y conexión para cada uno de ellos.

Tabla 3.1 Cotización para PacketMax PM3000, proyecto WiMAX UVAQ [42].

Ejemplo de cotización presupuestal para PacketMax PM3000					
Part.	Descripción	No.parte	Cant.	Precio Unit.	Total
PACKET MAX 5.8 GHZ				USD	USD
1	PM3000 Base Station, AC, w/16 CPE License, NA Pwr Cord	PM3000-AC1-01	1.00	\$7,093.00	\$7,093.00
2	PacketMAX 5.725-5.925 GHz, Base Station Radio	PM-BSR-58	1.00	\$3,058.00	\$3,058.00
4	5.25-5.875 GHz 16 Dbi, 90 Deg., Dual Pol	PWA5800D-90	1.00	\$1,398.00	\$1,398.00
5	RF Cable, BSR Radio to Antenna, Type N Male to N Male, LMR600, 36in	PA-RFCABLE-03	1.00	\$63.00	\$63.00
7	PacketMAX IF / Coax Surge Protector Kit	PA-SP-OUTDOOR-08	2.00	\$223.00	\$446.00
8	PM100 Subscriber Unit, 5.725-5.925 GHz, integrated antenna	PM100-58-A-01	1.00	\$612.00	\$612.00
9	PM105 Subscriber Unit, 5.725-5.925 GHz, connectorized	PM105-58-N-01	1.00	\$734.00	\$734.00
10	PM305 Subscriber Unit, 5.725-5.925 GHz, integrated 17 dBi antenna	PM305-58-A-0X	1.00	\$734.00	\$734.00
11	PM305 Subscriber Unit, 5.725-5.925 GHz, connectorized	PM305-58-N-0X	1.00	\$856.00	\$856.00
				Subtot:	\$14,994.00
SISTEMA EMS					
12	WaveCenter EMS Pro Server (w/CD-ROM + download), with no WSS licenses Note: Wireless Licenses are required to manage equipment and are ordered separately	CLK-WCP-BASE-CD	1.00	\$7,338.00	\$7,338.00

13	WaveCenter Wireless Port License Upgrade - Each enables 1 Wireless Sector	CLK-WCP-1PK	1.00	\$612.00	\$612.00
				Subtot:	\$7,950.00
ACCESORIOS					
14	LMR 400-75 Cable, 1000ft reel	PA-CABLE-LMR400-01	1.00	\$1,390.00	\$1,390.00
15	Connector for LMR400-75 Cable, Male F Type	PA-CONN-LMR400-F	6.00	\$63.00	\$378.00
16	Cable Install Kit, LMR400-75 Crimp Tool, Cable Prep and Deburring Tool	PA-TOOLS-LMR400	1.00	\$559.00	\$559.00
				Subtot:	\$2,327.00
				TOTAL:	\$25,271.00

3.12 Resumen del capítulo

Gracias al análisis mostrado anteriormente, se puede concluir, sin lugar a dudas, que, las ventajas del proyecto WiMAX UVAQ son verdaderamente inmensurables, pero, no así, accesibles, económicamente hablando, por lo cual puede llegar a considerarse como un proyecto no factible en su implementación, dicho de otra manera, incosteable, sin embargo esto no habrá de obstaculizar o detener el sentir proactivo inculcado desde sus inicios, por dicha institución, presente en la elaboración del presente proyecto.

Debido a la gran derrama económica necesaria para el desarrollo de dicho proyecto, y de la imposibilidad de erogar tan elevada cantidad por parte del investigador, se propone y sugiere, la solicitud de apoyos económicos a dicha institución y las entidades gubernamentales correspondientes para tal efecto en materia de desarrollo económico, productivo y tecnológico del Estado de Michoacán

Los jóvenes de hace 20 años se ilusionaban con poseer una computadora en casa, por el contrario, los jóvenes actuales la tienen en sus bolsillos y que incluso, no tienen la necesidad de plantearse preguntas que generaciones anteriores tuvieron que resolver, sin embargo, nuevas necesidades y problemas de su tiempo se presentan y necesitan de una pronta solución, por ello el avance tecnológico desmesurado que se observa en la actualidad, y en cada individuo se encuentra, ya de manera implícita, un afán de superación interminable intentando desconocer la menor cantidad de detalles acerca de su entorno.

Es un hecho que la voluntad, el tesón, la curiosidad, la investigación y el deseo de avanzar son los factores que permiten a un individuo, al estado y a la nación elevar su nivel de vida y fortalecer, no solo su intelecto, sino también, su esencia espiritual como personas y agentes de cambio inmersos en un mundo que nunca detiene su avance.

Capítulo 4

WiMAX vs 3G

Wi-Fi, WiMAX y 3G son las principales tecnologías capaces de ofrecer acceso inalámbrico a Internet con un amplio ancho de banda disponible para los dispositivos que se han desarrollado en los últimos años con alguna de estas tecnologías embebida.

