



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGON

**“CONECTIVIDAD Y MOVILIDAD, ESTÁNDART  
802.16 WiMAX (HIPERMAN)”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**  
P R E S E N T A :

**CESAR COMUNIDAD OLEA.  
Y  
OSCAR COMUNIDAD OLEA.**

**ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS**



Estado de México

2007.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**CONECTIVIDAD Y MOVILIDAD, STÁNDART 802.16  
WiMAX HIPÉRMAN”**

**Índice.**

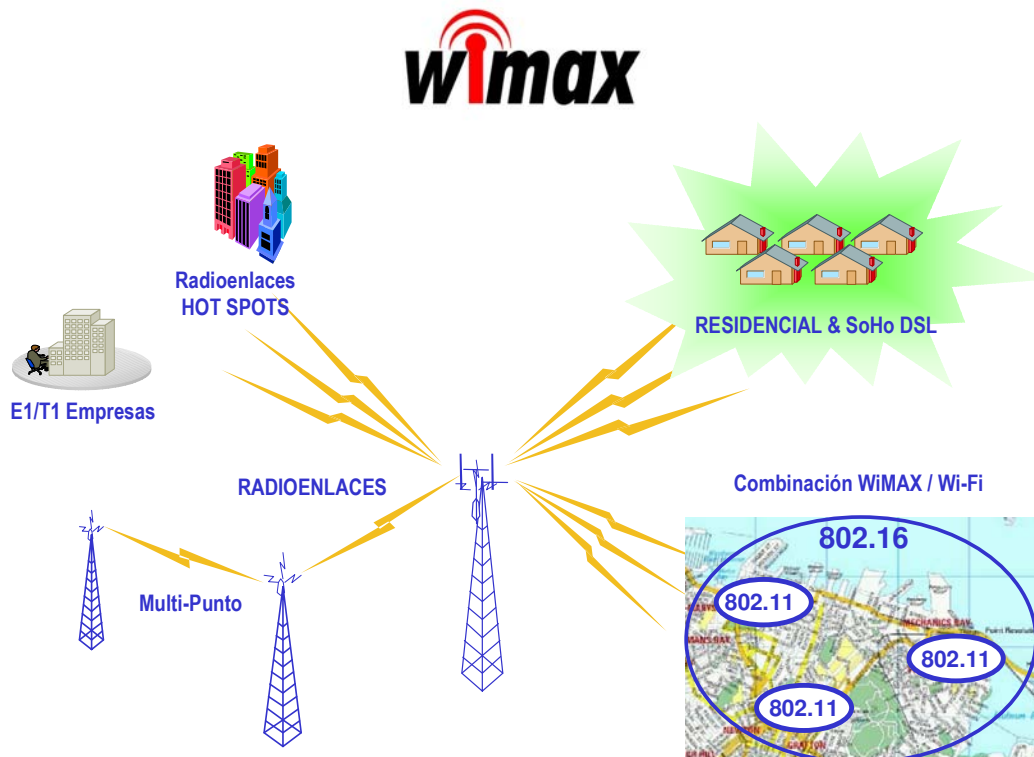
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capitulo I.- Redes Globales Inalámbrica</b>	
1.1 Introducción a las redes de banda ancha inalámbricas.....	5
1.2. Estándares inalámbricos de banda ancha.....	6
1.3 Telefonía móvil 1G.....	9
1.4 Canales lógicos GSM.....	12
<b>Capitulo II.- Estándar 802.112.1 IEEE 802.11</b>	
2.1 IEEE 802.11.....	20
2.2 Tecnología Wi-Fi.....	23
2.3 Arquitectura del protocolo IEEE 802.11.....	24
2.4 El modelo OSI.....	25
2.5 las capas de IEEE 802.11.....	28
2.6 Capa MAC, El control de acceso al medio.....	33
2.7 Trama de IEEE802.....	35
2.8 Arquitectura De IEEE 802.11.....	38
2.9 Los Servicios.....	43
2.10 La Gestión.....	52
2.11 Dominios Reguladores Para Wi-Fi.....	53
2.12 Las Bandas De 2.4 Ghz	
<b>Capitulo III.- Soluciones De Conectividad, Estándar 802.16</b>	
3.1 Introducción.....	61
3.2 Foro Wimax.....	61
3.3. Modelos de uso.....	62
3.4. Configuración/Arquitectura.....	63
3.5. Utilización del espectro.....	65
3.6. Arquitectura de protocolo 802.16.....	66
3.7. Características de la capa física.....	67
3.8. Características de la capa MAC.....	68
3.9. Modelos de propagación.....	69
3.10 Diseño herramienta de cálculo de capacidad y alcance.....	71
3.11 Capa Física.....	72
3.12 Simulaciones para el análisis de una red WiMAX.....	89
3.13 Características Red Wimax.....	90
3.14 Análisis cobertura radioeléctrica.....	93
3.15 Análisis de interferencias.....	99
3.16 Resultados del proyecto.....	106
3.17 Impacto medioambiental.....	107
3.18 Tendencias y trabajos futuros.....	109
<b>Conclusiones.....</b>	<b>110</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>112</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>123</b>

## INTRODUCCIÓN

Últimamente se habla mucho de Wi-Fi, una tecnología inalámbrica, que en sus diferentes versiones (802.11a, b y g) puede ofrecer desde 11 Mbit/s hasta 54 Mbit/s, y sus distintas aplicaciones, especialmente en los hot-spots (hoteles, aeropuertos, estaciones de servicio, centros de convenciones y comerciales, pueblos, etc., en los que se ofrece acceso a Internet, en muchos casos, de forma gratuita, lo que hace que los modelos de negocio no prosperen.

Pues bien, todo esto se puede ver enormemente afectado por un nuevo estándar del que está empezando a hablar, el 802.16x, conocido como WiMAX, que es una especificación para redes metropolitanas inalámbricas (WMAN) de banda ancha, que está siendo desarrollado y promovido por el grupo de la industria WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), <http://www.wimaxforum.org/home> cuyo dos miembros más representativos son Intel y Nokia. Como sucedió con la marca Wi-Fi, que garantiza la interoperabilidad entre distintos equipos la etiqueta WiMAX se asociará globalmente con el propio nombre del estándar.

El hecho de que WiMAX no sea todavía una tecnología de consumo ha permitido que el estándar se desarrolle conforme a un ciclo bien establecido, lo que es garantía de su estabilidad y de cumplimiento con las especificaciones, algo parecido a lo que sucedió con GSM, que es garantía de su estabilidad.



## ESTANDARIZACION

A pesar de que el proyecto para la creación de un nuevo estándar se gestó hace 6 años en el IEEE, no fue hasta abril de 2002 que la primera versión del mismo, la 802.16, se publicó, y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (LoS) entre transmisor y receptor, pensada para cubrir la “última milla” (o la primera, según desde que lado se mire), utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz.

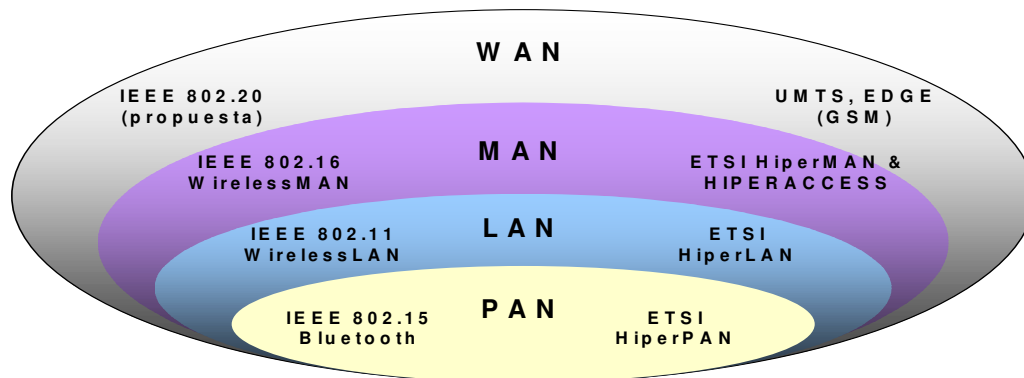
Un año más tarde, en marzo de 2003, se ratificó una nueva versión, el 802.16a, y fue entonces cuando WiMAX, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia. También se pensó para enlaces fijos, pero llega a extender el rango alcanzado desde 40 a 70 kilómetros, operando en la banda de 2 a 11 GHz, parte del cual es de uso común y no requiere licencia para su operación.

Es válido para topologías punto a multipunto y, opcionalmente, para redes en malla, y no requiere línea de visión directa. Emplea las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia (2,5-2,7 en Estados Unidos), y las de 2,4 GHz y 5,725-5,825 GHz que son de uso común y no requieren disponer de licencia alguna.

Un aspecto importante del estándar 802.16x es que define un nivel MAC (Media Access Layer) que soporta múltiples enlaces físicos (PHY). Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso.

Pero WiMAX también tiene competidores, y así una alternativa es el estándar Hiper access (>11 GHz) e HiperMAN (<11 GHz) del ETSI, pero el auge que está tomando WiMAX ha hecho que se esté estudiando la posibilidad de armonizarlo con esta última norma, que también utiliza una modulación OFDM. Sin olvidarnos de Mobile-Fi, el estándar 802.20 del IEEE, específicamente diseñado desde el principio para manejar tráfico IP nativo para un acceso móvil de banda ancha, que provee velocidad entre 1 y 16 Mbit/s, sobre distancias de hasta 15 o 20 km, utilizando frecuencias por debajo de la banda de 3,5 GHz.

## Posicionamiento de Estándares Wireless



## CARACTERISTICAS

El estándar 802.16 puede alcanzar una velocidad de comunicación de más de 100 Mbit/s en un canal con un ancho de banda de 28 MHz (en la banda de 10 a 66 GHz), mientras que el 802.16a puede llegar a los 70 Mbit/s, operando en un rango de frecuencias más bajo (<11 GHz). Es un claro competidor de LMDS.

	WiMax 802.16	Wi-Fi 802.11	Mobile-Fi 802.20	UMTS cdma2000
Velocidad	124 Mbit/s	11-54 Mbit/s	16 Mbit/s	2 Mbit/s
Cobertura	40-70 km	300 m	20 km	10 km
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y Movilidad	Rango y Movilidad
Desventajas	Interferencias?	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro

Comparativa de WiMAX frente a otras tecnologías.

Estas velocidades tan elevadas se consiguen gracias a utilizar la modulación OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing) con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido. Esta técnica de modulación es la que también se emplea para la TV digital, sobre cable o satélite, así como para Wi-Fi (802.11a) por lo que está suficientemente probada. Soporta los modos FDD y TDD para facilitar su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos.

Soporta varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y es adecuada tanto para tráfico continuo como a ráfagas, siendo independiente de protocolo; así, transporta IP, Ethernet, ATM etc. y soporta múltiples servicios simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e, por lo cual resulta adecuado para voz sobre IP (VoIP), datos y vídeo. Por ejemplo, la voz y el vídeo requieren baja latencia pero soportan bien la pérdida de algún bit, mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo.

Otra característica de WiMAX es que soporta las llamadas antenas inteligentes (smart antenas), propias de las redes celulares de 3G, lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a conseguir 5 bps/Hz, el doble que 802.11a. Estas antenas inteligentes emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo, electrónicamente, para enfocar siempre al receptor, con lo que se evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado.

También, se contempla la posibilidad de formar redes malladas (mesh networks) para que los distintos usuarios se puedan comunicar entre sí, sin necesidad de tener visión directa entre ellos. Ello permite, por ejemplo, la comunicación entre una comunidad de usuarios dispersos a un coste muy bajo y con una gran seguridad al disponerse de rutas alternativas entre ellos.

En cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES.(128 bits) y RSA (1.024 bits).

Una de las principales limitaciones en los enlaces a larga distancia vía radio es la limitación de potencia, para prever interferencias con otros sistemas, y el alto consumo de batería que se requiere.

## **APLICACIONES**

Las primeras versiones de WiMAX están pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto, típicas de los radio enlaces 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, según como se mire.

Para las empresas, es una alternativa a contemplar, ya que el coste puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. De momento no se habla de WiMAX para el acceso residencial, pero en un futuro podría ser una realidad, sustituyendo con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

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 radio enlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un coste 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.

La instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, por lo que para 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.

Algunos operadores de LMDS (Local Multipoint Distribution System) están empezando a considerar esta tecnología muy en serio y ya han comenzado a hacer despliegues de red, utilizando los elementos que hoy por hoy están disponibles. Habrá que esperar para ver el resultado de estas pruebas y si se confirma su aceptación por el global de la industria y de los usuarios.

# CAPÍTULO I.

## REDES GLOBALES INALÁMBRICAS

### 1.1. Introducción a las redes de banda ancha inalámbricas

Se entiende por redes inalámbricas al conjunto de tecnologías que permiten una comunicación entre dos o más dispositivos sin la utilización de soporte físico, mediante la transmisión de ondas electromagnéticas en el espectro radioeléctrico.

Como ejemplo principal de las redes de acceso de banda ancha inalámbricas, existe el denominado bucle de acceso inalámbrico WLL (*Wireless Local Loop*) que hace referencia a diferentes tecnologías y sistemas que permiten al cliente final el acceso a la RTB (Red Telefónica Básica), y por tanto a todos los servicios asociados a las redes troncales.

La característica principal de estas redes es sustituir el par de cobre tradicional que facilita la conexión final entre el abonado y el centro de conmutación de datos. En definitiva se trata de una alternativa real de la llamada última milla cableada.

El esquema de funcionamiento de las redes de acceso inalámbrico es similar al de las comunicaciones celulares, con la salvedad de que el terminal del usuario no es un dispositivo móvil, estando la antena receptora en una ubicación fija (hasta el momento, típicamente en la parte superior de los edificios).

Entre las posibilidades tecnológicas cabe destacar, sistemas relativamente poco conocidos, referenciados como sistemas de banda ancha inalámbricos BWA. Entre ellos MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) o LMDS (*Local Multipoint Distribution Services*). Ambos sistemas se basan en el uso de frecuencias microondas, por lo que se requiere que no exista ningún tipo de obstáculo físico entre la antena emisora y la receptora. La transmisión es punto-multipunto, por lo que una única antena transmite la señal a varias antenas receptoras dentro de una zona geográfica determinada.

Una breve descripción de las dos principales variantes es la siguiente [1]:

LMDS (*Local Multipoint Distribution Services*)

Esta tecnología permite, en un radio de cobertura limitado, transmitir información a alta velocidad desde un punto (la estación base) a muchos puntos (los clientes) y viceversa.

Utiliza bandas de alta frecuencia cuyo uso está regulado y requiere pago de la correspondiente licencia. En España la banda de frecuencias son 3,5 y 26 GHz.

Sus principales desventajas son las siguientes:



- El ancho de banda es compartido por los usuarios, por tanto las prestaciones disminuyen a medida que aumenta el número de usuarios.
- Se requiere visión directa entre las antenas para efectuar la transmisión de datos LOS (*Line Of Sight*)

#### MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Services*)

El funcionamiento de esta tecnología es muy similar a la anterior, teniendo ambas las mismas desventajas. Las principales diferencias son:

- Utiliza una banda de frecuencia diferente, también regulada, generalmente inferior a 2,5 GHz donde no se requiere visibilidad directa.
- La distancia entre la estación base y los clientes puede ser mayor a 10 km, mientras que en LMDS no suele superar los 5 km.

Las tecnologías xMDS deben superar la restricción motivada por la necesidad de disponer visión directa entre antenas para tener verdaderamente impacto en el mercado. En este sentido, WiMAX se establece como principal alternativa permitiendo enlaces sin visión directa (NLOS) entre estación base y cliente.

Junto a estas tecnologías ampliamente desarrolladas, son muchos los fabricantes que han desarrollado su sistema propietario, los cuales no permiten interoperar entre ellas. De ahí la necesidad de la estandarización de las redes de acceso de banda ancha inalámbricas

En la actualidad la industria de las redes de acceso de banda ancha inalámbricas se encuentran en una evolución hacia la segunda generación de este tipo de redes. En este sentido, la aparición del nuevo estándar IEEE 802.16 y el interés manifiesto de las industrias que han formado un foro de estudio de la nueva tecnología (Wimax Forum), genera nuevas expectativas en la creación de nuevas redes de acceso inalámbricas de gran capacidad.

En este documento, se presentaran algunas de estas expectativas, y se analizarán el alcance de las prestaciones del estándar.

## 1.2. Estándares inalámbricos de banda ancha

En cualquier tipo de tecnología de comunicaciones los estándares son clave para promover grandes volúmenes de producción, y de este modo, reducir costes y posibilitar un aumento de la cuota de mercado y el acceso de gran número de usuarios a dicha tecnología. Adicionalmente, la estandarización simplifica los procesos de prueba y evaluación de productos, a la vez que reduce los tiempos de desarrollo y de implantación.

En este sentido, el IEEE ha establecido una jerarquía de estándares inalámbricos complementarios entre ellos [2]. Esto incluye el IEEE 802.15 para Redes de Área Personal (PAN), IEEE 802.11 para Redes de Área Local (LAN), 802.16 para Redes de

Área Metropolitana, y el propuesto IEEE 802.20 para Redes de Área Amplia (WAN). Cada estándar mencionado representa una tecnología optimizada para un mercado y modelo de uso distinto y está diseñado para complementar los otros.

### **IEEE 802.15 – Personal Area Network (PAN)**

Las tecnologías inalámbricas basadas en la familia de estándares IEEE 802.15 (bluetooth, zigbee, etc) proporcionan, por un bajo costo y una baja potencia, un enlace radio de corto alcance para dispositivos móviles. De esta manera permite establecer conexiones de tiempo real de voz y datos mediante la banda libre de 2,400-2,483 GHz, alcanzando tasas de transferencia de hasta 1 Mbps.

### **IEEE 802.11 – Wireless Local Area Network (WLAN)**

El protocolo IEEE 802.11 o Wi-fi es un estándar de protocolo de comunicaciones de la IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI, especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN.

La familia 802.11 actualmente incluye seis técnicas de transmisión por modulación que utilizan todos los mismos protocolos. El estándar original de este protocolo data de 1997, era el IEEE 802.11. Actualmente, el estándar ha ido generando nuevas publicaciones, siendo la versión 802.11i la última. En la tabla siguiente se puede observar las diferentes evoluciones que ha ido sufriendo el estándar y todas sus variaciones.

**Tabla 1.1.** Estándares de la familia IEEE 802.11x [3].

Estándar	Descripción
802.11	Estándar WLAN original. Soporta de 1 a 2 Mbps.
802.11a	Estándar WLAN de alta velocidad en la banda de los 5 GHz. Soporta hasta 54 Mbps.
802.11b	Estándar WLAN para la banda de 2.4 GHz. Soporta 11 Mbps.
802.11e	Está dirigido a los requerimientos de calidad de servicio para todas las interfaces IEEE WLAN de radio.
802.11f	Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores.
802.11g	Establece una técnica de modulación adicional para la banda de los 2.4 GHz. Dirigido a proporcionar velocidades de hasta 54 Mbps.
802.11h	Define la administración del espectro de la banda de los 5 GHz para su uso en Europa y en Asia Pacífico.
802.11i	Está dirigido a abatir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación. El estándar abarca los protocolos 802.1X, TKIP (Protocolo de Llaves Integradas –Seguras– Temporales), y AES (Estándar de Encriptación Avanzado).
802.11n	Es la versión en la que actualmente se está trabajando. Se espera su publicación durante el 2006 o 2007, y permitirá velocidades de hasta 640 Mbps.

### IEEE 802.16 – Metropolitan Area Network (MAN)

Se trata de una especificación para las redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha publicada inicialmente el 8 de abril de 2002.

El estándar actual es el IEEE Std 802.16-2004, aprobado en Junio de 2004, que cubre únicamente los enlaces estáticos. Hay una extensión denominada 802.16e para sistemas móviles, recientemente aprobada que no es objeto de estudio en este proyecto.

El estándar 802.16 puede operar en frecuencias desde 2 hasta 11 Ghz, ofreciendo conexiones de última milla (de la estación base a los usuarios finales) y en frecuencias entre 10 a 60 Ghz para las comunicaciones con línea vista entre las estaciones bases.

En la siguiente tabla se muestran todas las variantes existentes de la familia IEEE 802.16.

Tabla 1.2. Estándares de la familia IEEE 802.16 [4].

Estándar	Descripción
802.16	Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa, con una capacidad de hasta 134Mbps en celdas de 2 a 5 millas. Soporta calidad de servicio. Públicado en 2002
802.16a	Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas NLOS y LOS, y protocolo PTP i PTMP. Publicado en Abril 2003
802.16c	Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10 – 66 GHz. Publicado en Enero de 2003.
802.16d	Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004 en Junio de 2004 (La última versión del estándar).
802.16e	Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nomádica para elementos portables del estilo a notebooks. Publicado en diciembre de 2005

### 1.3 Telefonía móvil

Los **teléfonos de primera generación** o **1G** son analógicos, ya que envían la información sobre ondas cuya forma varía de forma continua. Estos solamente se pueden usar para voz y tienen una calidad de llamada altamente variable debido a la interferencia. Otra desventaja importante es la baja seguridad que proporcionan ya que es relativamente sencilla la escucha de llamadas ajenas a través de un de un sintonizador de radio así como la usurpación de frecuencia pudiendo cargar las llamadas a un tercero. El estándar 1G AMPS es todavía popular en los EEUU aunque no se utiliza en ningún otro país

Telefonía móvil 2G

### Telefonía móvil 2G

Se conoce como **telefonía móvil 2G** a la segunda generación de telefonía móvil. La telefonía móvil 2G no es un estándar o un protocolo sino que es una forma de marcar el cambio de protocolos de telefonía móvil analógica a digital. La llegada de la segunda generación de telefonía móvil fue alrededor de 1990 y su desarrollo deriva de la necesidad de poder tener un mayor manejo de llamadas en prácticamente los mismos espectros de radiofrecuencia asignados a la telefonía móvil, para esto se introdujeron protocolos de telefonía digital que además de permitir más

enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal, como es el caso del envío de mensajes de texto o *Paging* en un servicio denominado *Short Message Service* o SMS y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y modem.