Cada tecnología cuenta con sus ventajas y desventajas, la elección e inclinación por alguna de éstas dependerá de las necesidades del usuario final, así como de la región del mundo en el que se encuentre, o bien, del marketing realizado para cada una de ellas.

4.1 Tecnología 3G

A continuación se puntualiza la evolución que han mostrado las redes celulares:

- 1G: Red celular analógica, Conmutación de circuitos
- 2G: Red celular digital (GSM), conmutación de circuitos
- 2.5 G: Red celular digital (GPRS), conmutación de paquetes
- 3G: Red celular digital UMTS, conmutación de paquetes
- 4G: Red celular digital multimedia: todo IP (VoIP) [43].

Los teléfonos que tienen únicamente una conexión GSM utilizan una tecnología de conmutación de circuitos con la que se abre un canal entre la persona que realiza una llamada y el destinatario de la misma. El ancho de banda de dicho canal permanece constante independientemente de que los usuarios estén callados, hablen a una velocidad de 200 palabras por minuto o transmitan 5 Kb de datos por medio de un mensaje de correo electrónico, por mencionar un ejemplo.

La tecnología de tercera generación (3G) utiliza un protocolo de transmisión por paquetes, es decir, los datos que se envían a través de una conexión 3G se dividen en pequeños paquetes durante la transmisión y se reensamblan en tiempo real al llegar a su destino. De este modo, sólo se utiliza el ancho de banda que ocupan los paquetes, por lo que no es necesario crear un circuito dedicado a la transmisión punto a punto para cada transferencia de datos y es posible disponer de una conexión siempre activa.

El protocolo GPRS, o 2.5 G, permite la transmisión de paquetes de datos a través de una conexión establecida mediante un circuito conmutado. Al igual que GPRS, la tecnología 3G es un servicio de comunicaciones inalámbricas que le permite estar conectado permanentemente a Internet a través del teléfono móvil, computadora portátil, entre otros dispositivos.

La tecnología 3G promete una mejor calidad y fiabilidad, una mayor velocidad de transmisión de datos y un ancho de banda superior (que incluye la posibilidad de ejecutar aplicaciones multimedia). Con velocidades de datos de

hasta 384 Kbps, es casi siete veces más rápida que una conexión telefónica estándar (la velocidad media en conexiones GSM es de 53.6 Kbps) [43].

La tecnología 3G está especialmente diseñada para la transmisión de datos y no hace ninguna distinción entre voz y otros tipos de datos, lo que mejora la calidad de las comunicaciones.

4.1.1 Las ventajas de la tecnología 3G en el entorno empresarial

La red móvil 3G y los dispositivos móviles que la utilizan, mejoran el ancho de banda de las redes 2G (GSM) convencionales. Esta característica convierte a la tecnología 3G en el instrumento perfecto para aprovechar el potencial de las aplicaciones móviles y permite a las empresas ofrecer una mayor flexibilidad a sus empleados.

Es posible que las empresas que ya utilizan sistemas de correo electrónico con tecnología GPRS en dispositivos móviles GSM, se pregunten si la transición a 3G vale la pena. Al fin y al cabo, la mayoría de los mensajes de correo electrónico tienen tan sólo unos kilobytes de texto. Pero el aumento de ancho de banda que se consigue con la tecnología 3G permite a los empleados adoptar nuevos métodos de trabajo y aumentar su rendimiento.

Por ejemplo, al disponer de un mayor ancho de banda, es posible enviar y recibir archivos adjuntos más fácilmente y, si se trata de archivos gráficos (como presentaciones), la mejora en el tamaño y la resolución de la pantalla permite consultarlos desde el dispositivo.

Pero las ventajas no sólo afectan a los sistemas de navegación y correo electrónico: gracias al aumento del ancho de banda que ofrecen los dispositivos 3G, pueden habilitarse el acceso Web a las aplicaciones de la empresa y la conexión remota mediante VPN (red privada virtual).

Si se da a los empleados acceso protegido a las listas de precios, los datos de inventario y las aplicaciones CRM (gestión de las relaciones con los clientes, por sus siglas en inglés), mejorarán su productividad y responderán mejor a las necesidades de los clientes. Supongamos que un empleado se encuentra en una reunión en las instalaciones del cliente, si éste le pregunta cuánto costarían 10,000 dispositivos y para cuándo podría tenerlos, el empleado podrá responderle en ese mismo momento, lo cual incrementa sustancialmente las posibilidades de concretar la venta.

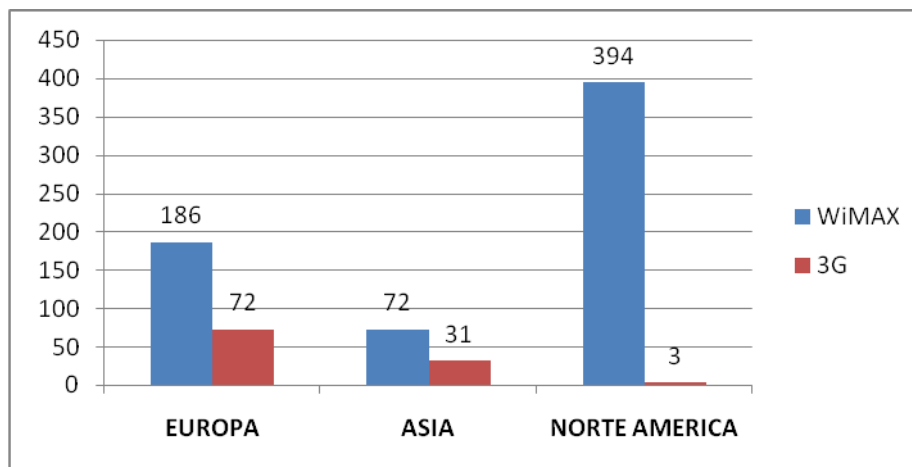
También existe otro tipo de herramientas para las que la tecnología 3G resulta muy beneficiosa: las aplicaciones de navegación. En los sistemas más recientes, denominados "on-board", la velocidad de acceso permite acceder fácilmente a otros servicios que proporcionan valor añadido. Aunque los mapas con los que se trazan los itinerarios están instalados en el dispositivo móvil, la información sobre el estado del tráfico puede descargarse mediante 3G.

Además, la tecnología 3G resulta especialmente útil cuando los empleados utilizan las llamadas aplicaciones "off-board", en las que se pueden descargar

mapas de los principales países al dispositivo, si el itinerario lo requiere, y la ruta puede modificarse en tiempo casi real. La información sobre el estado del tráfico y los puntos de interés se envía al usuario de manera instantánea. Como es sabido, todas las aplicaciones de navegación funcionan con un módulo GPS (sistema de posicionamiento global) [44].

Un estudio realizado en 2006 revela que las adquisiciones de licencias para uso de WiMAX son mayores a las licencias adquiridas para 3G, siendo estas, 721 y 106 respectivamente.

En la siguiente gráfica 4.1 se puede observar el número de licencias por tecnología, por región:



Gráfica 4.1 Número de licencias por tecnología, por región

La notable diferencia de licencias adquiridas entre estas 2 tecnologías se debe principalmente a dos factores importantes, la legislación del espectro permite a los operadores actualizar sus redes usando las bandas existentes; y un segundo factor es la demanda de los servicios 3G y el costo de su licenciamiento, considerablemente mayor a la tecnología WiMAX [45].

La tecnología de tercera generación (3G) EV-DO es un estándar de telecomunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de señales de radio.

La revisión de este estándar se completó en 2004, la velocidad pico downlink (bajar información de la red) se incrementó a 3.1 Mbps, y la uplink (subir información a la red) de 1.8 Mbps, aunque en promedio con una red más saturada opera en el rango de los 1.5 Mbps y 1.2 Mbps respectivamente.

4.1.2 Servicios y costos

La incorporación de las redes 3G permitirá a los operadores ofrecer una nueva gama de servicios y al mismo tiempo reforzar la calidad de los ya existentes, dado que espectralmente cuentan con un mayor número de Hertz por canal para evitar el congestionamiento, caída o saturación de la red.

La gran mayoría de los nuevos servicios giran alrededor del fenómeno de la Web 2.0, pues tienen como objetivo acercar a los usuarios los contenidos e información depositados en Internet desde cualquier lugar y sin necesidad de puntos de acceso predeterminados.

Es decir, su objetivo no es otro sino proveer conexión inalámbrica en cualquier lugar para dar la posibilidad a sus usuarios de interactuar en sitios de redes sociales como: YouTube, MySpace, Facebook, entre otros; descargar y comprar contenidos multimedia, revisar su correo electrónico o navegar por la Web desde un teléfono móvil.

Sin embargo, para que esto suceda es necesario promover una enorme campaña de transparencia, donde se le explique al usuario cuánto y cómo se le va a cobrar: al comprar una canción desde su celular, navegar por Internet, revisar su correo o mirar televisión.

Es responsabilidad personal y/o de las empresas garantizar que la normativa de uso que adopten para los dispositivos móviles sean adecuadas para las tarifas acordadas con su operador de telefonía (tarifa plana o por volumen de datos). Por ejemplo, en caso de una empresa que invierte en este servicio para mejorar/aumentar el rendimiento de su equipo de trabajo, se pueden establecer restricciones de modo que los empleados sólo puedan consultar el correo electrónico, acceder a la intranet y usar determinados programas para evitar que se disparen los gastos debido al uso personal que hagan de Internet.

Una buena iniciativa, ha sido la incorporación de planes de prepago y postpago para las redes 3G. Pero no se debe olvidar que como toda nueva tecnología es necesario esperar cierto periodo de tiempo para que los costos se reduzcan y permitan su masificación.

Es entendible que muchos usuarios se quejen por los costos actuales tanto de las terminales compatibles con 3G como de los servicios. Pero se debe tomar en cuenta que cuando surgió la telefonía móvil esta era elitista y no cualquiera tenía acceso a ella. Sin embargo el mismo desarrollo y evolución de la tecnología han permitido que hoy sea una forma de comunicación masiva y accesible para todos los estratos sociales” [46].