2G abarca varios protocolos distintos desarrollados por varias compañías e incompatibles entre sí, lo que limitaba el área de uso de los teléfonos móviles a las regiones con compañías que les dieran soporte.

### Protocolos de telefonía 2G

GSM (Global System por Mobile Communications)

TDMA Celular PCS o IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) Sistema regulado por la Telecommunications Industry Association o TIA

CDMA (Code Division Multiple Access)

D-AMPS Digital Advanced Mobile Phone System

PHS (Personal Handyphon System) Sistema usado en un principio en Japón por la compañía NTT DoCoMo con la finalidad de tener un estándar enfocado más a la transferencia de datos que el resto de los estándares 2G

### Telefonía 2.5G / 2.75G

Como tal no existe ningún estándar ni tecnología a la que se pueda llamar 2.5G o 2.75G, pero suelen ser denominados así a algunos teléfonos móviles 2G que incorporan algunas de las mejoras y tecnologías del estándar 3G como es el caso de GPRS y EDGE en redes 2G y con tasas de transferencia de datos superiores a los teléfonos 2G regulares pero inferiores a 3G.

Sistema Global para las Comunicaciones Móviles

***Global System for Mobile communications*** (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), anteriormente conocida como "***Group Special Mobile***" (GSM, Grupo Especial Móvil) es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales. El estándar fue creado por la CEPT y posteriormente desarrollado por ETSI como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo (aún en desarrollo). Es el estándar predominante en Europa, así como el mayoritario en el resto del mundo (alrededor del 70% de los usuarios de teléfonos móviles del mundo en 2001 usaban GSM).

GSM difiere de sus antecesores principalmente en que tanto los canales de voz como las señales son digitales. Se ha diseñado así para un moderado nivel de seguridad.



GSM emplea una modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) obtenida a partir de una modulación MSK que es un tipo especial de FSK. Para el acceso en el interfaz radio o Abis se utiliza el sistema TDMA de banda estrecha (*Time Division Multiple Access*) entre la estación base y el teléfono celular utilizando 2 de canales de radio de frecuencia dúplex. Para minimizar las fuentes de interferencia y conseguir una mayor protección se utiliza el (*frequency hopping*) o salto en frecuencia entre canales, con una velocidad máxima de 217 saltos/S. y siempre bajo mandato de la red.

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en la banda: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1,8 GHz) son utilizadas en la mayor parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto de América Latina que utilizan el CDMA, lugares en los que se utilizan las bandas de GSM-850 y GSM-1900 (1,9 GHz), ya que en EE.UU. las bandas de 900 y 1800 MHz están ya ocupadas para usos militares.

Inicialmente, GSM utilizó la frecuencia de 900 MHz con 124 pares de frecuencias separadas entre si por 200 Khz., pero después las redes de telecomunicaciones públicas utilizaron las frecuencias de 1800 y 1900 MHz, con lo cual es habitual que los teléfonos móviles de hoy en día sean tribanda.

El GSM, se puede dedicar tanto a voz como a datos.

Una llamada de voz utiliza un codificador GSM específico a velocidad total de 13Kbits/s, posteriormente se desarrolló un códec a velocidad mitad de 6,5 kbits/s que permitirá duplicar la capacidad de los canales TCH, se denomina FR (Full Rate) y HR (Half Rate)

Una conexión de datos, permite el que el usuario utilice el móvil como un módem de 9600 bps, ya sea en modos circuito o paquetes en régimen síncrono/asíncrono. También admiten servicios de datos de una naturaleza no transparente con una velocidad neta de 12 kbits/s

Las implementaciones más veloces de GSM se denominan GPRS y EDGE, también denominadas generaciones intermedias o 2.5G, que conducen hacia la tercera generación 3G o UMTS.

Los nuevos teléfonos GSM pueden ser controlados por un conjunto de comandos estandarizados Hayes AT, mediante cable o mediante una conexión inalámbrica (IrDA o Bluetooth, este último incorporado en los teléfonos actuales).

## 1.4 Canales lógicos GSM

Para establecer y mantener las comunicaciones entre las terminales móviles y las estaciones bases (BS) de la red, GSM utiliza un sistema TDMA para cada una de las frecuencias de que dispone. La comunicación en una determinada frecuencia se realiza a través de tramas temporales de 4,615 ms, divididas en 8 slots cada una. En esos slots se alojan los *canales lógicos* de GSM, que agrupan la información a transmitir entre la estación base y el móvil de la siguiente manera:

- Canales de tráfico  
(*Traffic Channels*, TCH): albergan las llamadas en proceso que soporta la estación base.
- Canales de control.
- Canales de difusión (*Broadcast Channels*, BCH).
- Canal de control broadcast (*Broadcast Control Channel*, BCCH): comunica desde la estación base al móvil la información básica y los parámetros del sistema.
- Canal de control de frecuencia (*Frequency Control Channel*, FCCH): comunica al móvil (desde la BS) la frecuencia portadora de la BS.
- Canal de control de sincronismo (*Synchronization Control Channel*, SCCH). Informa al móvil sobre la secuencia de entrenamiento (*training*) vigente en la BS, para que el móvil la incorpore a sus ráfagas.
- Canales de control dedicado (*Dedicated Control Channels*, DCCH).
- Canal de control asociado lento (*Slow Associated Control Channel*, SACCH).
- Canal de control asociado rápido (*Fast Associated Control Channel*, FACCH).
- Canal de control dedicado entre BS y móvil (*Stand-Alone Dedicated Control Channel*, SDCCH).
- Canales de control común (*Common Control Channels*, CCCH).
- Canal de aviso de llamadas (*Paging Channel*, PCH): permite a la BS avisar al móvil de que hay una llamada entrante hacia el terminal.

- Canal de acceso aleatorio (*Random Access Channel*, RACH): alberga las peticiones de acceso a la red del móvil a la BS.
- Canal de reconocimiento de acceso (*Access-Grant Channel*, AGCH): procesa la aceptación, o no, de la BS de la petición de acceso del móvil.
- Canales de Difusión Celular (*Cell Broadcast Channels*, CBC).

### Códigos estándar en redes GSM

#### Identificación de llamada (CALLER ID)

Activación de envío u ocultación del número al realizar o recibir una llamada. Estos códigos dependen de la habilitación del servicio por parte de la prestataria del mismo. En algunos países, como Argentina, las empresas Personal y CTI, Perú (Movistar) ignoran los códigos y la activación/desactivación del servicio debe ser realizada desde el menú de cada teléfono.

Al realizar una llamada:

Activar: \*31# [SEND]

Cancelar: #31# [SEND]

Estado: \*#31# [SEND]

Al recibir

Activar: \*30# [SEND]

Cancelar: #30# [SEND]

Estado: \*#30# [SEND]

Temporal (solo para una llamada)

No mostrar: #31#NUMERO [SEND]

Mostrar: \*31#NUMERO [SEND]

Mostrar el código IMEI del teléfono

Marcar \*#06#

### Acceso múltiple por división de tiempo

El **Acceso múltiple por división de tiempo (Time Division Multiple Access o TDMA**, del inglés) es una tecnología que distribuye las unidades de información en ranuras ("**slots**") alternas de tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias. TDMA es una tecnología inalámbrica de segunda generación que brinda servicios de alta calidad de voz y datos.

TDMA divide un único canal de frecuencia de radio en varias ranuras de tiempo (seis en D-AMPS y PCS, ocho en GSM). A cada persona que hace una llamada se le asigna una ranura de tiempo específica para la transmisión, lo que hace posible que varios usuarios utilicen un mismo canal simultáneamente sin interferir entre sí.

Existen varios estándares digitales basados en TDMA, tal como TDMA D-AMPS (Digital-Advanced Mobile Phone System), TDMA D-AMPS-1900, PCS-1900 (Personal Communication Services), GSM (Global System for Mobile Communication), DCS-1800 (Digital Communications System) y PDC (Personal Digital Cellular).



## Características

Se utiliza con modulaciones digitales.  
Tecnología simple y muy probada e implementada.  
Adecuada para la conmutación de paquetes.  
Requiere una sincronización estricta entre emisor y receptor.  
Requiere el Time Advance.

## Acceso múltiple por división de código

La **multiplexación por división de código** o **CDMA** es un término genérico que define una interfaz de aire inalámbrica basada en la tecnología de espectro extendido (spread spectrum). Para telefonía celular, CDMA es una técnica de acceso múltiple especificada por la TIA como IS-95.

En marzo de 1992, la TIA estableció el subcomité TR 45.5 con la finalidad de desarrollar un estándar de telefonía celular digital con espectro extendido. En julio de 1993, la TIA aprobó el estándar CDMA IS-95. Los sistemas IS-95 dividen el espectro en portadoras de 1.25 MHz.

Uno de los aspectos únicos de CDMA es que a pesar de que existe un número fijo de llamadas telefónicas que pueden manipularse por parte de un proveedor de servicios de telefonía (carrier), este no es un número fijo. La capacidad del sistema dependerá de muchos factores. Cada dispositivo que utiliza CDMA está programado con un pseudocódigo, el cual se usa para extender una señal de baja potencia sobre un espectro de frecuencias amplio. La estación base utiliza el mismo código en forma invertida (los ceros son unos y los unos son ceros) para desentender y reconstruir la señal original. Los otros códigos permanecen extendidos, distinguibles del ruido de fondo. Hoy en día existen muchas variantes, pero el CDMA original se conoce como cdmaOne bajo una marca registrada de Qualcomm. A CDMA se le caracteriza por su alta capacidad y celdas de radio pequeño, que emplea espectro extendido y un esquema de codificación especial y, lo mejor de todo es muy eficiente en potencia.

## Información sobre paquetes

Las redes basadas en CDMA están construidas con protocolos basados en IP (Internet protocol; protocolo de Internet). En otro tipo de redes, añadir equipo que soporte paquetes de datos y requiera también equipo terminal que lo soporte. El estándar cdmaOne ya incorpora en sus terminales los protocolos TCP/IP (Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet) y PPP (Protocolo punto a punto).

## Seguridad y privacidad

La técnica de espectro extendido se utiliza bastante en aplicaciones militares, donde la seguridad de las conversaciones y protección de los datos son cuestiones importantísimas. En un ambiente de negocios también son vitales los aspectos de seguridad y privacidad. Diseñado con alrededor de 4.4 trillones de códigos, CDMA virtualmente elimina la clonación de dispositivos y es muy difícil capturar y descifrar una señal.

## Control del nivel de potencia

El control de la potencia es otro beneficio de los sistemas de CDMA. Empleando técnicas de procesado de señales, corrección de errores, etc., CDMA supera el problema de la potencia con una serie de ciclos de retroalimentación. Con un control automático de la ganancia en los terminales y una supervisión constante del nivel de señal a ruido y tasas de error en la radio base, los picos en el nivel de potencia se regulan con un complejo de circuitos electrónicos que ajusta la potencia a una razón de 800 veces por segundo. Esto repercute en el ajuste dinámico del tamaño de las celdas.

En una celda congestionada, la potencia de los terminales se elevaría creando una interferencia mutua. En el margen, las transmisiones de alta potencia inundarían las celdas vecinas donde éstas podrían ser tomadas por la radio base adyacente. En una celda de poca densidad, la potencia es tan baja que la celda se reduce efectivamente, transmitiendo sin interferencia hacia las celdas vecinas y mejorando el desempeño de las mismas. Este tipo de ajuste dinámico en el tamaño de las celdas es imposible en TDMA, pues en esta las celdas adyacentes utilizan diferentes frecuencias. Se ha comprobado en diversos estudios que CDMA es cientos de veces más eficiente en potencia que TDMA.

## Bajo consumo de potencia y baterías más duraderas en las terminales

Debido al sistema de retroalimentación de CDMA que mantiene la potencia al más bajo nivel permisible, los terminales consumen menos potencia y son más pequeños, además de que las baterías de CDMA duran más tiempo que las de TDMA.

## Amplia cobertura con pocas celdas

La señal de espectro extendido de CDMA provee gran cobertura en la industria inalámbrica, por lo que permite a los carriers la instalación de menos celdas para cubrir un área más extensa. Pocas celdas significan para los carriers mucho ahorro en infraestructura de radio-bases. Dependiendo de la carga del sistema y de la interferencia, la reducción de celdas es 50 por ciento menor en CDMA que en sistemas como GSM (sistema global para comunicaciones móviles), basado en TDMA. Es preciso notar que la reducción de celdas solo es válida para operadores que empezaron desde un principio con CDMA. Operadores que utilizan sistemas analógicos o basados en otras tecnologías deberán redistribuir las celdas CDMA en las celdas ya existentes.

## Pocas llamadas caídas

La transferencia de celdas (handoff) de CDMA, método para transferir llamadas entre celdas, reduce inteligentemente el riesgo de interrumpirlas durante una transferencia. El proceso conocido como transferencia suave o transparente (soft handoff) entre celdas conduce a pocas llamadas caídas, ya que dos o tres celdas siempre monitorean la llamada. La transferencia entre celdas es transparente a los usuarios debido a que como, estos utilizan el mismo espectro, es más fácil moverse de una celda a otra sin que el suscriptor lo advierta.

## Ancho de banda en demanda

El canal de 1,25 MHz de CDMA provee un recurso común a las terminales en un sistema de acuerdo con sus propias necesidades, como voz, fax datos u otras aplicaciones. En un tiempo dado, la porción de este ancho de banda que no utilice un terminal estará disponible para otro usuario. Debido a que CDMA utiliza una porción grande de espectro repartida entre varios usuarios, provee flexibilidad en el ancho de banda para permitir servicios en demanda. Bajo TDMA, donde los canales son fijos y pequeños, esto no es posible. En forma general está comprobado que CDMA es de tres a seis veces más eficiente en ancho de banda que TDMA.

## Países que cuentan con CDMA

Estados Unidos Sprint Nextel Corporation, Verizon Wireless  
México Iusacell, Unefon  
Venezuela Movilnet, Movistar  
Ecuador Allegro, Movistar (a punto de extinguirse)  
Perú Movistar (mayormente para corporativos y RPM)  
República Dominicana Claro Codetel, Tricom, Centennial  
Brasil Vivo  
Australia Telstra  
Japón AuKDDI  
Korea LG TeleCom

## Telefonía móvil 3G

**3G** (o 3-G) es una abreviatura para **tercera-generación** de telefonía móvil. Los servicios asociados con la tercera generación proporcionan la posibilidad para transferir tanto voz y datos (una llamada telefónica) y datos no-voz (como la descarga de programas, intercambio de email, y mensajería instantánea).

Inicialmente la instalación de redes 3G fue lenta. Esto se debió a que los operadores requieren adquirir una licencia adicional para un espectro de frecuencias diferente al que era utilizado por las tecnologías anteriores 2G. El primer país en implementar una red comercial 3G a gran escala fue Japón. En la actualidad, existen 164 redes comerciales en 73 países usando la tecnología WCDMA.

## Tecnología

Los estándares en 3G utilizan CDMA para compartir el espectro entre usuarios. Se define un ancho de banda mayor, 5 MHz, el cual permite incrementar las velocidades de descarga de datos y el desempeño en general. Aunque inicialmente se especificó una velocidad de 384 Kbit/s, La evolución de la tecnología permite ofrecer al suscriptor velocidades de descarga superiores a 3 Mbit/s.

## 3GPP

**3GPP** es la abreviatura de 3rd Generation Partnership Project [[www.3gpp.org](http://www.3gpp.org) 3rd Generation Partnership Project]. Esta organización realiza la supervisión del proceso de elaboración de estándares relacionados con 3G.

## Estándares en 3G

Las tecnologías de 3G son la respuesta a la especificación IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En Europa y Japón, se seleccionó el estándar UMTS (Universal Mobile Telephone System), basado en la tecnología W-CDMA. UMTS está gestionado por la organización 3GPP, también responsable de GSM, GPRS y EDGE.

En 3G también está prevista la evolución de redes 2G y 2.5G. GSM y TDMA IS-136 son reemplazadas por UMTS, las redes cdmaOne evolucionan a IS-95. EvDO es una evolución muy común de redes 2G y 2.5G basadas en CDMA2000

## IP EN 3G

IP en 3G, está basado en paquetes, lo cual en términos simples significa que los usuarios pueden estar “en línea” todo el tiempo pero sin tener que pagar hasta que hagamos verdaderamente una transmisión de datos. La naturaleza “sin conexión” de IP realiza el acceso mucho más rápido ya que la descarga de archivos toma solo unos segundos y nos podemos conectar a nuestra red con solo un clic. 3G tiene soporte de conmutación de paquetes IP y soporte IP para videojuegos, comercio electrónico, video y audio.

## Ventajas y desventajas de IP en 3G

### Ventajas

IP basado en paquetes, pues solo pagas en función de la descarga lo que supone relativamente un menor costo. Aunque dependiendo del tipo de usuario también se podría calificar como desventaja.

Más velocidad de acceso.

UMTS, sumado al soporte de protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video-telefonía y video-conferencia.

### Desventajas

Cobertura limitada.

No orientado a conexión. Cada uno de los paquetes puede seguir rutas distintas entre el origen y el destino, por lo que pueden llegar desordenados o duplicados.

Sin embargo el hecho de no ser orientado a conexión tiene la ventaja de que no se satura la red. Además para elegir la ruta existen algoritmos que "escogen" qué ruta es mejor, estos algoritmos se basan en la calidad del canal, en la velocidad del mismo y, en algunos, oportunidad hasta en 4 factores (todos ellos configurables) para que un paquete "escoja" una ruta.

## Evoluciones

### 3.5G

Evolución de la tecnología 3G usando HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) que permite velocidades bajadas de hasta **14,4 Mbps**.

### 3.75G

Evolución de la tecnología 3G usando HSUPA (High Speed Up link Packet Access) que permitirá velocidades subida de hasta 5.8 Mbps. pero solo en 3G

## Telefonía móvil 4G

**4G** (también conocida como **4-G**) son las siglas de la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. A día de hoy no hay ninguna definición de la 4G, pero podemos resumir en qué consistirá en base a lo ya establecido.

La 4G estará basada totalmente en IP siendo un sistema de sistemas y una red de redes, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para proveer velocidades de acceso entre 100 Mbps en

movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta (end-to-end) de alta seguridad para permitir ofrecer servicios de cualquier clase cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

El WWRF (Wireless World Research Forum) define 4G como una red que funcione en la tecnología de Internet, combinándola con otros usos y tecnologías tales como Wi-Fi y WiMAX. La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata. El IEEE aún no se ha pronunciado designando a la 4G como “más allá de la 3G”.

En Japón ya se está experimentando con las tecnologías de cuarta generación, estando NTT DoCoMo a la vanguardia. Esta empresa realizó las primeras pruebas con un éxito rotundo (alcanzó 100 Mbps a 200 km/h) y espera poder lanzar comercialmente los primeros servicios de 4G en el año 2010. En el resto del mundo se espera una implantación sobre el año 2020.

El concepto de 4G englobado dentro de ‘Beyond 3-G’ incluye técnicas de avanzado rendimiento radio como MIMO y OFDM. Dos de los términos que definen la evolución de 3G, siguiendo la estandarización del 3GPP, serán LTE (‘Long Term Evolution’) para el acceso radio, y SAE (‘Service Architecture Evolution’) para la parte núcleo de la red. Como características principales tenemos:

- Para el acceso radio abandona el acceso tipo CDMA característico de UMTS
- Uso de SDR (Software Defined Radios) para optimizar el acceso radio
- La red completa prevista es todo-IP
- Las tasas de pico máximas previstas son de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente (con espectros en ambos sentidos de 20 Mhz)

Los nodos principales dentro de esta implementación son el ‘Evolved Node B’ (BTS evolucionada), y el ‘System Access Gateway’, que actuará también como interfaz a internet, conectado directamente al Evolved Node B. El servidor RRM será otro componente, utilizado para facilitar la inter-operabilidad con otras tecnologías.

## CAPITULO II. ESTANDÁR 802.11

Ciertamente, se puede construir una red Wi-Fi sin saber cómo funciona; no obstante, si se comprende su funcionamiento, se estará en una mejor disposición para entender qué está pasando cuando algo no va como se espera. Por otro lado, también ayuda a entender mejor las características de los distintos equipos Wi-Fi y cuáles son las posibilidades reales.

En este capítulo vamos a describir los principios generales en los que se basa el funcionamiento del estándar IEEE 802.11. Como ya sabemos, esta familia de estándares tiene miembros diversos con diferencias tecnológicas. Por ello, vamos a empezar por presentar a la familia para luego centrarnos en su funcionamiento interno.

Wi-Fi hace referencia al estándar IEEE 802.11b. Las redes inalámbricas Wi-Fi que se instalan hoy en día son de este tipo por lo que, aunque muchos de los principios de funcionamiento que vamos a describir aquí son válidos para distintos miembros de la familia IEEE 802.11.

### 2.1 IEEE 802.11

Como mencionamos antes en este capítulo, el estándar 802.11 IEEE debe ser observado con un grado adicional de detalle debido a que el estándar general 802.11 tiene un conjunto de variantes y, quizá más importante, porque es el estándar que ha capturado la atención de los proveedores principales de esta tecnología y disfruta por un amplio margen la mayor parte del mercado.

IEEE802.11 es un estándar para redes inalámbricas definido por la organización Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), instituto de investigación y desarrollo, de gran reconocimiento y prestigio, cuyos miembros pertenecen a decenas de países entre profesores y profesionales de las nuevas tecnologías.

El estándar IEEE802.11 es un estándar en continua evolución, debido a que existen cantidad de grupos de investigación, trabajando en paralelo para mejorar el estándar, a partir de las especificaciones originales.