México y las tecnologías inalámbricas

En México, el estándar 3G es utilizado por operadores de Banda Ancha Móvil. Actualmente existen poco más de 4 millones de cuentas de acceso a Internet, para cerca de 20 millones de usuarios, lo cual indica que en México sigue siendo fundamental el acceso en sitios públicos, debido a las características económicas y dispersión geográfica de nuestro país, por lo que para mejorar la cobertura de banda ancha será fundamental aumentar la base instalada de computadoras con acceso a Internet y la posibilidad de llegar a comunidades remotas.

La situación geográfica, aunada a la económica, han motivado un creciente interés en la creación de redes inalámbricas como WiMAX y 3G, ya que el radio de entre 40 y 90 Km. que cubre podría permitir incrementar la penetración de

banda ancha en México al instalarse en sitios de acceso público, como escuelas y dependencias de gobierno e incluso en zonas de baja densidad poblacional (en México existen 11 localidades con más de un millón de habitantes en donde se concentra cerca del 15% de la población del país, en contraste cerca del 25% de la población vive en comunidades de menos de 2,500 habitantes de acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2005 del INEGI).

En este sentido, WiMAX y 3G se presentan como opciones por demás viables, dada su capacidad y alcance, sobre todo para acceder a comunidades con limitaciones económicas y geográficas en México, ya que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) decidió ya no crecer la red satelital para ofrecer banda ancha a los centros comunitarios digitales y ha optado por explorar redes inalámbricas como WiMAX; en el caso de 3G existen operadores fijos que también están implementando accesos en zonas rurales.

Por otro lado, el estilo de vida de las grandes urbes como las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, demanda cada vez mayor movilidad del acceso a Internet y disminuir la dependencia de un acceso fijo, además resulta atractivo para sectores como el empresarial e incluso el académico, prueba de ello es la popularización de las redes inalámbricas para lugares públicos, como cafés, algunos restaurantes, hoteles y aeropuertos, sin embargo una red inalámbrica otorgaría mayor cobertura, con una cantidad menor de antenas.

En la tabla 4.1 se resumen las principales características de WiMax y 3G.

	WiMAX	3G
Espectro requerido	3.5 GHz	450 MHz
Velocidad Pico	75 Mbps	3.1 Mbps
Velocidad Promedio	2 Mbps	1.8 Mbps
Alcance Máximo por radiobase	48 Kms	90 Kms
Alcance Promedio	15 Kms	45 Kms

Tabla 4.1 Select con base a la información de diferentes fabricantes de tecnologías WiMAX y EV-DO

Como se puede observar, WiMAX ofrece una mayor velocidad, debido a que requiere una mayor frecuencia, sin embargo, 3G requiere menos espectro y cuenta con mayor alcance, pero menor velocidad.

Las tecnologías inalámbricas de nueva generación como WiMAX y 3G tendrán un crecimiento importante en los próximos años, debido al impacto de los operadores que dirigirán sus esfuerzos al éxito de estas tecnologías, será fundamental la oportunidad en la implementación, la inversión en radiobases y el impulso que den los operadores a sus productos [47].

4.2 3G vs WiMAX

Ahora mismo la solución de transmisión de datos en banda ancha en movilidad más introducida en el mercado, es 3G, y tecnologías relacionadas que mejoran el rendimiento, las llamadas 3.5G HSDPA, HSUPA.

Una de las discusiones más complicada e inútiles hoy, es la discusión entre las redes de 3G y WiMAX para determinar cuál es más barata o cara de implementar. Pyramid Research lanzaba un análisis en el que evaluaba los precios del espectro pagado por los operadores móviles por sus licencias 3G y el precio pagado por las operadoras que tienen espectro WiMAX principalmente en 3.5 GHz.

Esta comparación basada únicamente en los precios nominales pagados por las licencias distorsiona las realidades del mercado en cada momento de su evolución. Realizar este ejercicio de precios entre tecnologías es muy difícil, pues en cada mercado las circunstancias varían considerablemente impactando en el precio total de una instalación.

Sin embargo, en Estados Unidos y Latinoamérica, por ejemplo, se pretende implementar la 3G en bandas existentes siempre y cuando lo permita la regulación existente. Hoy tener espectro para lanzar WiMAX móvil es tener un activo semi paralizado o estar a expensas de un solo proveedor pues ni hay interoperabilidad para un ambiente multi vendedor, como sí ocurre en la 3G, ni hay dispositivos en abundancia a precios competitivos.

Por lo que la cuestión no es cuál de las dos es más cara o barata de implementar, sino en el modelo de negocio del operador y que tecnología se ajusta más para poder alcanzar los objetivos comerciales.