La primera versión del estándar fue definida en 1997. Aunque el comité evaluador fue creado en 1990, muestra del gran desarrollo que ha sido la primera versión. Esta versión trata de ofrecer varias formas para poder interconectar computadores y otros dispositivos sin la necesidad de cables. Esta primera versión, visto hoy está obsoleta, pero ha marcado un principio para una tecnología prometedora.

Se nos ofrece tres alternativas en cuanto a tecnología subyacente para poder realizar nuestra red. Ofrece entre otras cosas tres capas físicas, por la cual enviaríamos

Los datos, infrarrojos (IR), por la banda ISM 2.4GHz con técnicas de espectro ensanchado, ya sea con salto en frecuencias FHSS como por secuencia directa DSSS. Más adelante mostraremos las diferencias de una y de otra. Con el estándar original se consiguen velocidades hasta un máximo de 2Mbps tanto por radiofrecuencia como por infrarrojos.

El mayor inconveniente de los sistemas inalámbricos definidos originalmente por 802.11 es que trabajaban a velocidades de 1 y 2 Mbps. Esto, unido al alto coste inicial de los equipos, hizo que la tecnología inalámbrica no se desarrollase hasta 1999. En ese año aparecieron semiconductores de tecnología de radio de 2,4 GHz mucho más baratos (principalmente liderados por empresas como Lucent y Harris).

Por otro lado, aparecieron tres nuevas versiones de la norma 802.11:

- **IEEE 802.11 b**, que subía la velocidad de transmisión a los 11 Mbps. Por este motivo se la conoció también como 802.11 HR (*High Rate*, 'Alta Velocidad').
- **IEEE 802.11 a**. Esta norma se diferencia de 802.11b en el hecho de que no utiliza la banda de los 2,4 GHz, sino la de los 5 GHz y que utiliza una técnica de transmisión conocida como OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, 'Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia'). La gran ventaja es que se consiguen velocidades de 54 Mbps; llegándose a alcanzar los 72 y 108 Mbps con versiones propietarias de esta tecnología (p.e. Netgear). El mayor inconveniente es que la tecnología de semiconductores para 5 GHz no está suficientemente desarrollada todavía.
- **IEEE 802.11 g**. Esta norma surgió en el año 2001 con la idea de aumentar la velocidad sin renunciar a las ventajas de la banda de los 2,4 GHz. Esta norma permite transmitir datos a 54 Mbps. En cualquier caso, existen versiones propietarias de esta tecnología que llega a los 100 Mbps.

## Las Mejoras

En el interés de disponer de unos estándares inalámbricos lo antes posible, al desarrollar sus normas, el IEEE no se paró a considerar determinadas características (como la calidad de servicio, seguridad, utilización del espectro, etc.) que hubiesen producido un estándar más robusto. Para resolver este problema, el IEEE ha creado posteriormente unos grupos de trabajo para desarrollar estándares que resuelvan estos problemas y que puedan ser añadidos fácilmente al protocolo principal.



Estos grupos son los siguientes:

- **IEEE 802.11 e (Calidad de servicio)**. Este grupo trabaja en los aspectos relacionados con la calidad de servicio (QoS o *Quality of Services*, en inglés). En el mundo de las redes de datos, calidad de servicio significa poder dar más prioridad de transmisión a unos paquetes de datos que a otros, dependiendo de la naturaleza de la información (voz, vídeo, imágenes, etc.). Por ejemplo, la información de voz necesita ser transmitida en tiempo real, mientras que la información de datos originada por una transferencia de archivo da igual que llegue medio segundo antes o después.
- **IEEE 80211 h (Gestión del espectro)**. Este grupo de trabajo pretende conseguir una mejora de la norma 802.11a en cuanto a la gestión del espectro radioeléctrico. Este punto es una de las desventajas que tiene IEEE 802.11 a frente a su competidor europeo HiperLAN/2 (que también opera en la banda de 5GHz).
- **IEEE 802.11 i (Seguridad)**. El sistema de seguridad que utiliza 802.11 esta basado en el sistema WEP. Este sistema ha sido fuertemente criticado debido a su debilidad. Este grupo de trabajo pretende sacar un nuevo sistema mucho más seguro que sustituya a WEP. El sistema sobre el que se está trabajando se conoce como TKIP (*Temporal Key Inlegirity Protocol*, 'Protocolo de Integridad de Clave Temporal').

ESTANDAR	GRUPOS DE TRABAJO	ESTADO
802.11 (1997)	Especificaciones de la capa física y MAC de las redes de área local inalámbricas infrarrojo radio 2,4 GHz	Completo
802.11 a (1999)	Especificaciones de la capa física y MAC de las redes de área local inalámbricas radio 5GHz	Completo
802.11 b (1999)	Especificaciones de la capa física y MAC de las redes de área local inalámbricas de rango de velocidad de 5,5 a 11 Mbps radio 2,4 GHz	Completo
802.11 c	Pasarela MAC entre redes	Completo
802.11 e	Calidad de servicio para aplicaciones avanzadas (voz, vídeo, etc.)	Activo
802.11 f (2000)	Interoperatividad entre puntos de acceso de distintos fabricantes (Interaccess Point Protocol, IAPP)	Activo
802.11 g (2002)	Especificaciones para redes inalámbricas de alta velocidad 54 Mb s en la banda de 2,4 GHz	Activo
802.11 h	Mejoras para la selección dinámica de canal y control de potencia de transmisión	Activo
802.11 i	Mejoras para seguridad autenticación	Activo
5GSG	Globalización de los 5 GHz Grupo de estudio junto con ETSI/BRAN (European Telecommunications Standard institute(Broadband Radio Area Network, 'Instituto Europeo de Normalización en Telecomunicaciones/Redes Vía Radio de Banda Ancha') y MMAC (Mobile Multimedia Access Communication, 'Comunicaciones Multimedia de Acceso Móvil') de Japón para promover la interoperatividad entre 802.11a, ETSI Hiper LAN/2 MMAC	Activo

Tabla 2.1. Grupos de trabajo y de estudio relacionados con IEEE 802.11

Hay cantidad de grupos de trabajo, hoy día trabajando en paralelo, con el objetivo común de mejorar el estándar en diversos aspectos. De ahí que se puede concluir que

se trate de una especificación en continua evolución con posibilidad de adaptarse a nuevos requerimientos y demandas de usuario en un futuro.

Como ya se ha explicado, el estándar permite el uso de varios medios y técnicas para establecer conexiones. El estándar original permite usar infrarrojos, espectro expandido tanto en salto en frecuencias como secuencia directa. Todo ello con la ventaja de usar una capa de acceso al medio (MAC) común. Ello da mucha flexibilidad a los desarrolladores e investigadores, que pueden olvidarse de ciertos aspectos ya que no existe dependencia directa entre ellos.

Existe multitud de aspectos técnicos, en la que se nos sería imposible de citar y tratar todas, de forma que se ha optado por incluir las más importantes de cara a la comprensión de la tecnología y para poder encarar más tarde la comparativa final entre las distintas tecnologías.

Los estándares de IEEE802.11 son de libre distribución y cualquier persona puede ir a la página Web del IEEE y descargarlos. Estos estándares sólo definen especificaciones para las capas físicas y de acceso al medio y para nada tratan modos o tecnologías a usar para la implementación final.

## 2.2 TECNOLOGÍA Wi-Fi.

El problema principal que pretende resolver la normalización es la compatibilidad. No obstante, como hemos visto, existen distintos estándares que definen distintos tipos de redes inalámbricas. Esta variedad produce confusión en el mercado y descoordinación en los fabricantes. Para resolver este problema, los principales vendedores de soluciones inalámbricas (3Com, Aironet, Intersil, Lucent Technologies, Nokia y Symbol Technologies) crearon en 1999 una asociación conocida como WECA (Wireless Ethernet Compability Alliance, 'Alianza de Compatibilidad Ethernet Inalámbrica'). El objetivo de esta asociación fue crear una marca que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica y asegurase la compatibilidad de equipos.

De esta forma, desde abril de 2000, WECA certifica la interoperatividad de equipos según la norma IEF 802.11b bajo la marca Wi-Fi (*Wireless Fidelity*, 'Fidelidad Inalámbrica'). Esto quiere decir que el usuario tiene la garantía de que todos los equipos que tengan el sello Wi-Fi pueden trabajar juntos sin problemas independientemente del fabricante de cada uno de ellos. Se puede conseguir un listado completo de equipos que tienen la certificación Wi-Fi en [www.wirelessethernet.org](http://www.wirelessethernet.org)

Como la norma 802.11b ofrece una velocidad máxima de transferencia de 11 Mbps y ya existen estándares que permiten velocidades superiores, WECA no se ha querido quedar atrás. Por este motivo, WECA anunció que empezaría a certificar también los equipos IEEE 802.11a de la banda de 5 GHz mediante la marca Wi-Fi5 y 802.11g de la banda 2.4GHz estos dos con velocidad de datos máxima de 54 Mbps.

## 2.3 ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO IEEE 802.11

### Qué es un Protocolo

Cuando una persona pretende comunicarse con otra, lo primero que hace es llamar su atención ("disculpe", "oye, Paco", etc.); luego, comprueba que la otra persona le atiende, para, a continuación, transmitirle la información que desea. Durante la comunicación, lo normal es que la persona que habla se asegure de que la que escucha está entendiendo lo que le dice. Para ello, espera recibir gestos de asentimiento o palabras de asimilación. Si el que habla no recibe estos mensajes, interpretará que lo que dice no es entendido y lo volverá a repetir. Finalmente, mediante mensajes preestablecidos, se da por concluida la comunicación("adiós", "hasta luego", etc.).

Pues bien, la transmisión de datos entre ordenadores también requiere llevar a cabo estos mismos procedimientos. En cualquier comunicación, bien sea entre personas o entre máquinas, siempre hacen falta una serie de normas que regulen dicho proceso. En el caso de las comunicaciones entre personas, las normas las establece la sociedad y son aplicadas por cada persona de acuerdo con la educación que haya recibido; en el caso de las máquinas, las normas las establecen los organismos de normalización (IEEE, ETSI, UIT, etc.) y son aplicadas por los ordenadores de acuerdo con el protocolo o conjunto de protocolos que se está utilizando.

Obviamente, aunque existen grandes similitudes de procedimientos, la diferencia fundamental entre personas y máquinas es que las personas están dotadas de inteligencia y pueden adaptarse fácilmente a situaciones imprevistas, además de tener inventiva y capacidad de resolver situaciones nuevas. Los ordenadores, sin embargo, deben tener protocolos muy estrictos, que tengan previstos todos los posibles casos que se puedan presentar en una comunicación, sin dejar nada al azar.

En definitiva, un protocolo no es más que un conjunto de reglas que emplean dos equipos informáticos para dialogar entre sí, de forma que puedan establecer y mantener una comunicación sin errores.

Para que los protocolos puedan llevar a cabo sus objetivos, necesitan añadir ciertos datos de control a la información original a transmitir. Estos datos adicionales son incluidos por el terminal emisor y suprimidos por el terminal receptor antes de entregar la información al destino.

En un principio, cada fabricante establecía los procedimientos de comunicación de sus propios equipos, siendo casi imposible conectar equipos de fabricantes distintos. Con la expansión de la informática, se hizo evidente que era necesario disponer de protocolos normalizados que permitiesen la interconexión de equipos independientemente de quién los fabricase. Con esta idea, a lo largo de los años han ido apareciendo distintos protocolos normalizados, cada uno de ellos dedicados a distintas aplicaciones o cubriendo distintas necesidades. Muchos de estos protocolos normalizados han surgido a partir de los protocolos desarrollados por empresas u

organismos concretos (caso de TCP/IP para interconexión de redes Internet), mientras que otros han sido desarrollados por los organismos de normalización (Wi-Fi).

De forma práctica, los protocolos de comunicación son unos programas que se instalan tanto en el terminal origen, como en el destino de la comunicación. Parte de estos programas residen en el propio *hardware* del equipo, otra parte puede venir incorporada en el sistema operativo y la restante debe ser instalada por el usuario en el momento de configurar el equipo.

## 2.4 EL MODELO OSI

Una característica común a todas las comunicaciones actuales de ordenadores es el hecho de que todas ellas estructuran el proceso de comunicación en distintos niveles o capas. Cada capa se encarga de realizar una tarea distinta y perfectamente coordinada con el resto de capas. Por ejemplo, hay capas que se encargan de poner en contacto dos terminales (nivel de enlace), otras se encargan de detectar posibles bloqueos o fallos en la línea (nivel de transporte) y otras, de identificar al terminal llamante, pedir las claves de acceso, etc. (nivel de sesión).

La ventaja de hacer una división por capas es que cada una de ellas puede ser normalizada de forma independiente. No obstante, finalmente, la comunicación se lleva a cabo gracias al buen funcionamiento de todas las capas.

La Organización Internacional de Normalización, ISO (*International Standards Organization*), propuso un modelo de referencia que permitiese estructurar las comunicaciones en siete capas. A este modelo lo llamó OSI (*Open Systems Interconnection*, 'Interconexión de Sistemas Abiertos').

Las capas del modelo OSI son las siguientes:

- 1. Capa física.** Esta capa define las propiedades físicas de los componentes (frecuencias de radio utilizadas, cómo se transmiten las señales, etc.).
- 2. Capa de enlace.** Esta capa define cómo se organizan los datos que se transmiten, cómo se forman los grupos de datos (paquetes, tramas, etc.) y cómo se asegura que los datos lleguen al destino sin errores.
- 3. Capa de red.** Esta capa define cómo organizar las cosas para que distintas comunicaciones puedan hacer uso de una infraestructura común, una red. Por ejemplo, aquí están definidos cómo se identifican los terminales (numeración) o cómo se enrutan los datos.
- 4. Capa de transporte.** Esta capa define las características de la entrega de los datos.
- 5. Capa de sesión.** Aquí se describe cómo se agrupan los datos relacionados con una misma función.

6. **Capa de presentación.** Nos define cómo es representada la información transmitida.
7. **Capa de aplicación.** Define cómo interactúan los datos con las aplicaciones específicas.

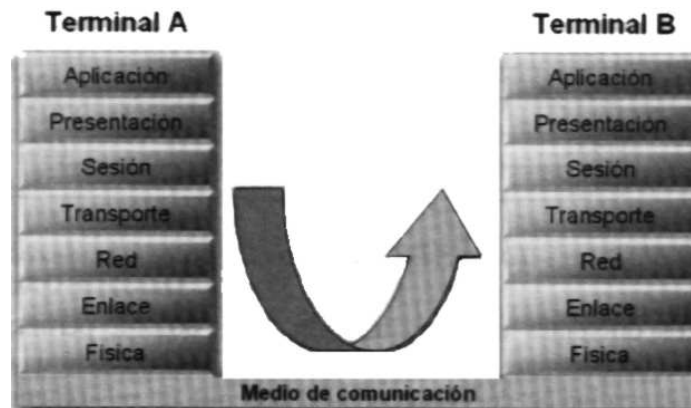


Fig.2.1 Esquema de comunicación del modelo OSI

Los modelos como OSI pretenden definir todos y cada uno de los factores que intervienen en una comunicación de una red abierta; sin embargo, no todas las comunicaciones de datos son iguales; por ejemplo, existen comunicaciones en las que no hace falta definir una determinada capa (por ejemplo, en las comunicaciones directas entre dos ordenadores no es necesario que exista un nivel de red). En cualquier caso, de todos los procedimientos definidos por OSI, los que siempre están presentes en cualquier tipo de comunicación son aquellos que están incluidos dentro de las capas física y de enlace.

### Como funciona IEEE 802.11

Una red Wi-Fi puede estar formada por dos ordenadores o por miles de ellos. Para que un ordenador pueda comunicarse de forma inalámbrica, necesita que se le instale un adaptador de red. Un **adaptador de red** es un equipo de radio (con transmisor, receptor y antena) que puede ser insertado o conectado a un ordenador, PDA o cualquier otro equipo susceptible de formar parte de la red (impresoras, etc.).

De forma general, a los equipos que forman parte de una red inalámbrica se les conoce como **terminales**.

Aparte de los adaptadores de red, las redes Wi-Fi pueden disponer también de unos equipos que reciben el nombre de puntos de acceso (*AP* o *Access Points*, en inglés). Un punto de acceso es como una estación base utilizada para gestionar las comunicaciones entre los distintos terminales. Los puntos de acceso funcionan de forma

autónoma, sin necesidad de ser conectados directamente a ningún ordenador.

Tanto a los terminales como a los puntos de acceso se les conoce por el nombre general de estación.

Las estaciones se comunican entre sí gracias a que utilizan la misma banda de frecuencias y a que internamente tienen instalados el mismo conjunto de protocolos. Aunque los protocolos que utiliza Wi-Fi están basados en las siete capas del modelo de referencia OSI, el estándar IEEE 802.11 sólo define las dos primeras capas (física y enlace); el resto de las capas son idénticas a las empleadas en las redes locales cableadas e Internet y se conoce con el nombre de conjuntos de protocolos IP (*Internet Protocol* o 'Protocolo Internet').

MODELO OSI			PROTOCOLOS
7	Aplicación	IP	HTTP , FTP, SMTP
6	Presentación		
5	Sesión		DNS,LDAP
4	Transporte		UDP, TCP
3	Red	IEEE 802	ICPM, RSVP
2	Enlace		LLC,MAC
1	Físico		Físico

Tabla2. 2 Relación de los protocolos de red local

Los diferentes estándar, incluido IEEE 802.11, permiten que aparezcan nuevas versiones de ese mismo estándar simplemente modificando una de las capas. Esto facilita no sólo la evolución de los estándares, sino que un mismo equipo pueda ser compatible con distintas versiones de un estándar. Por ejemplo, IEEE 802.11b sólo se diferencia de IEEE 802.11 en que su capa física permite transmitir datos a alta velocidad.

### Capas de IEEE 802

La norma IEEE 802 define exclusivamente los temas relacionados con las dos primeras capas del sistema OSI: las capas física y la de enlace. De hecho, a la capa de enlace la divide en dos, por lo que el resultado son tres capas:

- **PHY** (*Physical Layer*, 'Capa Física') es la capa que se ocupa de definir los métodos por los que se difunde la señal.
- **MAC** (*Medium Access Control*, 'Control de Acceso al Medio') es la capa que se ocupa del control de acceso al medio físico. En el caso de Wi-Fi el medio físico es el espectro radioeléctrico. La capa MAC es un conjunto de protocolos que controlan cómo los distintos dispositivos comparten el uso de este espectro radioeléctrico.
- **LLC** (*Logical Link Control*) es la capa que se ocupa del control del enlace lógico. Define cómo pueden acceder múltiples usuarios a la capa MAC.

## 2.5 LAS CAPAS DE IEEE802.11

### La Capa Física

Como hemos visto, la capa física se ocupa de definir los métodos por los que se difunde la señal. Para hacer esto, la capa física de IEEE 802.11 se divide en dos subcapas: lo que se conoce como PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*, 'Procedimiento de Convergencia de la Capa Física') y PMD (*Physical Medium Dependent*, 'Dependiente del Medio Físico'). PLCP se encarga de convertir los datos a un formato compatible con el medio físico. Por ejemplo, este formato es distinto si se trata de un medio físico de infrarrojos o de radio, mientras que PMD es el que se encarga de la difusión de la señal.

Por cierto, aunque las especificaciones originales de IEEE 802.11 contemplan la opción de utilizar infrarrojos como medio de transmisión, no obstante, nunca ha llegado a desarrollarse este sistema debido principalmente al corto alcance que ofrece y a que no es utilizable en el exterior debido a las interferencias producidas por agentes naturales como la lluvia o la niebla.

### Espectro expandido DSSS y FHSS

En cuanto a la utilización del medio radioeléctrico, la tecnología básica en la que se basa el funcionamiento de los sistemas inalámbricos es el sistema conocido como espectro expandido (*spread spectrum* en inglés). Este sistema consiste en que el ancho de banda real utilizado en la transmisión es superior al estrictamente necesario para la transmisión de la información. Lo que se consigue con esto es un sistema muy resistente a las interferencias de otras fuentes de radio, resistente a los efectos de eco (*multipath*) y que puede coexistir con otros sistemas de radiofrecuencia sin verse afectado y sin influir en su actividad. Estas ventajas hacen que la tecnología de espectro expandido sea la más adecuada en las bandas de frecuencia para las que no se necesita licencia.

IEEE 802.11 contempla sólo dos técnicas distintas de espectro expandido para la capa física:

- ❑ FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, 'Espectro Expandido por salto de frecuencia', con la que se consiguen velocidades de transmisión de 1 Mbps.
- ❑ DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*, 'Espectro Expandido por Secuencia Directa'), con la que se consiguen velocidades de transmisión de 2 Mbps. En versiones posteriores de este sistema se han conseguido velocidades superiores.

Dependiendo de la velocidad a la que se van a transmitir los datos, la norma IEEE 802.11. Utiliza una técnica u otra.

En 1999 el IEEE sacó una nueva versión de DSSS que permite transmitir datos a 11 Mbps. Esta nueva DSSS está recogida en la norma IEEE 802.11b. Por esta razón, al

802.11b también se le conoce como 802.11 DSSSO 802.11 HR (*High Rate*, 'Alta Velocidad').

A pesar de esto, en la práctica, la velocidad de 11 Mbps no es totalmente real debido a distintas razones:

- Las interferencias y ruidos hacen que la velocidad real baje
- El propio protocolo consigue menos rendimiento que en sistemas cableados
- Las conexiones a los puntos de acceso son un cuello de botella

MODELO OSI	MODELO 802.11	TÉCNICAS DE DIFUSIÓN DE 802.11				
Capa de enlace	LLC					
	MAC					
Capa física	PLCP	DSSS 802.11	FHSS 802.11	Infrarrojos 802.11	DSSS-HR 802.11b	OFMD 802.11a
	PMD					

Tabla 2 .3 Capas física y de enlace del estándar IEEE 802.11

Estos estándares pueden conseguirse en <http://standards.ieee.org>

Además de las técnicas de difusión comentadas anteriormente, con la nueva versión IEEE 802.11 a salió una nueva técnica conocida como OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, 'Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias') con la que se consigue velocidades de transmisión de hasta 54 y 100 Mbp, aunque OFMD es una técnica para propagar la señal a través de un ancho de banda determinado, no es, por definición, una técnica de espectro extendido, 802.11a y g usan OFMD como su técnica de propagación.

## FHSS

La técnica FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, 'Espectro Expandido por Salto de Frecuencia') consiste en dividir la banda de frecuencias en una serie de canales e ir transmitiendo la información saltando de un canal a otro de acuerdo con un patrón de saltos (*spreading code* o *hopping code*) conocido tanto por el emisor como por el receptor. El tiempo máximo que se debe permanecer en cada frecuencia está regulado en 400 mseg.

El inconveniente de FHSS es que tiene la necesidad de sincronizar el emisor y el receptor en la frecuencia a utilizar en cada momento. Este problema fue resuelto por los ingenieros de Sylvania Electronic Systems a finales de los años cincuenta.



El estándar IEEE 802.11 definió en 1997 que cada canal de FHSS tuviera un ancho de banda de 1 MHz dentro de la banda de frecuencias de 2,4 GHz. El ancho de banda total disponible y, por tanto, el número total de canales disponibles varía de acuerdo con el marco regulatorio de cada país o área geográfica. En cualquier caso, siempre existen tres juegos de secuencias de saltos.

La técnica FHSS reduce las interferencias porque, en el peor de los casos, la interferencia afectará exclusivamente a uno de los saltos de frecuencia, liberándose a continuación de la interferencia al saltar a otra frecuencia distinta. El resultado es que el número de bits erróneos es extremadamente bajo.

Otra de las ventajas de FHSS es que permite que coexistan varias comunicaciones en la misma banda de frecuencias. Para ello, cada comunicación debe tener un patrón de saltos con distinta secuencia.

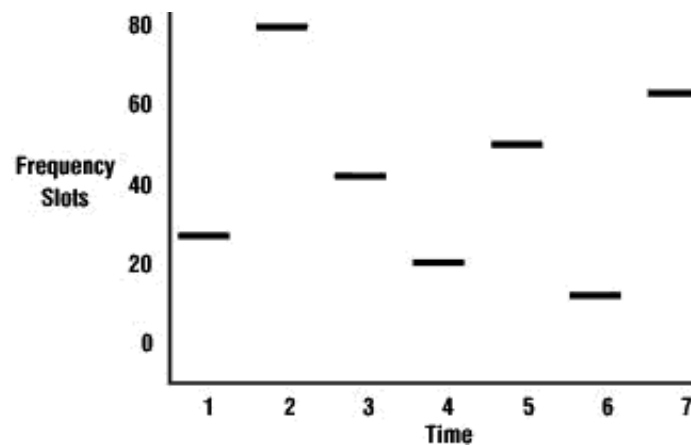


Fig. 2. 2 sistemas FHSS

A pesar de que el estándar original IEEE 802.11 incluía el sistema FHSS, no existe ninguna instalación real que utilice este sistema. La razón es que la velocidad máxima que se consigue con la técnica FHSS es de unos 3 Mbps (aunque sólo está normalizada la velocidad de 1Mbps). No obstante, es posible que en un futuro se consigan velocidades superiores. Se habla de hasta 15 Mbps.

## DSSS

La técnica DSSS se basa en sustituir cada bit de información por una secuencia de bits conocida como *chip* o código de *chips* (*chipping code*, en inglés). Estos códigos de chips permiten a los receptores eliminar por filtrado las señales que no utilizan la misma secuencia de bits. Entre las señales que son eliminadas se encuentra el ruido y las interferencias.

El código de *chips* permite al receptor identificar los datos como pertenecientes a un emisor determinado. El emisor genera el código de *chips* y, sólo los receptores que conocen dicho código pueden descifrar los datos. Por tanto, en teoría, DSSS permite que varios sistemas puedan funcionar en paralelo; cada receptor filtrará exclusivamente los datos que se corresponden con su código de *chips*. Por otro lado, cuanto más largo es el código de *chips*, más resistente será el sistema a las interferencias y mayor número de sistemas podrán coexistir simultáneamente. La norma IEEE 802.11 recoge que la longitud mínima del código de *chips* debe ser de 11.

En la práctica, la coexistencia de sistemas no se consigue por el uso de distintos códigos de *chips*, sino por el uso de distintas bandas de frecuencias. Un sistema DSSS de 11 Mbps (IEEE 802.11 b) necesita un ancho de banda de 22 MHz, siendo la distancia mínima entre portadoras de 30 MHz. Como el ancho de banda disponible en la banda de 2,4 GHz (en el área regulada por el FCC) es de 83,5 MHz, sólo es posible la coexistencia de tres sistemas DSSS en el mismo lugar.

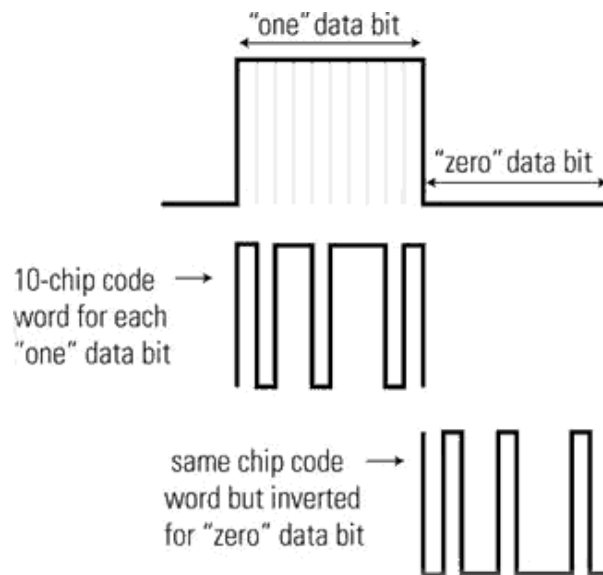


Fig. 2. .3 Principios del sistema DSSS

## OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, 'Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias') es la técnica de gestión de frecuencias utilizada por IEEE 802.11a y 802.11g. Esta técnica divide el ancho de banda en subcanales más pequeños que operan en paralelo. De esta forma se consigue llegar a velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps (100 Mbps con soluciones propietarias).

La técnica OFDM fue patentada por Bell Labs en 1970 y está basada en un proceso matemático llamado FFT (*Fast Fourier Translatin*, 'Transformada Rápida de Fourier'). OFDM divide la frecuencia portadora en 52 subportadoras solapadas. 48 de estas subportadoras son utilizadas para transmitir datos y las otras cuatro para poder alinear las frecuencias en el receptor. Este sistema consigue un uso muy eficiente del espectro radioeléctrico.

OFDM puede transmitir datos a distintas velocidades, utilizando distintas técnicas de modulación en cada una de ellas. Las velocidades normalizadas que admite OFDM son 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

Una de las ventajas de OFDM es que consigue una alta resistencia a las interferencias producidas por las ondas reflejadas en los objetos del entorno (eco o *multipath*). Estas ondas llegan al receptor con distinta amplitud y a distinto tiempo que la señal principal produciendo interferencias. Estas interferencias son un problema a velocidades superiores a 4 Mbps; por este motivo, se utilizan técnicas (como OFDM) que mitiguen este efecto.

VELOCIDAD	TÉCNICAS DE MODULACIÓN	BITS POR SEÑAL
6Mbps	BPSK	1
9Mbs	BPSK	1
12Mbps	QPSK	2
18Mb s	QPSK	2
24 Mbps	QAM-16 (BPSK	4
36Mbps	QAM-16 BPSK)	4
48Mb s	QAM-64 QPSK	6
54 Mbps	QAM-64 (QPSK)	6

Tabla 2.4 Técnicas de modulación utilizadas por IEEE 802 11a

## Modulación de la señal

Para poder transmitir la señal vía radio, hace falta definir un método de difusión de la señal y un método de modulación de la señal. La modulación consiste en modificar una señal pura de radio para incorporarle la información a transmitir. La señal base a modular recibe el nombre de portadora (*carrier* en inglés). Lo que se le cambia a la portadora para modularla es su amplitud, frecuencia, fase o una combinación de éstas. Mientras mayor es la velocidad de transmisión, más complejo es el sistema de modulación.

Las técnicas de modulación utilizadas en IEEE 802.11 son las siguientes:

- BPSK (*Binary Phase-Shift Keying*, 'Modulación Binaria por Salto de Fase')
- QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*, 'Modulación por Salto de Fase en Cuadratura')
- GFSP (*Gaussian Frequency-Shift Keying*, 'Modulación Gausiana por Salto de Frecuencia')
- CCK (*Complementary Code Keying*, 'Modulación de Código Complementario')

Una vez emitida la señal modulada, el receptor tiene que recibir la señal, sincronizar el código de difusión y demodular la información. Los sistemas FHSS son más complicados de sincronizar que los sistemas DSSS. En el primer caso hay que sincronizar tiempo y frecuencia y en el segundo, sólo el tiempo.

## 2.6 CAPA MAC. EL CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

La capa MAC define los procedimientos que hacen posible que los distintos dispositivos compartan el uso de este espectro radioeléctrico. Mientras que las distintas versiones del estándar 802.11 utilizan distintos sistemas para difundir su señal (su capa física es distinta), la capa MAC es la misma para todas ellas.

Es interesante también el hecho de que la capa MAC sea muy similar a la utilizada por la red Ethernet. Ambas utilizan la técnica conocida como CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*, 'Acceso Múltiple por Detección de Portadora'). No obstante, la versión cableada (Ethernet) utiliza la tecnología CD (*Collision Detection*, 'Detección de Colisión'), mientras que la versión inalámbrica utiliza la tecnología CA (*Collision*

---

*Avoidance*, 'Evitación de Colisión'). Una colisión se produce cuando dos terminales intentan hacer uso del medio físico simultáneamente. La tecnología CD detecta que se ha producido una colisión y retransmite los datos, mientras que la tecnología CA dispone de procedimientos para evitar que se produzcan colisiones.

La razón de que haya dos sistemas es que, cuando el medio es un cable, un terminal puede transmitir y recibir al mismo tiempo, por lo que puede detectar las colisiones. Por el contrario, en el medio radioeléctrico un terminal no puede transmitir y recibir al mismo tiempo por el mismo canal (la transmisión dejaría opaca a la recepción), por lo que, al no poder detectar las posibles colisiones, no hay mas remedio que disponer de una técnica que las evite.

## Evitar las colisiones

Entre la capa MAC y la capa física se intercambian tres tipos de paquetes de datos: de control, de gestión y de información.

MAC tiene dos funciones distintas para coordinar la transferencia de datos:

- **PCF** (*Point Coordination Function*, 'Función de Coordinación del Punto') facilita un sistema para poder transmitir el tráfico que es sensible a los retardos y que requiere un tratamiento especial evitando las demoras. A la estación que hace uso de esta función se le llama coordinador del punto, PC (*Point Coordinator*). El PC emite una señal guía con la duración del periodo de tiempo que necesita disponer del medio. Las estaciones que reciben esta señal no emiten durante ese tiempo.
- **DCF** (*Distributed Coordination Function*, 'Función de Coordinación Distribuida') facilita un sistema que permite compartir el medio físico (radioeléctrico, infrarrojos, etc.) entre todas las estaciones de la red. Para ello, DCF define los mecanismos que le permiten a las estaciones negociar el acceso al medio físico, así como los mecanismos que aseguran la entrega de los datos a las estaciones. A través de DCF se transmiten los datos que no son sensibles a los retardos.

La función DCF se encuentra con un problema y es que una de las diferencias de los medios cableados frente a los inalámbricos es que en estos últimos es mucho más complicado detectar las colisiones. Dos estaciones que no se ven entre sí pueden iniciar una comunicación simultáneamente sin percatarse de la colisión. DFC dispone de una función para impedir la colisión que evita este problema.

Los mecanismos CSMA/CA de detección de la colisión consisten en comprobar si el medio está en uso antes de empezar a transmitir. Sí el medio está en uso, se espera un tiempo antes de volver a hacer la comprobación. El tiempo que espera cada estación tiene una duración aleatoria (generada por cada estación entre un tiempo mínimo y un máximo) para evitar que haya colisiones sucesivas indefinidas.

La función DCF contempla un mecanismo físico y otro lógico de detección de colisión. Al mecanismo físico se le conoce como CCA (*Clear Channel Assessment*, 'Valoración de la Disponibilidad del Canal'). Por ejemplo, cuando hablamos de un medio radioeléctrico, este mecanismo puede consistir en comprobar si en el medio existe cualquier señal DSSS o cualquier otra señal con un nivel de energía superior a un umbral.

El mecanismo físico de detección de colisión es muy eficiente, pero no es eficaz cuando dos estaciones de una misma red que no se ven entre ellas emiten al mismo tiempo. Esto se conoce con el nombre de problema del nodo oculto. Para evitar estos casos, se dispone del sistema lógico de detección de colisión. Este sistema consiste en intercambiar la información del uso del medio a través de tramas de control. A estas tramas de control se las conoce como RTS (*Request to Send*, 'Solicitud para Enviar') y CTS (*Clear to Send* 'Listo para Enviar'). Como esta información de control añade más datos de control a la transmisión en detrimento de los datos de información (baja el rendimiento del protocolo), en aquellos casos en los que se disponga de un medio físico con poca probabilidad de colisiones se puede deshabilitar el mecanismo de detección de colisión, o habilitarlo exclusivamente para aquellos paquetes de datos que tengan un tamaño superior a uno determinado.

Cuando una estación de una red va a transmitir información, primero envía una trama RTS al punto de acceso donde facilita información del destinatario de la transmisión, el remitente y el tiempo que ocupará dicha transmisión. El punto de acceso responde con una trama CTS que reciben todas las estaciones que están en el área de cobertura del punto de acceso. En esta trama CTS se incluye el tiempo de ocupación del medio; por tanto, las estaciones saben el tiempo que estará ocupado el medio y no intentarán hacer ninguna transmisión hasta que dicho tiempo no haya pasado.

Por cierto, cuando el destinatario ha recibido toda la información, emite una trama ACK (*Acknowledgment*, 'Cocimiento') para indicarle al emisor que todo está bien. Si el emisor no recibe la trama ACK que espera, aguardará un tiempo antes de dar la transmisión por errónea y volver a hacer el envío.

## 2.7 Trama de IEEE802.11

Las tramas MAC contienen los siguientes componentes básicos.

- una cabecera MAC, que comprende campos de control, duración, direccionamiento y control de secuencia.
- un cuerpo de trama de longitud variable, que contiene información específica del tipo de trama
- un secuencia check sum (FCS) que contiene un código de redundancia CRC de 32 bits.



- Campos address14. Contiene direcciones de 48 bits donde se incluirán las direcciones de la estación que transmite, la que recibe, el punto de acceso origen y el punto de acceso destino.
- Campo de control de secuencia. Contiene tanto el número de secuencia como el número de fragmento en la trama que se está enviando.
- Cuerpo de la trama. Varía según el tipo de trama que se quiere enviar.
- FCS. Contiene el checksum.

Los campos de control de trama tienen el formato siguiente:

- Versión.
- Type/Subtype. Mientras el campo tipo identifica si la trama es de datos, control o gestión. el campo subtipo nos identifica cada uno de los tipos de tramas de cada uno de estos tipos.
- ToDS/FromDS. Identifica si la trama se envía o se recibe al/del sistema de distribución. En redes ad-hoc, tanto ToDS como FromDS están a cero. El caso más complejo contempla el envío entre dos estaciones a través del sistema de distribución Para ello situamos a uno tanto ToDS como FromDS
- Más fragmentos. Se activa si se usa fragmentación
- Retry Se activa si la trama es una retransmisión
- Power Management Se activa si la estación utiliza el modo de economía de potencia.
- More Data. Se activa si la estación tiene tramas pendientes en un punto de acceso.
- WEP. Se activa si se usa el mecanismo de autenticación y encriptado.
- Order. Se utiliza con el servicio de ordenamiento estricto, en el cual no nos detendremos.

Se puede ver lo mucho que se parece a una trama Ethernet, con algunas excepciones, por ejemplo, como incorporar 4 campos de direcciones. Esto se hace para facilitar el tráfico desde y hacia nodos al otro lado de los puntos de acceso. Además se incorpora muchos mecanismos de control para ahorro de energía, seguridad, etc.



## 2.8 ARQUITECTURA DE IEEE 802.11

La topología de una red es la arquitectura de la red, la estructura jerárquica que hace posible la interconexión de los equipos. IEEE 802.11 y, por tanto, Wi-Fi, contempla tres arquitecturas distintas:

- IBSS (*Independent Basic Service Set*, 'Conjunto de Servicios Básicos Independientes')
- BSS (*Basic Service Set*, 'Conjunto de Servicios Básicos')
- ESS (*Extended Service Set*, 'Conjunto de Servicios Extendido')

### Componentes de la arquitectura IEEE 802.11

IEEE establece que la arquitectura de IEEE 802.11 consiste en varios componentes que actúan recíprocamente para proporcionar una red inalámbrica LAN que apoya la movilidad de la estación transparentemente a las capas superiores.

A continuación se explican las diferentes arquitecturas basadas en la norma IEEE Wireless LAN Edition.

### El BSS independiente (IBSS)

El IBSS(conjunto de servicios básicos Independientes) es el tipo más básico de IEEE 802.11 LAN. Una red IEEE802.11 LAN mínimo sólo puede consistir de dos estaciones(STA). Figura 1 muestra un IBSS. Este modo de funcionamiento de IEEE 802.11 es posible cuando las estaciones pueden comunicar directamente y no existen ninguna estación que coordine el enlace.

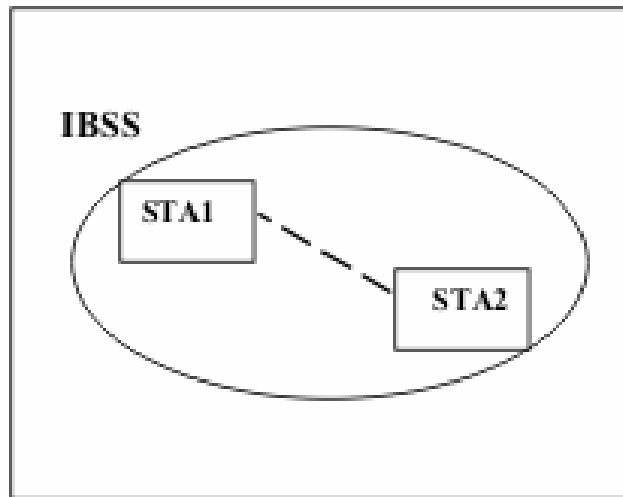


Fig. 2. 5 IBSS

## EI BSS

Conjunto básico de servicio (BSS) es la forma principal de un IEEE 802.11 LAN. La figura 2..6 muestra dos BSSs cada uno de los cuales tienen dos estaciones(STA) que son miembros del BSS.

Es útil pensar en los óvalos usados para representar un BSS, en cuanto las estaciones miembro permanezcan dentro del área del fondo del BSS pueden permanecer en comunicación. (El concepto de área, mientras que no es preciso, es a menudo bastante bueno.)

Si una estación se va de su BSS, esta no puede comunicarse más directamente con otros miembros del BSS.

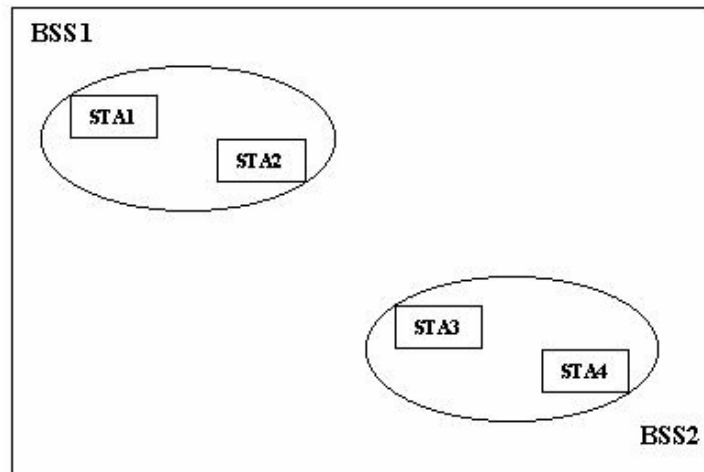


Figura 2 .6 BSSs

La asociación entre un STA(estaciones) y un BSS es dinámica (STAs enciende, apaga, dentro del rango, y sale de rango). Para volverse un miembro de una infraestructura BSS, una estación se volverá asociada. Estas asociaciones son dinámicas e involucran el uso del servicio del sistema de distribución (DSS) que se describe mas adelante.

### Los conceptos del sistema de distribución (DS)

Las limitaciones de la capa física determinan la distancia directa de estación-a-estación que puede ser soportada. Para algunas redes esta distancia es suficiente; para otras redes, se requiere aumentar el alcance.

En lugar de existir independientemente, un BSS puede formar también un componente de una forma extendida de red que se construye con múltiples BSSs. Los BSSs son conectados por una capa de distribución de red o DS.

Cada BSS está conformado por estaciones móviles o estaciones que se encuentran controlados por una Función Coordinada Distribuida (DFC) que determina que nodo tiene derecho a transmitir o recibir información en el medio inalámbrico de radio de propagación.

Un punto de acceso (AP) es un STA que proporciona el acceso al DS proporcionando los servicios de DS además de actuar como un STA.