Sin embargo, aunque puede ser un paso intermedio, WiMAX muy probablemente sustituirá a 3G, debido a las mayores prestaciones (mayor velocidad y menores retardos entre otras), y, a la mejor integración con internet, ya que WiMAX está diseñada para transmisión de paquetes [48].

Analizando la tabla 8, se puede concluir que la tecnología 3G tiene claras ventajas sobre WiMAX, ya que las radiobases utilizadas por 3G tienen un mayor alcance, además de que las empresas impulsoras de esta tecnología, para su despliegue, utilizan infraestructura que ya se encuentra implementada y en operación, aunado a esto, hoy en día, adquirir un equipo que permita acceso a Internet por medio de 3G no resulta tan costoso comparado con los equipos para acceso de banda ancha por medio de WiMAX.

A pesar de que la velocidad pico de ambas tecnologías difiere en gran medida, siendo WiMAX la que cuenta con una mayor rapidez, la velocidad promedio de ambas es muy similar, 2 Mbps para WiMAX y 1.8 Mbps para 3G. Pero en cuanto al alcance promedio, WiMAX ofrece tan solo 15 Kms mientras que 3G puede alcanzar hasta 45 Kms, lo cual si es una diferencia notable.

A pesar de que la viabilidad de utilizar una u otra tecnología depende del tipo de implementación y servicios que requieran determinados usuarios, podemos concluir que 3G hasta el momento supera en gran medida a WiMAX.

Ahora bien, considerando el proyecto WiMAX-UVAQ, dicha universidad debe optar la implementación de una infraestructura de red del tipo WiMAX porque si bien, los precios del equipo para los usuarios tienen un costo elevado, es

debido a la no masificación de los mismos, una vez superada esta situación, los precios disminuirán considerablemente.

Otro punto importante a considerar es que esta implementación aumentará el nivel educativo de dicha institución manteniendo innovación en la tecnología para ofrecer un mejor nivel de conocimientos tanto a sus alumnos como su plantilla docente en el área de ingenierías.

Capítulo 5 CONCLUSIONES

Estamos viviendo una época de constante cambio, el cual involucra de sobremanera el uso de la tecnología como parte de nuestra vida cotidiana, como es el uso de Internet, y toda la gama de servicios que nos ofrece, como son, el correo electrónico, la realización de pagos de servicios en línea, las compras electrónicas, transacciones bancarias, entretenimiento, entre muchos otros.

Debido a que no siempre se tiene la posibilidad de contar con un cable que nos permita el acceso a Internet, así como tampoco es posible contar siempre con la clave WEP de la conexión inalámbrica más cercana a nuestra ubicación, nace la idea de esta nueva tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha para cubrir de una mejor manera las necesidades del usuario final.

A lo largo de este trabajo se han documentado las características de esta nueva tecnología para el ambiente de redes, llamada WiMAX, al ser un paradigma que aún se encuentra en desarrollo y por ende, no está masificada, una instalación inmediata para hacer uso de los beneficios que nos ofrece, resulta demasiado costoso y por lo tanto puede llegar a considerarse como no factible para desplegarse en un ámbito determinado, será solo cuestión de tiempo para que se vuelva del uso común y de esta manera veremos una notable reducción en los costos de implementación.

Lo anterior puede ser entendido fácilmente con la siguiente analogía, supongamos un coche de último modelo, (2009), éste, tiene un precio elevado debido al costo de producción y lanzamiento, además de la infinidad de novedades con las que cuenta respecto de su antecesor inmediato. Pero para el siguiente año, (2010 para este caso), su costo disminuirá notablemente, atendiendo a la ley de la oferta y la demanda, es decir, cuanto más alto sea el precio, menos demandarán los consumidores, para el caso de WiMAX el proceso será el mismo, por lo tanto llegará un momento en el cual ésta tecnología sea de uso cotidiano a un precio accesible.

Analizando esto desde un punto de vista más general, para determinar la factibilidad de implementación de una red de este tipo, se deben tomar en cuenta varios aspectos, tales como, el área donde se pretende desplegar, ¿Cuáles son las necesidades en el mercado de telecomunicaciones?, como pueden ser, mayor ancho de banda, simplicidad de redes, movilidad. ¿Cuáles son las necesidades de los usuarios?, como pueden ser, demanda de contenidos, conectados donde sea y cuando sea, compartir contenidos de manera simple y segura, excelente calidad en el servicio, servicio accesible, (económicamente hablando), incluso debe considerarse el tiempo que tardará en cargarse un determinado sitio web ya que en varias ocasiones, de esto dependerá la completa satisfacción del usuario final.