La Figure 2.7 agrega los DS y componentes de AP al cuadro de la arquitectura. IEEE 802.11

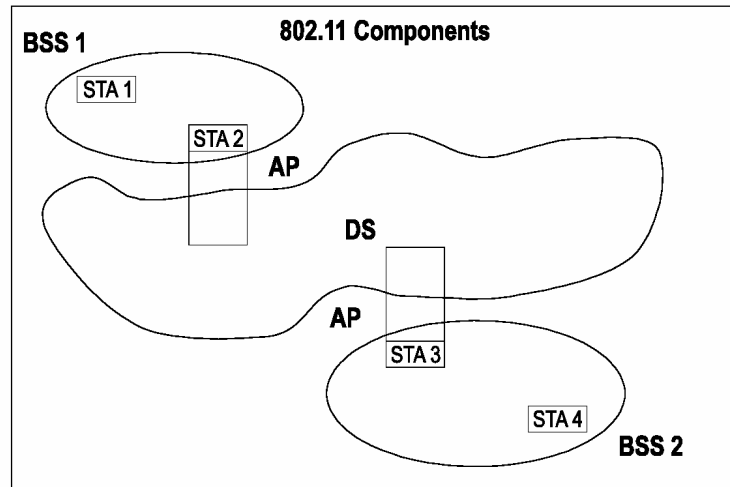


Figura 2. 7. DSs y APs

Los datos se mueven entre un BSS y el DS vía un AP, es decir, las estaciones den un BSS obtienen acceso a la capa DS y por lo tanto a otros nodos inalámbricos fuera de su área de cobertura a través de un AP, así ellos son las entidades del direccionamiento.

### Conjunto de Servicio Extendido (ESS): La Red de Mayor Alcance

El DS y BSSs le permiten a IEEE 802.11 crear una red inalámbrica de tamaño arbitrario y complejo. IEEE 802.11 se refieren a este tipo de red como la red de ESS.

El conjunto de servicio extendido ESS permite crear una red inalámbrica formada por más de un punto de acceso AP o así logrando así una mayor área de cobertura.

La STA1 y la STA4 se pueden conectar a través de ESS que cubre los BSS1 y BSS2.

La comunicación entre las estaciones que componen un BSS se realiza mediante la Función Coordinada Distribuida DFC involucrando la capa MAC y la capa Física. El mensaje original de STA1 pasa por AP1 a través de STA2 mediante los Servicios del Sistema de Distribución DSS y de ahí al DS en donde se realiza el enrutamiento óptimo de la dirección de STA4 este se hace a través del AP2 y de STA3 en el BSS2.

En la Fig.2.8 las estaciones dentro de un ESS pueden comunicarse y las estaciones móviles se pueden mover de un BSS a otro (dentro del mismo ESS) transparentemente a DS.

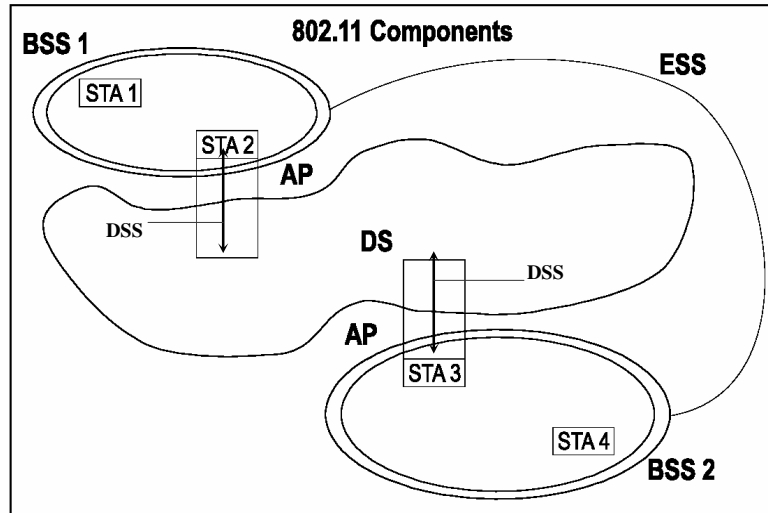


Fig. 2 .8ESS

### integración con LANs alámbricas

Para integrar la arquitectura de IEEE 802.11 con un alambrado tradicional LAN, al final es introducido en la arquitectura un componente lógico – un portal

Por ejemplo, un portal se muestra en Figura 2.9 que conecta a un IEEE alambrado 802 LAN.

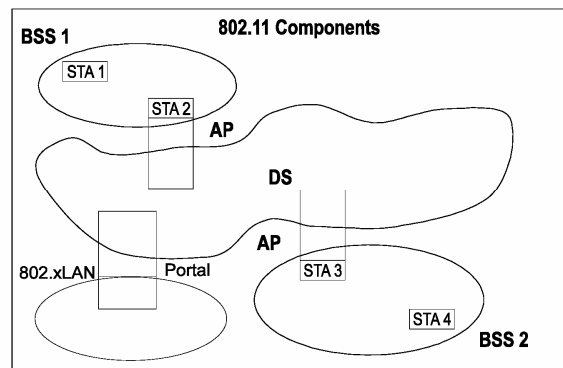


Figure 2.9Conexión de una LAN inalámbrica con IEEE 802 LANs

Todos los datos de la IEEE 802.LANs entran en la arquitectura IEEE 802.11 vía un portal. El portal proporciona la integración lógica entre la arquitectura IEEE 802.11 y el LANs alámbrado. Es posible para un dispositivo ofrecer ambas funciones de un AP y un portal; éste podría ser el caso cuando un DS es aplicado en componentes IEEE 802 LAN.

En IEEE 802.11, la arquitectura ESS (APs y el DS) proporciona segmentación de tráfico y extensión del rango. Las conexiones lógicas entre IEEE 802.11 y otro LANs son vía el portal. Los portales se conectan entre el DSM y el medio LAN que serán integrados.

## 2.9 LOS SERVICIOS

La arquitectura IEEE 802.11 permite la posibilidad que el DS no puede ser idéntico a un existiendo alámbrados LAN. Un DS puede crearse de muchas tecnologías diferentes incluso la actual IEEE802 LANs. IEEE 802.11 no obliga al DS para ser el enlace de los datos o la capa de la red.. IEEE 802.11 no especifica los detalles de aplicaciones de DS explícitamente. En cambio, IEEE 802.11 especifica los *servicios*. Los servicios son asociados con los componentes diferentes de la arquitectura. Hay dos categorías de servicios IEEE 802.11. el servicio de estación (SS) y el DS. Ambas categorías de servicio son usadas por la subcapa 802.11 MAC.

El conjunto completo de servicios para la arquitectura IEEE802.11 son como sigue:

- a) Autenticación
- b) Asociación
- c) Desautenticación
- d) Desasociación
- e) Distribución
- f) Integración
- g) Privacidad
- h) Reasociación
- i) entrega de MSDU

*Este conjunto de servicios es dividido en dos grupos: aquellos que son parte de cada STA, y aquellos que son parte de un DS.*

---

**SS (servicio de estación)**

El servicio proporcionado por las estaciones es conocido como el SS. El SS está presente en cada estación IEEE 802.11 (incluyendo APs, cuando los Aps incluyen la función de la estación). El SS se especifica para el uso de las entidades de las capas MAC.

El SS de la capa MAC es como sigue:

- a) Autenticación
- b) Desautenticación
- c) Privacidad
- d) entrega de MSDU

**DSS**

El servicio proporcionado por el DS(sistema de distribución) es conocido como el DSS. Estos servicios se representan en la arquitectura de IEEE 802.11 por las flechas dentro de los APs, indicando que los servicios de límites lógicos se usan para cruzar medios y espacios de dirección. La incorporación física de varios servicios puede o no estar dentro de un AP físico.

Los DSSs son proporcionados por el DS. Ellos son accedidos vía un STA que también proporciona DSSs. Un STA que está proporcionando el acceso a DSS es un AP.

Los DSSs son como sigue:

- a) Asociación
- b) Desasociación
- b) Distribución
- d) Integración
- e) Reasociación

EL DSSs es especificado para el uso por las entidades de subcapas MAC.

La figura 2.10 muestra la arquitectura completa de IEEE 802.11 combinando los componentes de las figuras anteriores con ambos tipos de servicios.

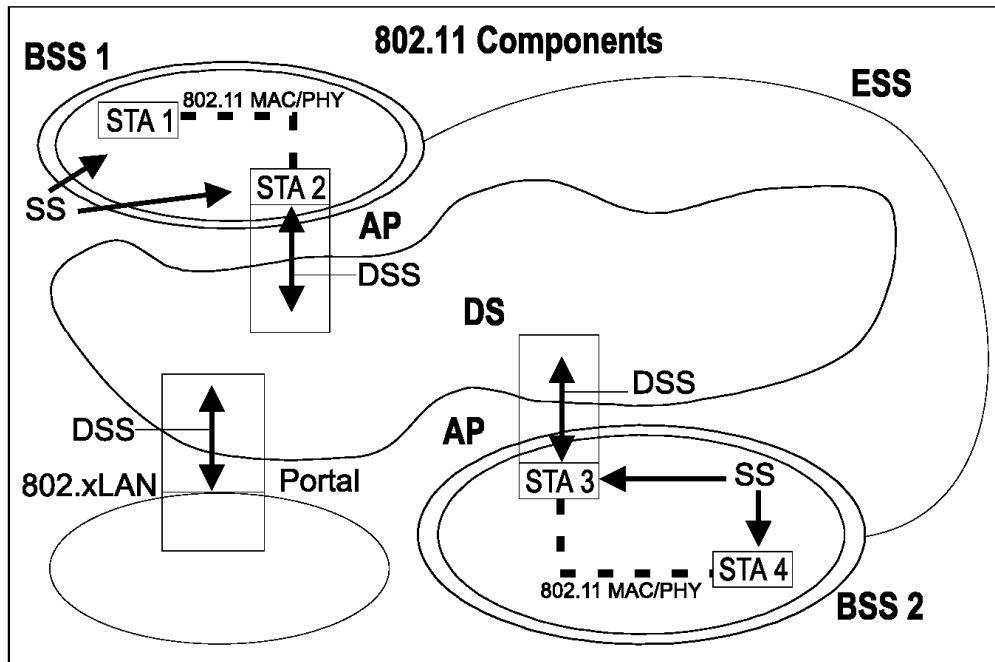


Figure 2. 10. arquitectura completa de IEEE 802.11  
 IEEE Wireless LAN Edition  
 Copyright © 2003 IEEE.



## Apreciación global de los servicios

Hay nueve servicios especificados por IEEE 802.11. Se usan seis de los servicios para apoyar la entrega de MSDU entre STAs. Se usan tres de los servicios para controlar en IEEE 802.11LAN el acceso y confidencialidad.

## Distribución de los mensajes dentro de un DS

### Distribución

Éste es el servicio primario usado por las STAs de IEEE 802.11. Se invoca conceptualmente por cada mensaje de los datos a una STA IEEE 802.11 que operan en un ESS (cuando el frame se envía por el DS). La distribución es vía un DSS.

Refiérase a la red ESS en Figura 6 y considere un mensaje de datos enviándose de STA 1 a STA 4. STA1 envía el mensaje y es recibido por STA 2 (la entrada AP). El AP da el mensaje al servicio de distribución del DS. El trabajo del servicio de distribución es entregar el mensaje dentro del DS de tal manera que este llegue al destino DS apropiado para el destinatario intencional. En este ejemplo, el mensaje se distribuye a STA 3 (la salida AP) y STA 3 acceda al WM para enviar el mensaje a STA 4 (el destino intencional).

Cómo el mensaje es distribuido dentro del DS no se especifica por IEEE 802.11. Todo el IEEE 802.11 se requiere hacer es proporcionar al DS con bastante información para el DS para poder determinar el punto de salida que corresponde al destinatario deseado. La información necesaria se proporciona al DS por las tres asociaciones de servicio (la asociación, reasociación, y disociación).

El ejemplo anterior era un caso en que el AP que invocó el servicio de la distribución era diferente del AP que recibió el mensaje distribuido. Si el mensaje se hubiera pensado para una estación que era un miembro del mismo BSS como la estación enviante, entonces la entrada y salida APs para el mensaje habría sido el mismo.

Entonces, cuando se transfiere datos de un terminal a otro que pertenecen a diferentes puntos de acceso, el servicio de distribución se asegura de que los datos alcancen su destino.

## Integración

Si el servicio de distribución determina que el destinatario intencional de un mensaje es un miembro integrado de un LAN alámbrica, el punto de salida del DS sería un portal en lugar de un AP.

Los Mensajes que son distribuidos a un portal causa el DS invocan a la función de la Integración (conceptualmente después del servicio de la distribución). La función Integración es responsable de ejecutar todo lo que se necesite entregar de un cierto mensaje DSM al medio integrado LAN (incluyendo cualquier medio requerido o dirección de espacio de retransmisión). La integración es vía un DSS.

Los mensajes que se recibieron de un LAN (vía un portal) por el DS para una STA IEEE 802.11 invocarán la función de la Integración antes que el mensaje sea distribuido por el servicio de distribución.

Entonces, el servicio de integración facilita la transferencia de datos entre la red inalámbrica IEEE802.11 y cualquier otra red (por ejemplo, Internet o Ethernet).

## Servicios que apoyan al servicio de distribución

La información requerida por el servicio de distribución para operar es proporcionada por los servicios de la asociación. Antes de que de un mensaje de los datos pueda ocuparse por el servicio de distribución, un STA será asociado. Para entender el concepto de asociación, es primero necesario entender el concepto de movilidad.

## Tipos de movilidad

Los tres tipos de transición de importancia a esta norma que describen la movilidad de estaciones dentro de una red son como sigue:

- a) No-transición: En este tipo, se identifican dos subclases que son normalmente indistinguibles:
  - 1) static-no movimiento
  - 2) local movement - movimiento dentro del rango PHY de comunicación del STAs [es decir, movimiento dentro de una área de servicio básico (BSS)].
- b) BSS-transición: Este tipo se define como un movimiento de la estación de un BSS a otro BSS dentro del mismo ESS.

- c) ESS-transición: Este tipo se define como el movimiento de la estación de un BSS en un ESS a un BSS en un ESS diferente. Este caso sólo se apoya en el sentido que el STA puede mover. El mantenimiento de conexiones de las capas superiores no puede garantizarse por IEEE 802.11; de hecho, la ruptura de servicio es probable que ocurra.

## Asociación

Para entregar un mensaje dentro de un DS, el servicio de la distribución necesita saber a qué AP acceso para una determinada STA IEEE 802.11. Esta información se proporciona al DS por el concepto de asociación. La asociación es necesaria, pero no suficiente, para apoyar la movilidad de la BSS-transición. La asociación es suficiente para mantener la movilidad de no-transición. La asociación es un DSS.

Antes de que un STA se permita enviar un mensaje de los datos vía un AP, se asociará primero con el AP. El acto de volverse asociado invoca el servicio de la asociación que proporciona la STA a AP que traza al DS. El DS aprovecha esta información para lograr su servicio de distribución de mensaje. Cómo la información prevista por el servicio de asociación se guarda y maneja dentro del DS no es especificada por esta norma.

En cualquier momento dado, un STA puede asociarse con no más de un AP. Esto asegura que el DS puede determinar una única respuesta a la pregunta, ¿Qué AP está sirviendo a una X STA?

Una vez que una asociación es completada, un STA puede hacer uso pleno de un DS (vía el AP) para comunicar. La asociación siempre se comienza por el STA móvil, no por el AP.

Un AP puede asociarse en un tiempo con muchos STAs. Un STA sabe que APs están presentes y entonces piden establecer una asociación invocando el servicio de asociación.

Entonces, Para que un terminal pueda comunicarse con otros terminales a través de un punto de acceso, debe primero estar asociado a dicho punto de acceso. Asociación significa asignación del terminal al punto de acceso haciendo que éste sea el responsable de la distribución de datos a, y desde, dicho terminal. En las redes con más de un punto de acceso, un terminal sólo puede estar asociada a un punto de acceso simultáneamente.

## Reasociación

La asociación es suficiente para la entrega de mensaje de no-transición entre estaciones IEEE 802.11. La funcionalidad adicional se necesita apoyar la movilidad de la BSS-transición. La funcionalidad requerida adicional se proporciona por los servicios de reasociación. La Reasociación es un DSS.

El servicio de reasociación se invoca para cambiar de una asociación actual de un AP a otra. Estos no dejan de informar al DS de la cartografía actual entre AP y STA de como la estación se mueve de BSS a BSS dentro de un ESS. La Reasociación también habilita atributos de la asociación cambiantes de una asociación establecida mientras los restos de STA se asociaron con el mismo AP. La Reasociación siempre se comienza por el STA móvil.

El servicio de reasociación transfiere una asociación entre dos puntos de acceso. Cuando un terminal se mueve del área de cobertura de un punto de acceso a la de otro, su asociación pasa a depender de este último.

## Disociación

El servicio de disociación se invoca cuando una asociación existente será terminada. La disociación es vía un DSS.

En un ESS, este le dice al DS que anule la información de la asociación existente. Los esfuerzos por enviar los mensajes vía el DS a una disociación STA serán infructuosos.

El servicio de disociación puede invocarse por cualquier parte en una asociación (no-APSTA o AP). La Disociación es una notificación, no una demanda.

La disociación Cancela una asociación existente, bien porque el terminal sale del área de cobertura del punto de acceso, o porque el punto de acceso termina la conexión.

## Servicios de control de acceso y confidencialidad

Se requieren dos servicios para IEEE 802.11 para proporcionar la funcionalidad equivalente a lo que es inherente a LANs alámbrado. El diseño de LANs alámbrado asume los atributos físicos del alambre. En particular, el diseño de LAN alámbrado se asume físicamente cerrado y controla la naturaleza de medios alámbrados. La naturaleza del medio físicamente abierto de un IEEE 802.11 LAN viola esas suposiciones.

Se proporcionan dos servicios para traer a IEEE 802.11 funcionalidad en la línea con las suposiciones de LAN alámbradas; la autenticación y privacidad. La autenticación se usa en lugar de los medios alámbrados de conexión física. La privacidad se usa para proporcionar los aspectos confidenciales de medios alámbrados cerrados.

### Autenticación

En LANs alámbrado, la seguridad física puede usarse para prevenir el acceso desautorizado. Esto es poco práctico en LANs inalámbricas porque ellas tienen un medio sin los límites precisos.

IEEE 802.11 proporciona la capacidad de controlar el acceso LAN vía el servicio de la autenticación. Este servicio se usa por todas las estaciones para establecer su identidad a estaciones con las que se comunicarán. Esto es para ambas redes ESS y IBSS. Si un nivel mutuamente aceptable de autenticación no se ha establecido entre dos estaciones, la asociación no se establecerá. La autenticación pertenece a un SS.

El servicio de autenticación entonces comprueba la identidad de una estación y la autoriza para asociarse. En una red cableada lo que identifica a un terminal como parte de la red es el hecho de estar conectado físicamente a ella. En una red inalámbrica no existe la conexión física, por lo que, para saber si un terminal forma o no parte de la red, hay que comprobar su identidad antes de autorizar su asociación con el resto de la red.

### Desautenticación

El servicio de desautenticación se invoca cuando una autenticación existente será terminada. La desautenticación pertenece a un SS.

Porque en un ESS, la autenticación es un requisito previo para la asociación, el acto de desautenticación causará que la estación pueda ser desasociada. El servicio de desautenticación puede invocarse por cualquiera parte de autenticación (no - APSTA o AP). La desautenticación no es una solicitud; es una notificación. La desautenticación no se negará por cualquier parte. Cuando un AP envía un aviso de desautenticación a un STA asociado, la asociación también se terminará.

Entonces, el servicio de desautenticación cancela una autenticación existente Este servicio da por concluida la conexión cuando una estación pretende desconectarse de la red.

### Privacidad

Plantear la funcionalidad de las LAN inalámbricas hasta el nivel implícito de diseño en LAN alambrado, IEEE 802.11 proporciona la habilidad de encriptación de contenidos de mensajes. Esta funcionalidad se proporciona por el servicio de privacidad. La privacidad pertenece a un SS.

El servicio de privacidad Evita el acceso no autorizado a los datos gracias al uso del algoritmo WEP (*Wired Equivalency Protocol*, 'Protocolo de Equivalencia con Red Cableada'). Este algoritmo pretende emular el nivel de seguridad que se tiene en las redes cableadas

Los puntos de acceso utilizan tanto los servicios de estaciones como los servicios de distribución, mientras que los terminales sólo utilizan los servicios de estaciones.

SERVICIO MAC	DEFINICIÓN	TIPO DE ESTACION
Autenticación	Comprueba la identidad de una estación Y la autoriza para asociarse	Terminales y puntos de acceso
Desautenticación	Cancela una autenticación existente	Terminales y puntos de acceso
Asociación	Asigna el terminal al punto de acceso	Puntos de acceso
Desasociación	Cancela una asociación existente	Puntos de acceso
Reasociación	Transfiere una asociación entre dos puntos de acceso	Puntos de acceso
Privacidad	Evita el acceso no autorizado a los datos gracias al uso del algoritmo WEP	Terminales y puntos de acceso
Distribución	Asegura la transferencia de datos entre estaciones de distintos puntos de acceso	Puntos de acceso
Entrega de datos	Facilita la transferencia de datos entre estaciones	Terminales y puntos de acceso
Integración	Facilita la transferencia de datos entre redes Wi-Fi y no Wi-Fi	Puntos de acceso

**Tabla 2.5. Servicios de la capa MAC**

## 2.10 LA GESTIÓN

Tanto la capa física como la capa MAC están divididas en capacidades de gestión y de transferencia de datos. Lo que se conoce como PLME (*PHY Layer Management Entity*, 'Entidad de Gestión de la Capa Física') es quien se encarga de la gestión de la capa física, mientras que lo que se conoce como MLME (*MAC Layer Management Entity*, 'Entidad de Gestión de la Capa MAC') es quien se encarga de la gestión de la capa MAC. PLME y MLME intercambian información a través de MIB (*Management Information Base*, 'Base de Datos de la Información de Gestión'). Ésta es una base de datos de las características físicas (velocidad de transmisión, niveles de potencia, tipo de antena, etc.) de las estaciones.

## EL FLUJO DE DATOS

Los datos que se van a transmitir por el medio radioeléctrico proceden de las capas superiores (formato IP) y se pasan a la capa **LLC** (*Logical Link Control*, 'Control Lógico del Enlace'). La capa LLC le pasa estos datos a la capa MAC, quien, a su vez, se los pasa a la capa física para su emisión.