WiMAX considera todas estas necesidades de manera inherente, y se perfila como líder en la próxima revolución de telecomunicaciones que podemos llamar como convergencia fijo-móvil, sin olvidar, que éste paradigma no viene a sustituir a ninguna de las tecnologías anteriores ya que como se menciona, actuará de manera complementaria, coexistiendo con las tecnologías que utilizamos actualmente complementando, incrementando su funcionalidad, beneficios, características y alcances.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GARCIA, Tomás Jesús et al. "Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP". Alfa omega grupo editor S.A. de C.V
- [2] IEEE 802.11s Tutorial, noviembre 2006
- [3] JALERCOM S.A. DE C.V. 2007
http://www.jalercom.com/cms/front_content.php?idcat=158 última visita 30 junio 2008
- [4] Olga Sánchez Lorente
<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3784/2/41792-2.pdf>,
Septiembre 2005. Última visita 30 junio 2008
- [5] Pedro Pablo Fábrega Martínez.
http://dns.bdat.net/seguridad_en_redes_inalambricas/c14.html, Última visita 30 junio 2008
- [6] VEGA, Álvarez Asdrúbal, "Consideraciones para implementar y dar seguridad en redes inalámbricas Wi-Fi" p.63. Octubre 2005, Morelia, Michoacán.
- [7] <http://www.tech-faq.com/lang/es/wpa-wi-fi-protected-access.shtml> última visita 30 de junio 2008
- [8] VEGA, Álvarez Asdrúbal, "Consideraciones para implementar y dar seguridad en redes inalámbricas Wi-Fi" p.66. Octubre 2005, Morelia, Michoacán.
- [9] <http://www.rie.cl/?a=125245> Víctor Pantoja, diciembre 2007 última visita 29 junio 2008
- [10] WiMAX Forum www.wimaxforum.org, última visita 13 de Julio de 2008
- [11] http://www.n-economia.com/notas_alerta/pdf/ALERTA_NE_08-2007.PDF
Estrella G. Herrera Agosto 2007.
- [12] <http://www.frecuenciaonline.com/portugues/imprimir.php?id=132&contenidoid=458> Eduardo Prado, Marzo 2008 última visita 30 de Junio 2008
- [13] <http://es.kioskea.net/wimax/wimax-intro.php3> última visita 30 de Junio 2008
- [14] <http://es.kioskea.net/wimax/wimax-intro.php3> última visita 30 de Junio 2008
- [15] WiMAX: la revolución inalámbrica, estudio del arte de la tecnología. Quobis Networks P.3-5.

- [16] WiMAX, OSIPTEL Cuarto boletín tecnológico, Marzo 2006. P. 4-8
- [17] <http://eav.upb.edu.co/banco/files/EstandarIEEE80216.pdf> María Paulina Ángel Cotes, Universidad Pontificia Bolivariana.
- [18] http://www.radioptica.com/Radio/caracteristicas_estandar_wimax.asp Radioptica.com 2008 última visita 30 de Junio 2008
- [19] <http://www.wimax.com/education/wimax/objections> última visita 30 de Junio 2008
- [20] <http://www.agenciaweb.cl/blog/wimax-puerto-montt.htm> última visita 30 de Junio 2008
- [21] www.alegsa.com.ar/Dic/latencia.php última visita 12 de Agosto 2008
- [22] <http://www.umtsforum.net/wimax.asp#2> José Manuel Huidoboro, última visita 28 de Junio 2008.
- [23] WiMax in 50 pages. Frank Ohrtman ISBN. 0-9776244-6-3
- [24] http://www.mundocontact.com/enlinea_detalle.php?recordID=5414 última visita 29 junio 2008 FUENTE: Fernando Butler Silva, El Economista, México
- [25] http://www.esemanal.com.mx/articulos.php?id_sec=12&id_art=5703 ¿WiMax ó 3G? última visita 27 junio 2008, fecha de publicación 31 octubre 2007
- [26] <http://www.gelattina.com/noticias/507/index.asp> fecha de publicación Diciembre 2005 última visita 02 Julio 2008
- [27] <http://www.cudi.edu.mx/>
- [28] <http://www.tecnowimax.com/2006/10/05/telmex-reliaza-una-clara-apuesta-por-wimax> fecha de publicación Octubre 2005, última visita 02 Julio 2008
- [29] AGUILERA, Aguilera. “Ya no es utopía, WiMax ya está en México”, Red, ciudad de México, Mayo 2006
- [30] Proyecto WiMAX Jalisco
http://www.cudi.edu.mx/boletin/2008/Proyecto_Wimax.pdf última visita 22 de Septiembre 2008
- [31] Proyecto WiMAX Jalisco
http://www.comsoc.udg.mx/gaceta/paginas/515/G515_COT%2023.pdf fecha de publicación Febrero 2008 última visita 29 Junio de 2008