Los paquetes de datos que se intercambian entre las capas LLC y MAC se conocen como MSDU (*MAC Service Data Unit*, 'Unidad de Datos del Servicio MAC'), mientras que los paquetes de datos que se intercambian entre las capas MAC y física reciben el nombre de **MPDU** (*MAC protocol data unit*, 'Unidad de Datos del Protocolo MAC'). En la capa física, quien recibe estos datos es PLCP, quien es responsable de convertir los datos MPDU a un formato compatible con el medio físico.



Fig.2.11 Interfaces de la capa MAC y Física

## 2.11 DOMINIOS REGULADORES PARA WI-FI

Unos de los principales atractivos de Wi-Fi es que no se requiere de una licencia para operar los dispositivos en la banda de 2.4 GHz o, en Estados Unidos y una cantidad cada vez mayor de países, la banda de 5 GHz. Sin embargo, "libre de licencia" no significa "sin regulación". De hecho, en distintos grados dependiendo de cada país, Wi-Fi está sujeto a una variedad de regulaciones que impactan el rango, escalabilidad, portabilidad, protección del producto y una variedad de factores adicionales que impactan la capacidad de uso en general de la tecnología.

Varias instituciones reguladoras han desarrollado un papel principal en el desarrollo de la popularidad de Wi-Fi. Las agencias reguladoras han tenido la visión de permitir la operación libre de licencia y, al coordinar sus esfuerzos, han proporcionado cierto nivel de integración en todo el mundo. Han aplicado e implementado regulaciones que han promovido, en lugar de retraer, el uso de estas bandas; en pocas palabras, sin la cooperación e incluso liderazgo que han proporcionado algunas instituciones reguladoras, no sería posible el Wi-Fi que conocemos actualmente.

### Dominios reguladores

Hoy en día existen aproximadamente 200 países en el mundo. Como estados soberanos, cada uno de ellos tiene la autoridad de crear e implementar regulaciones que sea únicas para su país. De hecho, unos cuantos países (por fortuna sólo algunos pocos) han impulsado regulaciones sobre Wi-Fi que sólo son específicas para esos países. La gran mayoría de los países opta por acoger un conjunto común de regulaciones de otro país (normalmente más grande). Un conjunto de países que por lo regular son colindantes y comparten un conjunto común de regulaciones se conoce dentro de la especificación 802.11 como un *dominio regulador*. La tabla 2.6 define los dominios de regulación actuales para los productos Wi-Fi.

Dominio Regulador	Área Geográfica
América o FCC (Comisión Federal de Comunicaciones)	Norte, Sur y Centro de América, Australia y Nueva Zelanda, distintas partes de Asia y Oceanía
Europa o ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones)	Europa, Medio Oriente, África, distintas partes de Asia y Oceanía
Japón	Japón
China	República Popular China
Israel	Israel
Singapur	Singapur
Taiwán	República de China
*Las regulaciones del dominio regulador de Singapur y Taiwán para las WLANs son especificadas por estos países solo en la operación de la banda de 5 GHz; para la operación de la banda de 2.4GHz entran en los dominios de ETSI y FCC respectivamente.	

**Tabla 2.6 Dominios reguladores actuales para los productos Wi-Fi**



Hay que observar que en la tabla 2.6 que la gran mayoría del mundo está dentro de los dos dominios reguladores principales, los dominios FCC y el ETSI. Otros países que tienen una tradición gubernamental de "hacer las cosas por sus propios medios" normalmente también tienden a presentar aspectos defensivos particularmente profundos y colocar estas consideraciones por arriba de la conveniencia y ahorros en costo que están asociados con la adopción de las regulaciones que desarrolló otro país (como es el caso de la adopción de FCC) o un instituto que establece estándares internacionales (como ETSI).

Debido a que ser un 'miembro' de un dominio regulador es completamente voluntario, las membresías pueden cambiar, y así lo hacen, en periodos bastante frecuentes.

Como se sugiere en el pie de nota de la tabla 2.6, los países tienen distintas operaciones sobre la operación de 2.4 GHz y 5 GHz, lo cual conduce a dominios reguladores distintos para cada banda. Singapur y Taiwán son dominios reguladores únicos para la operación de 5 GHz, no existe un dominio regulador para 5 GHz en China y el dominio ETSI de 5 GHz se encuentra en un enorme estado de cambio en términos de membresías además de las regulaciones mismas-. Por estas y otras razones, es mejor discutir las reglas y requerimientos para los dominios reguladores para las bandas de 2.4 y 5 GHz como temas separados.

## El dominio regulador FCC

La Comisión federal de comunicaciones fue establecida mediante el Acto de comunicaciones de 1934, los tiempos del Pacto nuevo que establecieron al gobierno federal como comisario del espectro de la frecuencia de radio en Estados Unidos. El espectro de frecuencia fue visto, y se sigue viendo así, como un bien público, cuyo uso debe estar sujeto a la regulación gubernamental.

La gran mayoría del espectro de frecuencia está asignada al uso con licencia -la operación en las *hondas con licencia* está restringida para el uso exclusivo del portador de la licencia-. Como compensación por el uso exclusivo de una banda en particular, el portador de la licencia está obligado a seguir las regulaciones FCC (aunque los requerimientos del ejército tienden a sobreponerse a los de la FCC), pagar una cuota y, en muchos casos, 'actuar a favor del interés público'. Ésta es la razón por la cual una emisora de televisión local puede, por ejemplo, emitir con exclusividad en el Canal 4 pero está obligado a incluir anuncios públicos de manera gratuita (normalmente en las primeras horas de las mañanas entre semana). A pesar de que la operación en las bandas libres de licencia no requiere de ningún proceso de licenciamiento formal, sí obliga al usuario seguir algunas regulaciones.

El conjunto de regulaciones FCC que se aplica a la operación Wi-Fi en la banda de 2.4 GHz y la de 5 GHz, es un subconjunto de las regulaciones de la Parte 15 de la FCC, el cual se aplica a una amplia variedad de dispositivos, incluyendo computadoras

personales además de receptores de televisión y radio. La comunidad de fabricantes y proveedores, incluyendo las redes de televisión y radio, fabricantes de PC y aparatos electrónicos para el consumidor además de los fabricantes de dispositivos Wi-Fi, tienen un papel activo en la definición y propuesta de regulaciones FCC nuevas o modificaciones a las existentes. La mayor parte del público (y las industrias que están afectadas en particular) tienen la oportunidad de proporcionar comentarios a la FCC antes de que las reglas nuevas tomen efecto al responder a la Noticia de crear reglas propuestas (*Notice of Proposed Rule Making, NPRM*, por sus siglas en inglés). Es a través de las NPRM y otros procesos menos formales que las proposiciones de reglas nuevas se detallan para balancear las necesidades de los participantes que a menudo tienen perspectivas distintas. Dentro de las regulaciones de la Parte 15 se definen tres bandas de frecuencia separadas, 900 MHz, 2.4 GHz e Infraestructura de información nacional libre de licencia (*Unlicensed National Information Infrastructure, UNII*, por sus siglas en inglés) como disponibles para las aplicaciones industriales, científicas y médicas libres de licencia. La tabla 2.7 describe las características de estas bandas de frecuencia.

Banda	Rango de frecuencia	Uso común
900 MHz	902 – 928 MHz	Primeras WLANs, teléfonos inalámbricos.
2.4 GHz	2.400 – 2.4834 GHz (amplitud de 83.5 MHz)	WLANs Wi-Fi 802.11b y 802.11g, Bluetooth, teléfonos inalámbricos
UNII-1	5.15 – 5.25 GHz (amplitud de 100 MHz)	WLANs de uso interno
UNII-2	5.25 – 5.35 GHz (amplitud de 100 MHz)	WLANs de uso interno y externo
UNII-3	5.725 – 5.825 GHz (amplitud de 100 MHz)	Puentes inalámbricos de uso externo de rango amplio

**Tabla 2.7 La FCC designa distintas posiciones del espectro de la frecuencia de radio para la operación libre de licencias y algunas veces sugiere, o especifica, los usos de estas bandas.**

A pesar de que se encuentran dentro de las regulaciones de la Parte 15, se aplican distintas reglas para cada una de las bandas. La banda de 900 MHz es usada principalmente por los teléfonos inalámbricos, LAN inalámbricas que no cumplen con los estándares y otros dispositivos que no son Wi-Fi. Debido a esto, nos basaremos en las bandas de 2.4 y 5 GHz.

## 2.12 LAS BANDAS DE 2.4 GHZ

El principal atractivo de la banda de 2.4 GHz es que está reservada para la operación libre de licencia no sólo por la FCC sino que también por otras agencias reguladoras, lo que significa que está libre de licencias a lo largo de la mayor parte del mundo. En relación a las regulaciones para la banda de 2.4 GHz en otras partes del mundo y en relación a otras regulaciones de la FCC para las bandas de 5 GHz, las reglas de operación en la banda 2.4 GHz de la FCC son bastante liberales. Las regulaciones definen la operación para los sistemas de Espectro extendido de saltos de frecuencia (FHSS) como, por ejemplo, los productos heredados de LAN inalámbricas, teléfonos inalámbricos y dispositivos BlueTooth, además de definir con mayor detalle la operación para los sistemas de Espectro extendido de secuencia directa (DSSS) como, por ejemplo, Wi-Fi. Originalmente, esto representaba la exclusión de los sistemas basados en OFDM, como Wi-Fi de 802.11g. pero esto ha sido modificado para permitir estos sistemas de alto desempeño que operan en la banda de 2.4 GHz. La compatibilidad con la gran mayoría de estas regulaciones es principalmente la responsabilidad de la comunidad de fabricantes que la de los usuarios -los fabricantes deben proporcionar sistemas compatibles y el usuario simplemente debe usarlos como es debido.

Hay que observar que los fabricantes tienen la responsabilidad de proporcionar un *sistema* compatible en lugar de simplemente ofrecer un producto *compatible*. Por ejemplo, cuando un punto de acceso o un adaptador de un cliente incorpora antenas y el usuario no puede conectar un tipo diferente de antena, entonces el sistema representa al producto. Por otro lado, si un punto de acceso tiene un conector de antena, el fabricante debe certificar no sólo el punto de acceso sino el punto de acceso con todas las combinaciones posibles de antenas. Entonces el usuario podrá escoger algunas de estas antenas posibles y poder desplegar un sistema compatible.

La regulación siguiente que está dentro de las reglas de la Parte 15 de la FCC, Subparte C, Subsección 15.203, tienen como fin definir de mejor manera lo que significa "todas las antenas posibles":

"Un radiador intencional (recuerde que esto quiere decir un radio en términos gubernamentales) debe estar diseñado para asegurar que no se debe usar ningún otro tipo de antena que no haya sido elaborada por la parte responsable (el fabricante, por ejemplo) con este dispositivo. El uso de una antena permanentemente conectada o una antena que usa un dispositivo de acoplamiento único para el radiador intencional debe considerarse adecuado para cumplir con las provisiones de esta sección".

Para cumplir con esta regulación, los fabricantes normalmente modifican un conector estándar en la industria de forma que se convierta en "exclusivo" para ellos y generalmente no está disponible en otras fuentes. Por ejemplo, Cisco Systems modifica un conector con rosca para cable coaxial (*Threaded Novel Connector, TNC*, por sus siglas en inglés) al invertir la polaridad del acoplamiento lo cual da como resultado un conector RP-TNC. Otros fabricantes llevan a cabo modificaciones similares que son fáciles de duplicar, lo cual lleva a la creación de una industria de conectores de distintos fabricantes que es saludable y, razonablemente, de bajo perfil. Por lo tanto, es bastante

sencillo obtener antenas de otros fabricantes con conectores que se ajustarán a los puntos de acceso de los fabricantes líderes en la industria.

Conectar antenas de otros fabricantes a un dispositivo Wi-Fi no es una violación de las reglas FCC. Al trabajar en cooperación con el fabricante del radiador intencional, el fabricante de la antena ya sea el fabricante de la antena mismo o un distribuidor- puede certificar la compatibilidad FCC del sistema (todos los puntos de acceso que deseen conectar además de todas las antenas que deseen incluir), lo cual los convierte a ellos, y no al fabricante, en la "parte responsable". Esto representa una carga originada por las regulaciones grande, costosa y consumidora de tiempo, además, de hecho, es una motivación para "no incluir" algunos aspectos. Para los usuarios, la estrategia más prudente es simplemente obtener antenas del mismo fabricante que proporciona el punto de acceso. Cuando esto no es posible, si se obtiene una antena de otro fabricante, es necesario preguntar si existe una certificación de compatibilidad para los puntos de acceso o adaptadores de clientes específicos.

Una vez que está establecido que el punto de acceso y el sistema de antenas es compatible, la primera área a considerar por los usuarios debe ser la de estar dentro de las limitaciones de la potencia de transmisión. Este es un aspecto que sólo se relaciona con los productos de puentes de punto a punto y punto a multipunto, los cuales a menudo están *basados* en dispositivos Wi-Fi pero no son, estrictamente hablando, puntos de acceso o dispositivos de cliente.

La FCC limita el total de la potencia de transmisión y la ganancia de antena menos cualquier pérdida en el cable, a no más de 36 dBm o 4 watts. Esta potencia de radiación isotrópica efectiva (*Effective Isotropic Radiated power, EIRP*, por sus siglas en inglés) permite un poco más de flexibilidad en la parte del usuario y el fabricante. Pero la IFCC la ha incluido, junto con otras agencias reguladoras del resto del mundo, para asegurar que el fabricante no proporcione un equipo que irradiará una cantidad excesiva de energía dentro de un espacio determinado.

Por ejemplo, cualquiera de las siguientes situaciones de radio, antena y cable son compatibles con la FCC:

- Un dispositivo transmitiendo 20 dBm (100 mW) con una antena dipolo (conocida como "pato de hule") de 2 dBi directamente conectada;  $20 + 2 = 22$  dBm,  $< 36$  dBm
- Un dispositivo transmitiendo 20 dBm (100 mW) con una antena Omnidireccional de 5 dBi directamente conectada;  $20 + 5 = 25$  dBm,  $< 36$  dBm
- Un dispositivo transmitiendo 20 dBm (100mW) con una antena Yagi de 13 dBi directamente conectada;  $20 + 13 - 2 = 31$  dBm,  $< 36$  dBm
- Por otro lado, el escenario siguiente no es compatible:
- Un dispositivo transmitiendo 20 dBm (100mW) con una antena de plato de 21 dBi conectada mediante 25 pies de cable que implica cerca de 2 dBm de pérdida;  $20 + 21 - 2 = 39$  dBm,  $> 36$  dBm

Hay que observar que de acuerdo a los ejemplos anteriores, con la mayoría de los tipos de antenas diseñadas para las aplicaciones LAN inalámbricas, el usuario corre poco peligro de exceder las limitaciones EIRP de la FCC. Sólo cuando diseñe un sistema que use antenas de ganancia alta y haz angosto como, por ejemplo, las antenas parabólicas que están diseñadas para las aplicaciones de puente de punto a punto, tendrá que considerar la reducción en la potencia de transmisión o de introducción de pérdidas por cable para seguir siendo compatible. En pocas palabras, si usa dispositivos Wi-Fi que no estén modificados, mantener la compatibilidad con las limitaciones EIRP de la FCC no debe ser una preocupación grande.

A pesar de que las regulaciones de la FCC para las antenas son bastante restrictivas, son mínimas en comparación con las regulaciones de la FCC para los amplificadores externos. Un *amplificador* es un dispositivo de potencia que se conecta entre el radio y la antena para añadir potencia adicional al sistema. por lo tanto, incrementando la densidad de potencia total en un espacio determinado. A pesar de que la FCC permite la venta de antenas individuales, prohíbe, específicamente, la venta de amplificadores externos como dispositivos aislados. Los amplificadores externos se pueden comprar sólo como parte de un *kit* que incluye al radiador intencional, antena y los cables necesarios, además del amplificador externo. Estos kits deben estar certificados como para la compatibilidad con la FCC en la forma de sistema completo. Muchas personas han observado que la FCC tiene una perspectiva cuidadosa con respecto a los amplificadores en general debido al potencial que proporcionan para él abuso.

Para la gran mayoría de aplicaciones Wi-Fi, toda la ganancia que un usuario requiere se puede obtener a través de la selección de una antena -no es necesario un amplificador externo. Con un grado ligeramente menor, se puede decir lo mismo para las aplicaciones de puente. En general, es mejor que el usuario tenga en cuenta que simplemente debe evitar los amplificadores externos, en especial cuando los amplificadores no se ofrecen como parte de un elemento certificado que sea uno de los componentes 802.11 que se han adquirido.

A pesar de que la asignación FCC para la banda ISM de 2.4 GHz está definida entre 2.4 y 2.4835 GHz, los dispositivos Wi-Fi que operan en esa banda funcionan en términos de canales.

Las especificaciones 802.11b y 802.11g definen los canales disponibles en la banda FCC para el uso en Estados Unidos de la manera siguiente

ID de canal (MHz)	Frecuencia
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462

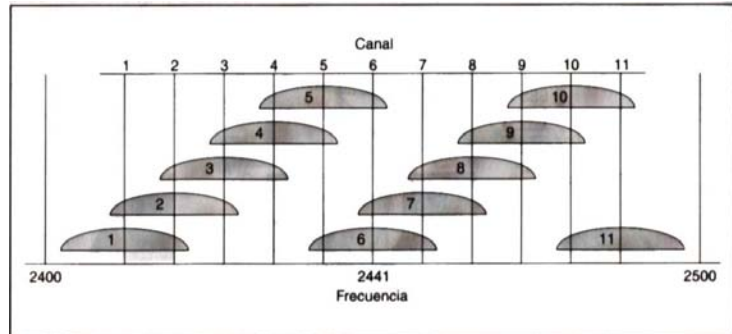


Tabla 2. 8  
2.4Ghz

Fig. 2.12 Los 11 canales de 802.11 en la frecuencia de

Los resultados anteriores de las especificaciones 802.11 b y 802.11g sugieren, de manera errónea, que el usuario tiene once canales disponible en la banda de 2.4 GHz. Por supuesto, ése no es el caso. Como indicamos antes, el usuario en realidad no tiene más de tres canales que *no se traslapan*. Se requiere de un mínimo de 22 MHz de ancho de banda para la transmisión Wi-Fi en la banda de 2.4 GHz.

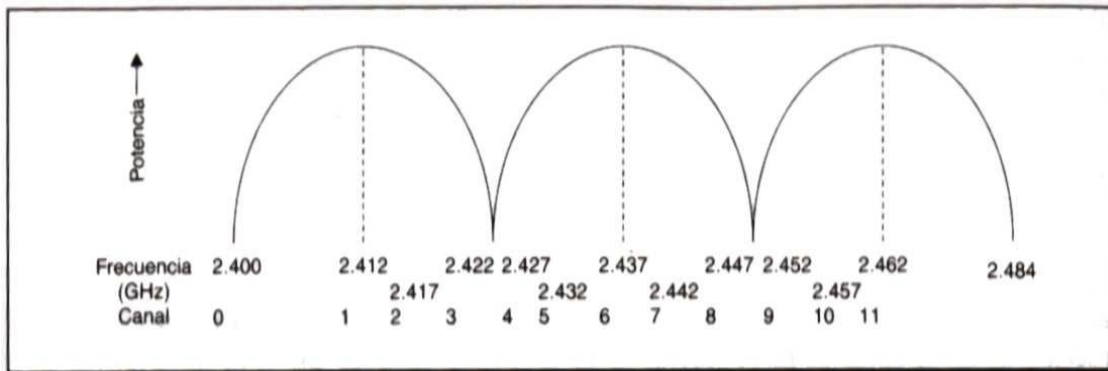


Fig. 2.13 A pesar de que las especificaciones 802.11b /g definen 11 canales en la banda ISM de 2.4 GHz de la FCC solo tres no se traslapan y por lo tanto se pueden usar

Como se muestra en la figura 2.13, estos canales de 22 MHz de amplitud se extienden 1 MHz fuera del punto central del canal en ambas direcciones. Los únicos canales disponibles de estos once que permiten la amplitud de 11 MHz en ambas direcciones sin interferir con otro canal o extenderse más allá de la frecuencia asignada (excediendo las bandas laterales) son los canales 16 y 11. A pesar de que no existe una restricción legal sobre el diseño de una LAN inalámbrica que tenga un uso menor o mayor de un canal. normalmente es recomendable usar los tres canales, ni uno más ni uno menos, para alcanzar el mejor balance entre la capacidad y la confiabilidad.

## Las bandas de 5 GHz

Como se indica en la tabla 2.7, la FCC ha asignado tres bandas libres de licencia en la porción de 5 GHz del espectro de frecuencia que se conocen de manera colectiva como las bandas de Infraestructura de información nacional libre de licencia (*Unlicensed National Information Infrastructure, UNII*). (Por razones que no son intuitivas, la FCC insiste en colocar un guión entre la *U* y la *N*, lo cual da como resultado U-NII, una convención que casi todas las demás partes han ignorado.) Cada una de las tres bandas tiene una amplitud de 100 MHz. La banda UNII-1 está ubicada entre 5.15-5.25 GHz, UNII-2 en 5.25-5.35 GHz y UNII-3 en 5.725-5.825. Se observa que las bandas UNII-1 y UNII-2 son contiguas y de hecho son tratadas por 802.11 a como un espacio continuo de amplitud de 200 MHz del espectro, más del doble del tamaño de la banda ISM de 2.4 GHz. Esto da como resultado un beneficio importante a 802.11a -la amplitud de 200 MHz en las bandas UNII-1 y UNII-2 están divididas hasta en ocho canales *que no se traslapan*, cada uno de ellos con una amplitud de 25 MHz.

Como se indica en la tabla 2.7, cada banda UNII está diseñada para un uso distinto. Como bandas libres de licencia, estos usos no son en sí parte de las regulaciones; en lugar de esto, las regulaciones están diseñadas para promover el uso especificado para el detrimento, o al menos inconveniencia, de otros usos. La banda UNII-3 está diseñada para funcionar como puente inalámbrico de rango amplio en sistemas de punto a punto y punto a multipunto y sólo se debe usar en entornos exteriores. A pesar de que las bandas UNII-1 y UNII-2 son contiguas y se consideran como una sola banda por la mayoría de los dispositivos Wi-Fi de 5 GHz, tienen limitaciones reguladoras muy distintas.

## CAPITULO III. SOLUCIONES DE CONECTIVIDAD, ESTANDAR 802.16

### 3.1 INTRODUCCIÓN

WiMAX es el estándar de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en el área metropolitana (MAN). Todos los equipos con certificación WiMAX deben cumplir con las especificaciones del estándar 802.16-2004.

Como ya se ha mencionado, las expectativas iniciales del WiMAX se ciñen a sitios rurales, con pocos accesos, es decir, a todas aquellas personas que el ADSL y cable esta fuera de su alcance.

El funcionamiento de WiMAX puede ser similar a Wi-fi pero a velocidades más altas, mayores distancias y para un mayor número de usuarios. WiMAX podría solventar la carencia de acceso de banda ancha a las áreas suburbanas y rurales que las compañías del teléfono y cable todavía no ofrecen.

Desde que en el mes de enero de 2003, el IEEE aprobó el estándar 802.16a, base del actual estándar 802.16-2004 en el que se basa WiMAX, éste se ha ido adaptando hasta la versión 802.16e, aprobado en diciembre de 2005, que proporcionará movilidad.

- 802.16 – 10 a 66 GHz, con modulación QAM, LOS
- 802.16a - 2 a 11 GHz, OFDM y OFDMA, NLOS
- 802.16b/c – Interoperabilidad y especificación de certificaciones
- 802.16-2004 – Reemplaza a 802.16, 802.16a y 802.16d
- 802.16e – Movilidad

En este capítulo se comentan las características claves del estándar, así como las entidades que velan por su correcto desarrollo.

### 3.2 FORO WiMAX

El Wimax Forum [5] es una entidad sin animo de lucro formada en 2003 por suministradores de componentes y equipos. Su objetivo es proponer y promover la interoperabilidad entre los productos BWA cumpliendo con estándares IEEE 802.16 y ETSI HiperMAN, y de esta manera, acelerar el despliegue global de soluciones de banda ancha inalámbricas estandarizadas.

Para ello el Wimax Forum ha creado el certificado WiMAX, que han de cumplir todos los productos de banda ancha compatibles con el estándar 802.16. A principios del 2006 se han certificado los primeros equipos para operar según el estándar 802.16-2004 en su modalidad fija.

Inicialmente el Wimax Forum ha definido los siguientes perfiles [6]:



Banda de frecuencia (MHz)	Duplexado	Ancho de banda (MHz)
3400 - 3600	TDD	3,5
		7
	FDD	3,5
		7
5725 - 5850	TDD	10

La siguiente certificación de equipos ya incluirá sistemas con posibilidad de trabajar entre los 2500-2690 MHz, con un ancho de banda de 5 o 5,5 MHz.

Banda de frecuencia (MHz)	Duplexado	Ancho de Banda (MHz)
2500 - 2690	TDD	5 / 5,5
	FDD	5 / 5,5

En la actualidad cerca de 300 empresas del ámbito colaboran en el desarrollo de los procesos de certificación WiMAX, entre las que figuran empresas líderes en diversos sectores involucrados (fabricantes de equipos, operadores, fabricantes de chips, etc.)

### 3.3. MODELOS DE USO

Aunque la tecnología aun no se ha expandido lo suficiente para determinar cuales son los modelos y entornos de utilización, por sus características se pueden definir cuáles serán algunos de los posibles usos.

Acceso de banda ancha residencial (bucle de abonado WLL)

Acceso de internet (voz + datos) de alta velocidad, en la que posteriormente se pueden incluir servicios multimedia como videoconferencia, video bajo demanda o televisión. Es comparable en cuanto a capacidad al servicio que se ofrece actualmente con las líneas ADSL o de cable.

Servicios de telecomunicaciones para pymes

Acceso de banda ancha dedicada (2 Mbps), donde no es posible dar acceso por tecnología alámbrica. Puede resultar alternativa en este sentido a los servicios de cable o DSL para este tipo de mercado.

Redes backhaul para hotspots WLAN

Red de interconexión de islas WLAN a servicios de banda ancha. Permite interconectar redes WLAN de corto alcance (aproximadamente 200 metros) entre ellas para formar grandes redes de telecomunicación con un alcance mucho mayor.

En la actualidad, y aquí en España, el principal uso de las redes de acceso de banda ancha basadas en tecnología WiMAX se centra en dar servicio a usuarios donde no tienen cobertura ADSL. Sobretudo proyectos con soporte de las administraciones públicas están centrándose en dar servicio a zonas rurales.

### 3.4. CONFIGURACIÓN / ARQUITECTURA

#### Arquitectura (PP, PMP, Malla)

El estándar [7] define diferentes arquitecturas compatibles con la tecnología WiMAX. A continuación se describen las tres soluciones.

#### Topología PTP

La topología punto a punto se muestra en la siguiente figura. En ella se pueden identificar los dos elementos que se comunican entre ellos (transmisor y receptor). El estándar define esta tipología como una variante de la topología punto a multipunto.

#### Topología PMP

La topología y arquitectura de red especificada en el IEEE 802.16 se ilustra en la siguiente figura. Se definen los elementos Estación Base (BS) y Estación de suscriptor (SS). La BS realiza la interficie entre la red sin hilos y la red de conexión (Core Network). La SS permite al usuario acceder a la red por medio del establecimiento de conexiones con la BS, en una topología PMP.

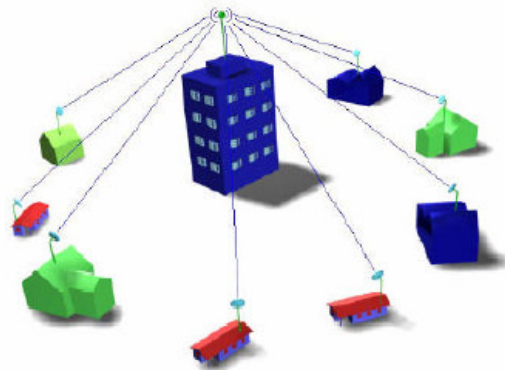


Fig. 2.3. Esquema de red en arquitectura PMP

## Topología Mesh

Como alternativa a la topología PMP, el estándar especifica la topología Mesh, en la cual una SS se puede conectar a una o más SS intermediarias, hasta alcanzar la BS. En este último caso se trata de una red multi-salto, que representa una posibilidad interesante para extender el área total de cobertura de la red sin necesidad de un aumento significativo de BS, lo que representa una reducción representativa de costes, ya que el coste de las SS es muy inferior al de una BS.

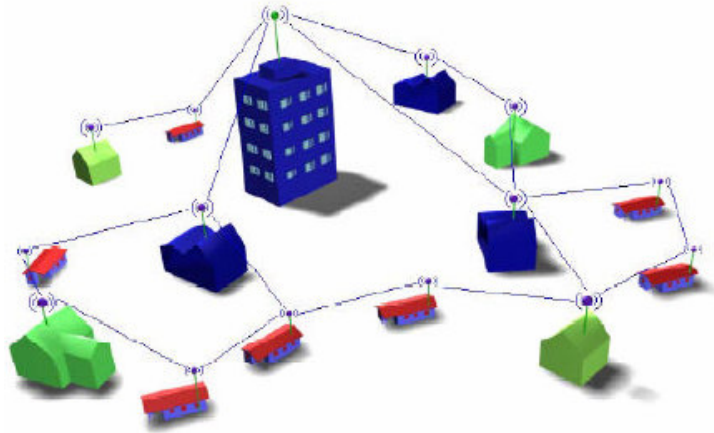


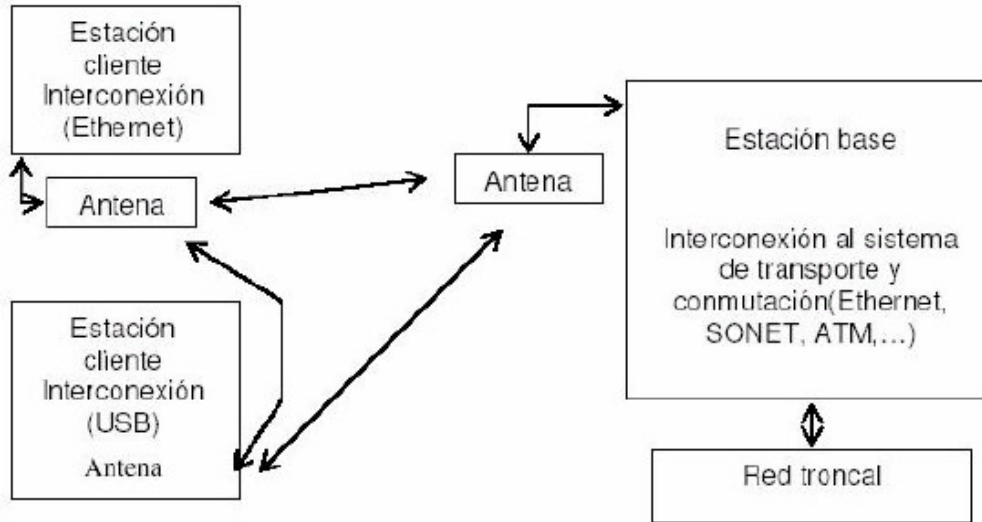
Fig. 2.4. Esquema red en arquitectura malla

## Elementos de red

Se definen dos tipos de equipos en un sistema WiMAX: el equipo de usuario y la estación base. Equipo de usuario SS (*Subscriber Station*) o CPE (*Customer Premises Equipment*), es el que incorpora las funciones del receptor identificadas en el estándar 802.16 de forma que proporciona conectividad con la estación base (BS). Existen varios tipos de equipos, desde el equipo instalado en el interior del edificio auto instalable, hasta el equipo que requiere antena exterior. Puede disponer de interfaces de comunicación compatibles con los sistemas PC (USB o Ethernet)

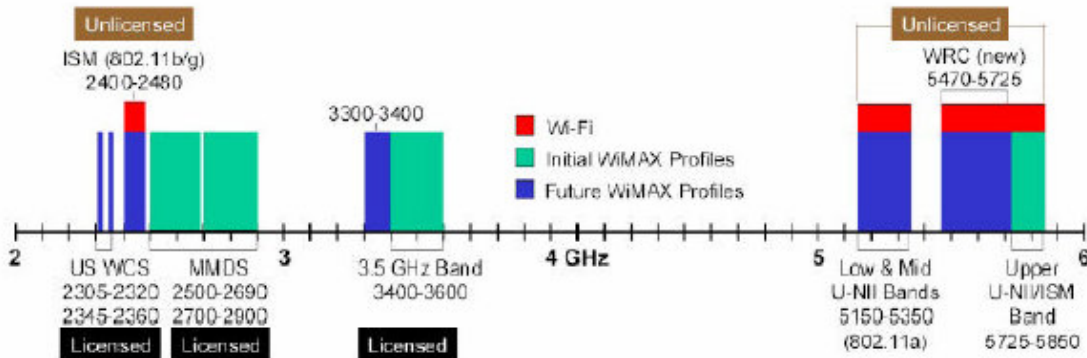
La estación base BS (*Base Station*) realiza las funciones de Tx identificadas en el estándar 802.16 y además de proporcionar conectividad a las estaciones cliente, también proporciona los mecanismos de control y gestión. Las estación base dispone de elementos de transporte para conectarse a la red (*corenetwork*).

En la siguiente figura se identifican estos dos elementos, así como las posibles configuraciones de conectividad entre ellos.



### 3.5. UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO

La siguiente figura muestra las diferentes bandas disponibles para BWA en el rango de 2 a 6 GHz [8]. Nótese como estas bandas están diferenciadas por necesidad de licencia o no.

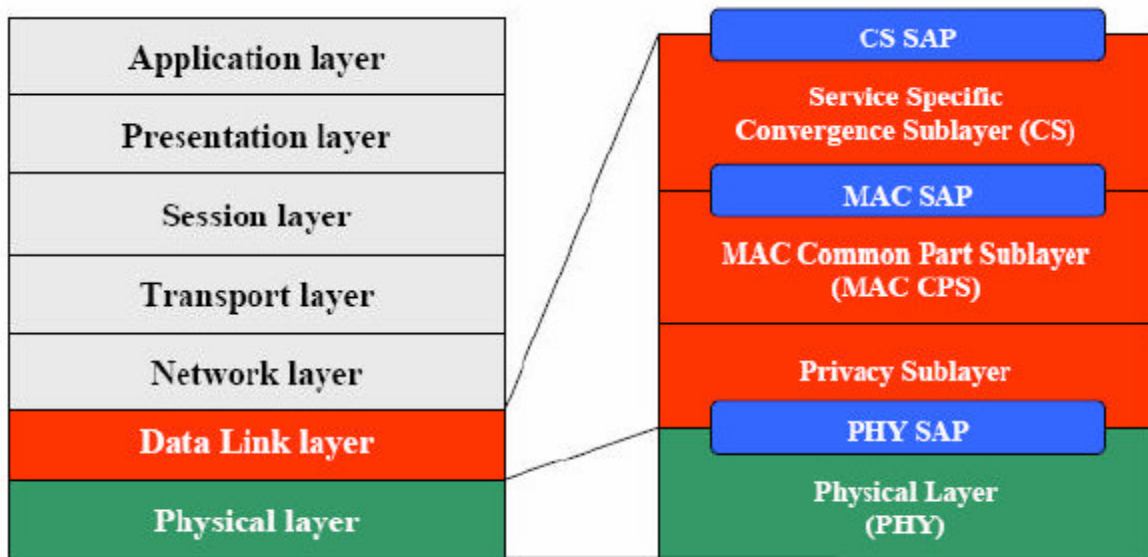


Frecuencia	Descripción
3.5 GHz	Banda con licencia disponible para sistemas BWA (3,3 - 3,6 GHz)
Low U-NII	Banda sin licencia utilizada en Wi-fi (5150 - 5350 MHz)
Upper U-NII / ISM	Banda sin licencia elegida inicialmente por WIMAX Forum (5725 - 5850 MHz)
WCS	Dos bandas divididas en slots de 15 MHz (2305-2320 y 2345-2360 MHz)
WRC	Banda sin licencia (5470-5725 MHz)
2.4 GHz ISM	Banda con licencia de 80 MHz para aplicaciones BWA. Los sistemas Wi-fi la utilizan y en un futuro lo hará 802.16e
MMDS	Incluye 31 canales de 6 MHz (2500 a 2690 MHz). Rango disponible para aplicaciones BWA en los EEUU

El Wimax Forum [5] [6] ha centrado sus objetivos iniciales de certificación de sistemas Wimax en las bandas con licencia MMDS y 3.5 GHz, y en la parte alta de la banda sin licencia U-NII de 5GHz, en las que existen menos interferencia, los niveles de potencia permitidos son razonables y existe un ancho de banda adecuado.

### 3.6. ARQUITECTURA DE PROTOCOLO 802.16

La versión actual del estándar 802.16 (IEEE 802.16-2004) [7] [9] especifica la interficie aérea para frecuencias hasta 66 GHz. Define las especificaciones para las múltiples capas físicas (PHY), la capa de acceso al medio (MAC), y la capa que ofrece el servicio de convergencia entre subcapas (CS) para el transporte de IP, Ethernet y ATM. La pila de protocolos se puede ver en la siguiente figura.



#### Convergente Sublayer (CS)

Los sistemas 802.16 deben soportar la operación con sistemas ATM o paquetizados (IP). La capa de convergencia es capaz de interactuar con estos dos modos de operación mediante el *Service Acces Point* (CS (SAP)). Por esta razón la función de la subcapa CS es interactuar entre las funciones de la capa MAC y la capa de arriba de la torre de protocolos.

#### MAC Common Part Sublayer (MAC CPS)

Este es el corazón de la capa MAC. Contiene todas las funciones necesarias para realizar el intercambio de datos y el control de la capa MAC.

#### Private Sublayer

Esta capa implementa todos los elementos requeridos de privacidad debido a la capa PHY. Algunos ejemplos son el intercambio de claves y los procesos de encriptado/desenciptado. Está interconectado a la capa PHY mediante el *Service Acces Point* (PHY SAP).

#### PHY Layer

Especifica las características de los diferentes modos de operación de la interficie aire: WirelessMAN SC, WirelessMAN SCa, WirelessMAN OFDM y WirelessMAN OFDMA.

### 3.7. CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA FÍSICA

#### WirelessMAN SC

Se trata de la versión '*single carrier*' realizada para línea de visión directa (LOS) en la banda de frecuencias de 10 a 66 GHz. Esta versión está enfocada para aplicaciones con flexibilidad de configuración, puesto que las antenas transmisora y receptora deben tener vista directa (LOS) entre ellas, una razón por la que la antena receptora debe situarse en lugares altos.

#### WirelessMAN Sca

Versión '*single carrier*' para frecuencias inferiores a 11 GHz . Comprende un conjunto de funcionalidades para soportar operaciones sin línea de vista directa (NLOS) como por ejemplo: modulación adaptativa, estimación y ecualización de canal, múltiples esquemas de codificación, sistemas de antenas adaptativas, técnicas de diversidad en transmisión, control de potencia y ARQ (*Automatic Repeat Request*).

#### WirelessMAN-OFDM – 256 FFT

Proyectada para operaciones sin línea de vista directa (NLOS) en bandas de frecuencias inferiores a 11 GHz. Utiliza como base la modulación ortogonal (OFDM). Además de las funcionalidades propias del estándar WirelessMAN SCa, esta versión soporta topologías de red tipo malla (mesh) y subcanalización en el enlace up link, que representa una gran herramienta para la optimización en la cobertura del sistema.

#### WirelessMAN-OFDMA – 2048 FFT

Soporta operaciones NLOS en bandas de frecuencias inferiores a 11 GHz, y se basa en el esquema de múltiple acceso denominado OFDMA (*orthogonal frequency division multiple acces*). Se trata de una extensión de la técnica OFDM para permitir el compartimiento del canal por múltiples usuarios.

Además de las funcionalidades propias de la versión WirelessMAN SCa, soporta subcanalización en ambos enlaces UL y DL.

WirelessHUMAN

Comprende funcionalidades específicas para funcionar en bandas sin licencia, siendo por esto llamada *'High Speed Unlicensed Metropolitan Area Network - HUMAN'*. Especifica la operación en las bandas 5 a 6 GHz, utilizando como base un esquema flexible de canalización que incluye canales de 10 y 20 MHz, con separaciones de 5 MHz.

En la siguiente tabla se observa un resumen de las diferentes capas físicas, con las opciones soportadas por cada una de ellas, el rango de frecuencias y el modo de duplexado.

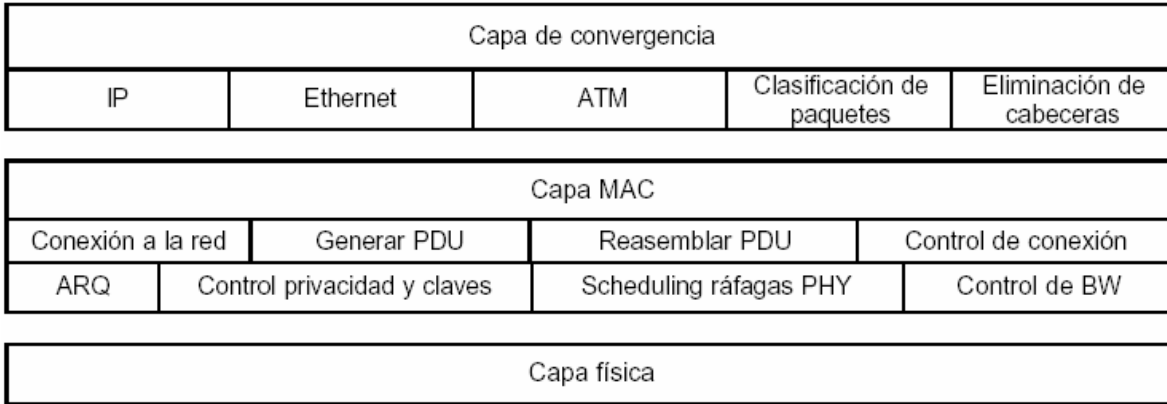
Capa física	Rango	Opciones	Modo duplexado
WirelessMAN-SC	10-66 GHz	AAS ARQ STC	TDD FDD
WirelessMAN-Sca	2-11 GHz (banda con licencia)	AAS ARQ Mesh STC	TDD FDD
WirelessMAN-OFDM	2-11 GHz (banda con licencia)	AAS ARQ STC	TDD FDD
WirelessMAN-OFDMA	2-11 GHz (banda con licencia)	AAS ARQ STC	TDD FDD
WirelessHUMAN	2-11 GHz (banda sin licencia)	AAS ARQ Mesh STC	TDD

**3.8. CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA MAC**

El protocolo MAC de los sistemas 802.16 está orientado a conexión [9], y esta conexión esta asociada a un nivel de QoS. Las conexiones son bidireccionales y se identifican utilizando un identificador de 16 bits (CID).

Las conexiones en la dirección DL pueden ser tanto *unicast* como *multicast*, mientras que las conexiones UL sólo son *unicast*.

En el siguiente esquema se observan las funciones de cada capa.