-
- [32] <http://www.ultravision.com.mx/internet.php> última visita 29 Junio 2008
- [33] www.wni.com.mx Carlos García Gerente de Ventas, carlos@wni.com.mx
- [34] www.cofetel.gob.mx/
- [35] <http://www.atinachile.cl/content/view/30727> FECHA DE PUBLICACION 16/04/07 última visita 25 Junio 2008
- [36] WiMAX la revolución inalámbrica, Estado del arte de la tecnología QUOBIS, Julio 2006
- [37] Insight into capital expenses for WiMAX network, www.WiMAX.com PBM Networks 2007 P. 4-8
- [38] PacketMAX3000 Base Station, www.apertonet.com Aperto Networks 2007
- [39] PacketMAX100 Subscriber Unit, www.apertonet.com Aperto Networks 2008
- [40] PacketMAX300 Subscriber Unit, www.apertonet.com Aperto Networks 2008
- [41] WaveCenter EMS PRO, www.apertonet.com Aperto Networks 2008
- [42] Signacom Comunicaciones S.A. de C.V. www.signacom.com Ventas Grupo Signacom Ing. José Luis Silva, Agosto 2008
- [43] <http://www.mundotelme.com/tecnologia3g.php> ultima visita 28 de junio de 2008 fecha de publicación 2007 MUNDO TELME Bogotá Colombia.
- [44] http://campaigns.nokiaforbusiness.com/emea/es/articles/article2_0906.html autor Andrew Charlesworth, Director de redacción IDG Global Solutions ultima visita 28 de junio 2008
- [45] Spectrum Analysis - The Critical Factor in BWA/WiMAX versus 3G fecha de publicacion ENERO 2006, www.maravedis-bwa.com ultima visita 27 junio 2008
- [46] <http://www.netmedia.info/articulo-65-7825-1.html> fecha de publicación Marzo 2008 última visita 27 Junio 2008
- [47] http://www.esemanal.com.mx/articulos.php?id_sec=12&id_art=5703 e-semanal en internet, fecha de publicación Octubre 2007, última visita Julio 2008
- [48] <http://www.latinwimax.com/?m=200702> Latin WiMAX, fecha de publicación Febrero 2007, última visita Julio 2008
-

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modos de transmisión por infrarrojos	4
Figura 1.2 Ejemplo de antenas inteligentes	10
Figura 1.3 Trama cifrada con WEP	14
Figura 2.1 Modulación utilizada con respecto a la distancia.	23
Figura 2.10 IPTV y video bajo demanda habilitan a los proveedores de servicios WiMAX para ofrecer programación idéntica a los servicios de televisión por cable o satelitales.	35
Figura 2.2 (a) ejemplo de una trama genérica. (b) una trama de solicitud de ancho de banda.	24
Figura 2.3 Estructura trama de capa MAC y capa FISICA	24
Figura 2.4 Tareas de las subcapas presentes en la capa MAC	26
Figura 2.5 Procesos de empaquetado y fragmentación	26
Figura 2.6 Ejemplo topología punto-multipunto	27
Figura 2.7 Topología en malla.....	27
Figura 2.8 Tipo de servicio ofrecido para cada esquema de red utilizado.....	33
Figura 2.9 IMS permite a los suscriptores acceder a cualquier servicio sin importar el dispositivo y forma de acceso que utilice.....	34
Figura 3.1 Proceso de acceso de banda ancha inalámbrico	47
Figura 3.2 Análisis FODA proyecto WiMAX UVAQ	49
Figura 3.3 Equipo PacketMax 3000	50
Figura 3.4 Equipo PacketMax 100	50
Figura 3.5 Equipo PacketMax 300	51
Figura 3.6 Captura de pantalla software WaveCenter T M Element Management System Pro	51
Figura 3.7 Diagrama de cualidades FCAPS.....	52
Grafica 2.1 Posible alcance de las cuentas WiMAX en México en los próximos años.....	37
Gráfica 4.1 Número de licencias por tecnología, por región.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas	5
Tabla 1.2 Estándares para WLAN.....	6
Tabla 1.3. WPA Enterprise y WPA PSK.....	16
Tabla 2.1. Resumen Estandares 802.16	30
Tabla 2.2. Resumen financiero proyecto WiMAX Jalisco	42
Tabla 2.3. Tarifas de Ultravisión.....	42
Tabla 3.1 Cotización para PacketMax PM3000, proyecto WiMAX UVAQ	52
Tabla 4.1 Select con base a la información de diferentes fabricantes de tecnologías WiMAX y EV-DO	59

GLOSARIO DE TERMINOS

- **Área de Servicio Básico (BSA):** es la zona donde se comunican las estaciones de una misma BSS, se definen dependiendo del medio.
- **COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones).** Órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con autonomía técnica, operativa, de gasto y de gestión, encargado de regular, promover y supervisar el desarrollo eficiente y la cobertura social amplia de las telecomunicaciones y la radiodifusión en México, con autonomía plena para dictar sus resoluciones.
- **Conjunto de servicio básico (BSS):** Grupo de estaciones que se intercomunican entre ellas. Se define dos tipos:
 - Independientes: cuando las estaciones, se intercomunican directamente.
 - Infraestructura: Cuando se comunican todas a través de un punto de acceso.
- **Conjunto de servicio Extendido (ESS):** Es la unión de varios BSS.
- **Estaciones:** computadores o dispositivos con interfaz inalámbrica.
-
- **IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers, por sus siglas en inglés*).** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, es una asociación mundial dedicada a la estandarización de nuevas tecnologías.
 - IEEE 802.1 – Control de admisión de red basada en puertos
 - IEEE 802.10 – Seguridad.
 - IEEE 802.11 – Redes inalámbricas WLAN.
 - IEEE 802.12 – Demanda prioridad.
 - IEEE 802.13 – No utilizado por superstición.
 - IEEE 802.14 – Modems de cable.
 - IEEE 802.15 – WPAN (Bluetooth)
 - IEEE 802.16 - Redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha (WiMAX)
 - IEEE 802.17 – Anillo de paquete elastico.
 - IEEE 802.18 – Grupo de Asesoría Técnica sobre Normativas de Radio.
 - IEEE 802.19 – Grupo de Asesoría Técnica sobre Coexistencia.
 - IEEE 802.2 – Control de enlace lógico.
 - IEEE 802.20 – Mobile Broadband Wireless Access.
 - IEEE 802.21 – Media Independent Handoff.
 - IEEE 802.22 – Wireless Regional Area Network.
 - IEEE 802.3 – CSMA / CD (ETHERNET)
 - IEEE 802.4 – Token bus.
 - IEEE 802.5 – Token ring.
 - IEEE 802.6 – MAN (ciudad) (fibra óptica)
 - IEEE 802.7 – Banda ancha.

- IEEE 802.8 – FDDI (Fibra óptica)
- IEEE 802.9 – Voz y datos en XAL.

- **IEEE 802.x.** Conjunto de normas que definen las características físicas de las redes, dictadas por el IEEE:
 1. Independientes: cuando las estaciones, se intercomunican directamente.
 2. Infraestructura: Cuando se comunican todas a través de un punto de acceso.

- **ISM (Industrial, Scientific and Medical).** son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

- **LAN.** Son redes de propiedad privada dentro de un edificio utilizadas para conectar computadoras personales y estaciones de trabajo, con la finalidad de compartir recursos e intercambiar información.

- **MAN (Metropolitan Area Network).** Es una red que cubre un área geográfica extensa y proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y video, sobre medios de transmisión tales como fibra óptica y par trenzado.

- **Medio de Transmisión:** se pueden definir dos la radiofrecuencia y los infrarrojos.

- **Protocolo de Red.** Es un conjunto de estándares que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red.

- **Punto de acceso (AP):** tiene las funciones de un puente (conecta dos redes con niveles de enlace parecidos, o distintos), y realiza por tanto las conversiones de trama pertinente.

- **Red de computadoras.** Se refiere a una interconexión de computadoras con la finalidad principal de compartir información, recursos y servicios, la cual puede realizarse a través de un medio físico (cable), o sin él.

- **Red por Infrarrojos.** Permite la interconexión de computadoras por medio de leds infrarrojos. Se utiliza principalmente para el intercambio de datos entre dispositivos móviles.

- **Sistema de distribución:** importantes ya que proporcionan movilidad entre AP, para tramas entre distintos puntos de acceso o con los terminales, ayudan ya que es el mecánico que controla donde está la estación para enviarle las tramas.

- **WAN (Wide Area Network).** Se extiende sobre un área geográfica extensa, en ocasiones un país o un continente, y, contiene una colección de máquinas dedicadas a ejecutar programas de usuario (es decir, de aplicación).
- **WEP (Wired Equivalent Privacy).** Es un sistema de cifrado incluido en el estándar IEEE 802.11 el cual permite cifrar la información que se transmite.
- **Wi-Fi.** Es un sistema de envío de datos en una red de computadoras mediante ondas de radio, es decir, no utilizada medios físicos para realizar envío y/o recepción de datos.
- **WiMAX, (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).** Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas, puede ser definido como una alternativa al uso de servicios de cable modem, DSL o servicios T1 para el acceso inalámbrico de banda ancha.
- **WLAN (Wireless Area Network).** Red de comunicación inalámbrica utilizada como alternativa a las LAN's cableadas o como una extensión de éstas.
- **WMAN (Wireless Metropolitan Area Network).** también se conocen como Bucle Local Inalámbrico, (WLL, por sus siglas en ingles), se basan en el estándar IEEE 802.16 y ofrece una velocidad total efectiva de 1 a 10 Mbps, con un alcance de 4 a 10 kilómetros.
- **WPA (Wi-Fi Protected Access).** Sistema para proteger las redes inalámbricas, creado para corregir las vulnerabilidades de WEP.

WPA adopta la autenticación de usuarios mediante el uso de un servidor, donde se almacenan las credenciales y contraseñas de los usuarios de la red. Para no obligar al uso de tal servidor para el despliegue de redes, WPA permite la autenticación mediante clave compartida ([PSK], Pre-Shared Key), que de un modo similar al WEP, requiere introducir la misma clave en todos los equipos de la red.
- **WPAN (Wireless Personal Area Network).** Son redes inalámbricas de área personal que cubren distancia del orden de los 10 metros como máximo.
- **WWAN (Wireless Wide Area Network).** Son redes inalámbricas de area extensa utilizadas por sistemas de telefonía celular.