Entre las funciones específicas de la capa MAC se encuentran las siguientes:

- Control de QoS
- Soporte para las diferentes capas físicas definidas en 802.16
- Seguridad
- Sincronismo
- Capa de convergencia para IP y ATM
- Soporte a sistemas con antenas adaptativas
- Soporte a las topologías MESH y PMP

### 3.9. MODELOS DE PROPAGACIÓN

El canal radio de un sistema de comunicaciones sin hilos, a menudo se define como sistema LOS (*Line Of Sight*) o NLOS (*Non Line Of Sight*) [10]. En un enlace LOS, la señal viaja a través de un camino directo sin obstáculos desde el transmisor al receptor. Un enlace LOS requiere que la primera zona de Fresnel esté libre de cualquier obstrucción, evitándose de este modo cualquier efecto de difracción en la señal. Este espacio definido como zona de Fresnel depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre el transmisor y el receptor.

En un enlace NLOS, la señal viaja hasta el receptor a través de reflexiones y difracciones. Las señales que llegan al receptor se componen de la señal directa, múltiples señales reflejadas de menor intensidad y diferentes caminos de propagación causados por la difracción. Estas señales tienen diferentes retardos (*delay spread*), atenuación, polarización y estabilidad respecto a la señal directa.

Algunas de las ventajas de la propagación NLOS respecto a LOS se citan a continuación:

- En muchos casos los requerimientos de planeamiento no permiten posicionar la antena según las restricciones de altura necesarias para un enlace del tipo LOS. Para despliegues celulares de gran escala, donde el rehúso de frecuencia es crítico, reducir la altura de la antena puede resultar una ventaja, reduciendo las interferencias co-



canal entre celdas adyacentes. Esto fuerza a las estaciones bases a operar en condiciones NLOS.

- La tecnología NLOS también reduce los costes de instalación, permitiendo una fácil localización del dispositivo cliente.
- La tecnología NLOS y las características de WiMAX permiten utilizar dispositivos cliente *indoor*. Esto conlleva dos desafíos principales: en primer lugar superar las pérdidas por penetración en edificios, y en segundo lugar, dar cobertura a distancias razonables con potencias de transmisión y ganancia de la antena reducidas características de sistemas interiores.

La siguiente tabla muestra las características del enlace y la topología de antena de CPE a utilizar para diferentes situaciones:

Tipo de sistema	Line of Sight		NLOS (Non Line Of Sight)	
	LOS	nLOS (Near Line Of Sight)	NLOS exterior	NLOS interior
Camino radio	Directo, sin obstrucciones	Directo, obstrucción poco densa p.e. árboles	Reflexiones, propagación multicamino	Reflexiones, Propagación multicamino y pérdidas por penetración en edificio
Antena Rx	Altamente directiva, instalada en el exterior del edificio	Altamente directiva, instalada en el exterior del edificio	Direccional, instalada en el exterior del edificio	Omnidireccional, integrada en dispositivo de cliente, instalada en el interior del edificio por el usuario

La tecnología WiMAX utiliza diferentes técnicas o tecnologías para reducir los efectos de los enlaces NLOS (multicamino, difracciones, cambios de polarización, etc.). En los apartados 3 y 4 del anexo se describen las características principales de algunas de ellas:

- Tecnología OFDM
- Subcanalización
- Antenas adaptativas (*smart antenas*)
- Diversidad en transmisión y recepción
- Técnicas de corrección de errores (FEC, ARQ, ...)

- Sistemas de control de potencia
- Modulación y codificación adaptativa

En el capítulo 3 se describen los modelos de propagación utilizados para definir la capacidad de un sistema WiMAX en el caso de enlaces LOS y NLOS.

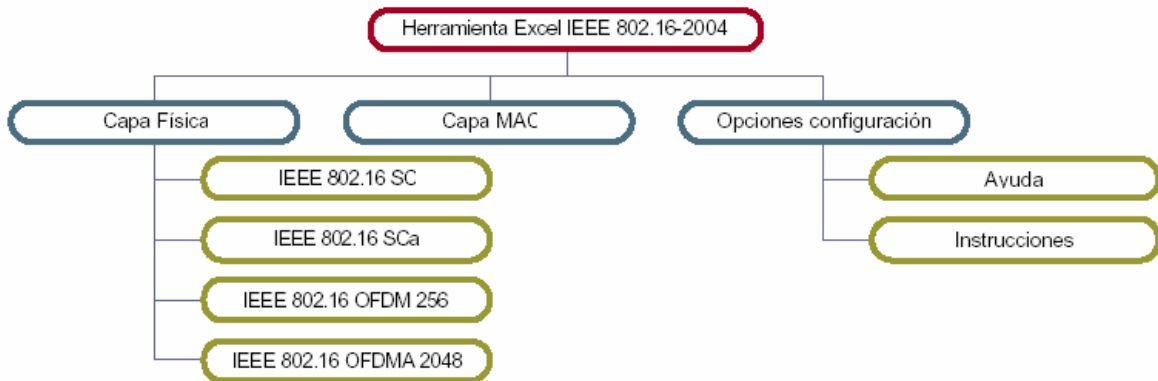
### 3.10 DISEÑO HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE CAPACIDAD Y ALCANCE

El objetivo de este capítulo, y uno de los objetivos principales de este proyecto, es el de diseñar e implementar una herramienta Excel para determinar y analizar la capacidad teórica de los sistemas WiMAX, según el estándar IEEE 802.16-2004.

La herramienta debe permitir de una forma fácil y sencilla, la obtención de parámetros característicos del alcance y capacidad de un sistema. Entre ellos, el throughput bruto y neto, número de usuarios y de conexiones, radio y superficie de cobertura, atenuación compensable, etc., para todas las configuraciones existentes de capa física y capa MAC

Para ello, se partirá de modelos y ecuaciones definidos para el estándar, como los modelos de propagación Erceg o Cost-231, definición de potencias características, pérdidas, ganancias de los sistemas radiantes, modulación y codificación, frecuencias y anchos de banda característicos, etc.

A continuación, se presenta un diagrama con las diferentes posibilidades de la herramienta:



En los siguientes apartados se irán presentando las características de cada una de las opciones de la herramienta (modelos de cálculo, configuración, etc), y en el apartado primero del anexo se muestran las capturas de las pantallas de la aplicación.

En la siguiente figura se muestra la apariencia de la pantalla de resultados y configuración de una de las capas físicas de la herramienta excel.

### 3.11 CAPA FÍSICA

#### Opciones de cálculos

En cualquiera de las cuatro capas físicas definidas en el estándar, la herramienta da la posibilidad de elegir el tipo de cálculos que se deseen realizar entre estas dos opciones:

- Cálculo de la capacidad máxima del sistema

En esta configuración, el usuario debe seleccionar los parámetros del sistema (frecuencia, BW, tipo de terreno, características Tx/Rx), con ello la hoja de Excel calcula los parámetros que definen la capacidad máxima del sistema como p.e.: throughput, sensibilidad Rx, radio de cobertura, etc.

- Cálculo de la zona de cobertura máxima

En esta configuración, el usuario, además de seleccionar los parámetros del sistema tales como la frecuencia, características de Tx/Rx, del canal, etc., el usuario indica la modulación y codificación que desea utilizar (directamente indica el throughput deseado). La hoja de Excel calcula el radio de cobertura máximo del sistema, además de otros parámetros genéricos de capacidad. Para ello se utilizan unos modelos de propagación LOS y NLOS que se describen en siguientes apartados.

#### Parámetros del espectro radioeléctrico

Según la opción elegida por el usuario según el apartado anterior, la herramienta da la opción de seleccionar la región en la que opera el sistema WiMAX, la frecuencia central, el ancho de banda del canal (BW) y la modulación y codificación a utilizar. Este último parámetro únicamente está disponible para la opción “cálculo de cobertura máxima”.

En la tabla se adjunta la clasificación de BW y frecuencia de utilización según la región y según si se trata de una frecuencia con o sin licencia.

	2,3 - 2,5 GHz	3,5 GHz	5 – 5,8 GHz
Región	Europa, Rusia, Asia, Sur América, Canada, USA	Europa, Rusia, Asia, Africa, Canda, Sur América	Europa, Asia, Africa, Sur América, USA, Canada
BW (MHz)	1,25 - 1,75 - 3 - 3,5 - 7 - 14 - 28	1,25 - 1,75 - 3 - 3,5 - 7 - 14 - 28	10 - 20
Licencia	SI	SI	NO

Para el estándar 802.16-SC se definen otras frecuencias puesto que se trata de un estándar definido para operar en la banda de frecuencias de 10 a 60 GHz

### Parámetros del canal radio

Para la realización de los cálculos se han definido cinco modelos de escenario posibles, teniendo en cuenta las posibilidades de propagación, densidad de obstáculos y modelo del terreno. Todos ellos son para enlaces NLOS.

Tipo de escenario	Modelo de propagación
Rural-densidad alta de obstáculos	Erceg-terreno A
Rural-densidad media de obstáculos	Erceg-terreno B
Rural-densidad baja de obstáculos	Erceg-terreno C
Suburbano-densidad baja de obstáculos	Cost 231 Walfish-Ikegami
Urbano-metrópolis densa	Cost 231 Walfish-Ikegami

El usuario indica el tipo de terreno y las alturas de la estación base (BS) y la estación cliente (SS). Generalmente la altura de la BS puede variar de 20 a 60 metros, y la de la SS entre 2 y 10 metros.

Cuando el tipo de cálculo seleccionado es el de “capacidad máxima” el usuario debe determinar también la distancia en la que desea conocer el valor de los diferentes parámetros de capacidad (valor expresado en kilómetros). De este modo la herramienta tiene en cuenta unas pérdidas de canal determinadas.

Para la capa física 802.16-SC, definida según el estándar para operar en enlaces con visibilidad directa (LOS), no se define ningún tipo de terreno, puesto que se tienen en cuenta las pérdidas del canal según la ecuación de espacio libre (ver apartado 3.2.3.1). Para este caso específico, y dado que las frecuencias de operación son mucho mayores, se deben tener en cuenta atenuaciones del canal debidas a efectos atmosféricos.

### Modelo de propagación LOS

Para el estándar IEEE 802.16-SC, se define como modelo de propagación el de espacio libre [11]. Adicionalmente, se tienen en cuenta una serie de pérdidas adicionales relacionadas con los efectos medioambientales y atmosféricos como pueden ser la atenuación debida a la lluvia.

La ecuación que define el modelo de espacio libre se presenta a continuación:

$$L_p = 32,44 + 20 \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) + 20 \log\left(\frac{d}{\text{Km}}\right) \tag{3.1}$$

Los efectos atmosféricos atenuadores que se han de tener en cuenta para frecuencias superiores a 10 GHz son por ejemplo la lluvia, niebla, etc.

Para la atenuación por lluvia se define la siguiente relación, según disponibilidad del enlace [12]:

$$A_{lluvia}(dB / km) = k \cdot R^\alpha \tag{3.2}$$

Donde R es la tasa de lluvia en mm/h definida por el usuario (depende de la región), y k y alfa son constantes que dependen de la frecuencia y de la temperatura de la lluvia.

La tabla siguiente muestra los valores típicos de las constantes k y alfa, en función de la frecuencia y la polaridad de la onda:

Frecuencia (GHz)	k <sub>H</sub>	k <sub>V</sub>	alfa <sub>H</sub>	alfa <sub>V</sub>
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
30	0,187	0,167	1,021	1,000
40	0,350	0,310	0,939	0,929
60	0,707	0,642	0,826	0,824

La atenuación por lluvia se ha utilizado únicamente en los cálculos de la capa física IEEE 802.16 SC, cuyo rango de frecuencias se sitúa por encima de los 10 GHz.

**Modelo de propagación NLOS – Erceg**

El modelo de propagación Erceg [13] [14] para enlaces sin visibilidad directa se define para tres tipos de terreno definidos como A, B y C. El terreno tipo A se asocia a unas pérdidas de canal máximas y es el modelo apropiado para terrenos montañosos con una densidad de árboles de alta a moderada. El terreno tipo C se asocia a unas pérdidas de canal mínimas, óptimas para terrenos llanos libre de árboles. El terreno tipo B es ideal para terrenos medios (terrenos planos o casi planos con densidad moderada de árboles).

Las pérdidas de propagación vienen determinadas por la siguientes ecuaciones:

$$Lp = A + 10\gamma \log(d / d_0) \tag{3.3}$$

donde

$$A = 20 \log(4\pi d_0 / \lambda) \tag{3.4}$$

y

$$\gamma = (a - bh_b + c / h_b) \tag{3.5}$$

Se aplican unos factores de corrección para frecuencias superiores a 2 GHz, y altura del receptor superior a 2 metros.

$$\Delta PL_f = 6 \log(f / 2000) \tag{3.6}$$

Para terrenos A y B el factor a aplicar para la corrección de la altura del receptor viene determinado por la siguiente relación:

$$\Delta PL_h = -10,8 \log(h / 2) \tag{3.7}$$

Para terrenos del tipo C el factor de corrección de altura se determina según la siguiente ecuación

$$\Delta PL_h = -20 \log(h / 2) \tag{3.8}$$

Aplicando todas las relaciones, la ecuación final a aplicar es:

$$Lp = 20 \log(4\pi d_0 / \lambda) + 10\gamma \log(d / d_0) + \Delta PL_h + \Delta PL_f + s \tag{3.9}$$

Donde los factores a, b y c toman los siguientes valores en función del tipo de terreno seleccionado, y el valor s se especifica para determinar un margen de seguridad por pérdidas de *fading*.

Parámetro	Terreno A	Terreno B	Terreno C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20

### Modelo de propagación NLOS – Cost 231

El modelo de propagación Cost 231 W-I (Walfish—Ikegami) [14] se define para zonas suburbanas y urbanas con una altura de edificios uniforme. Se ha demostrado que el modelo de terreno tipo C, presentado en el apartado anterior, tiene un comportamiento similar a este modelo de propagación, proporcionando una continuidad entre ambos modelos [13].

El modelo Cost 231 W-I se ha utilizado con la siguiente configuración [14]:

Altura SS → 2 ... 10 metros

Altura BS → 30 ... 80 metros

Espacio entre edificios → 50 metros

Ancho de calle → 30 metros

Orientación de la calle → 90°

Junto a estas especificaciones, y según pruebas realizadas en el desarrollo de la herramienta, se han tenido en cuenta las siguientes suposiciones para la realización de los cálculos [14]:

- La altura de la BS es mayor que la altura media de los edificios
- La altura media de los edificios es mayor que la altura de la SS
- Para la opción de escenario suburbano, en la ecuación (3.17),  
 $Kf = -4 + 0,7 \cdot (...)$ .
- Para la opción de escenario urbano, en la ecuación (3.17),  
 $Kf = -4 + 1,5 \cdot (...)$ .
- Para el cálculo de  $L_{msd}$ ,  $K_a = 54$ .

Para determinar las pérdidas de canal se definen las siguientes ecuaciones:

$$L_p = L_0 + L_{rts} + L_{msd} \quad (3.10)$$

donde  $L_0$  define la atenuación en espacio libre

$$L_0 = 32,4 + 20 \log\left(\frac{R}{km}\right) + 20 \log\left(\frac{f}{MHz}\right) \quad (3.11)$$

$L_{rts}$  define la atenuación debida a la relación entre los edificios y la calle

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \log\left(\frac{w}{m}\right) + 10 \log\left(\frac{f}{MHz}\right) + 20 \log\left(\frac{\Delta h_{mobile}}{m}\right) + L_{ori} \quad (3.12)$$

donde el valor de  $L_{ori}$  es

$$L_{ori} = -10 + 0,354 \left(\frac{\varphi}{deg}\right) \quad \text{para } 0 \leq \varphi \leq 35 \text{ deg} \quad (3.13)$$

$$= 2,5 + 0,75 \left(\frac{\varphi}{deg} - 35\right) \quad \text{para } 35 \leq \varphi \leq 55 \text{ deg}$$

$$= 4,0 - 0,114 \left(\frac{\varphi}{deg} - 55\right) \quad \text{para } 55 \leq \varphi \leq 90 \text{ deg}$$

Y la última relación que tiene en cuenta es  $L_{msd}$  que define las pérdidas causadas por el efecto multi-camino

$$L_{msd} = L_{beh} + k_a + k_d \log\left(\frac{R}{km}\right) + k_f \log\left(\frac{f}{MHz}\right) - 9 \log\left(\frac{b}{m}\right) \quad (3.14)$$

donde  $L_{ev}$ ,  $K_s$ ,  $K_d$  y  $K_f$  toman los siguientes valores o expresiones:

$$L_{beh} = -18 \log\left(1 + \frac{\Delta h_{base}}{m}\right) \quad (3.15)$$

$$k_d = 18 \quad \text{Para } h_{base} > h_{roof} \quad (3.16)$$

$$= 18 - 15 \frac{\Delta h_{base}}{h_{roof}} \quad \text{Para } h_{base} < h_{roof}$$

$$k_f = -4 + 0,7 \left( \frac{f / MHz}{925} - 1 \right) \quad \text{Para entornos suburbanos} \quad (3.17)$$

$$= -4 + 1,5 \left( \frac{f / MHz}{925} - 1 \right) \quad \text{Para entornos urbanos (metrópolis densas)}$$

Finalmente  $\Delta h_{base}$  y  $\Delta h_{mobile}$  se definen como:

$$\Delta h_{base} = h_{base} - h_{roof} \quad (3.18)$$

$$\Delta h_{mobile} = h_{roof} - h_{mobile} \quad (3.19)$$

### Parámetros radioeléctricos Tx/Rx

En este apartado el usuario debe introducir las características radioeléctricas del sistema de transmisión utilizado en la BS y en la SS. Los parámetros que debe determinar el usuario son:

- Potencia de Tx (dBm)
- Ganancia de la antena Tx y la antena Rx
- Pérdidas por conectores, cables u otros (opcional)
- Figura de ruido (NF) del receptor (por defecto 5 dB)
- Margen de pérdidas (margen adicional de pérdidas que se utiliza para asegurar una mayor robustez del enlace ante situaciones críticas del canal, como por ejemplo zonas de sombra)

La herramienta calcula la PIRE efectiva, que permite comparar el valor con la normativa a aplicar en cada país/región.



## Resultados

A continuación se describen los procedimientos y ecuaciones utilizadas en el desarrollo de la herramienta. Para poder relacionar cada parámetro, se han anexado las capturas de pantalla en el apartado 1 del anexo.

### Indicador gráfico

El indicador gráfico permite observar el resultado de los cálculos de una manera más intuitiva y rápida, sin necesidad de acceder a las diferentes partes de la hoja de Excel.

Los parámetros varían según la opción de cálculo que haya sido escogida:

- Cálculo de capacidad máxima: se muestra el throughput máximo del sistema.
- Cálculo de zona de cobertura máxima: se muestra el radio de cobertura máximo en kilómetros, para la modulación y codificación seleccionada por el usuario .

### Valores específicos

#### *Opción 1 – Cálculos de capacidad*

Sensibilidad y SNR calculada

Para cada capa física el estándar define la sensibilidad mínima requerida según el BW y la modulación utilizada.

La herramienta Excel calcula para cada caso la mejor modulación posible a partir del análisis del *link budget* del sistema:

$$\text{Sensibilidad} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{path} - L_{usuario} - MF \quad (3.20)$$

Atendiendo al valor LB (*Link Budget*) obtenido y a los valores de sensibilidad mínima requerida, la herramienta selecciona una u otra modulación.

De forma directa, y definiendo la potencia de ruido (ecuación 3.22), se puede extraer directamente la SNR del sistema:

$$SNR = \text{Sensibilidad} - P_{ruido} \quad (3.21)$$

donde  $P_{ruido}$  se calcula en función de la densidad de ruido en el receptor, que se define a continuación:

$$P_{ruido} = -174 + 10 \log(BW) \quad (3.22)$$

A continuación se muestran las tablas de sensibilidad mínima en el receptor para cada una de las capas físicas definidas en el estándar [7]:

Modulación	BW 25 MHz	BW 20 MHz
QPSK	-76,02	-75,52
16-QAM	-69,02	-68,52
64-QAM	-60,02	-59,52

**Tabla 3.3.** Sensibilidad capa física IEEE 802.16-SCa

Modulación	Sensibilidad requerida (dBm)
BPSK	$-96,2 + 10 \cdot \log (BW)$
QPSK	$-93,2 + 10 \cdot \log (BW)$
16-QAM	$-86,2 + 10 \cdot \log (BW)$
64-QAM	$-80,2 + 10 \cdot \log (BW)$

**Tabla 3.6.** Sensibilidad capa física IEEE 802.16-OFDM

Modulación	Sensibilidad requerida (dBm) según BW (MHz)					
	1,75	3	3,5	5,5	7	10
BPSK 1/2	-94	-91	-91	-89	-88	-86
QPSK 1/2	-91	-88	-88	-86	-85	-83
QPSK 3/4	-89	-87	-86	-84	-83	-81
16-QAM 1/2	-84	-81	-81	-79	-78	-76
16-QAM 3/4	-82	-80	-79	-77	-76	-74
64-QAM 2/3	-77	-75	-74	-72	-71	-69
64-QAM 3/4	-76	-73	-73	-71	-70	-68

**Tabla 3.7.** Sensibilidad capa física IEEE 802.16 OFDMA

Modulación	Sensibilidad requerida (dBm) según BW (MHz)						
	1,25	3,5	7	14	28	10	20
QPSK 1/2	-90	-87	-84	-81	-78	-82	-79
QPSK 3/4		-84	-81	-78	-75	-79	-76
16-QAM 1/2		-80	-77	-74	-71	-75	-72
16-QAM 3/4	-80	-77	-74	-71	-68	-72	-69
64-QAM 2/3		-73	-71	-67	-64	-68	-65
64-QAM 3/4		-71	-68	-65	-62	-66	-63

Throughput y modulación aplicada

La modulación aplicada se extrae directamente de los cálculos de sensibilidad mínima. Para calcular el throughput, se aplican las ecuaciones siguientes:  
 Fórmulas para el cálculo del throughppput con modulación OFDM [7].

$$R_b = \frac{N \cdot \log_2(M) \cdot c}{T_{OFDM}} \quad (3.23)$$

Donde

$$T_{OFDM} = T_g + T_s \quad (3.24)$$

$$T_s = \frac{1}{\Delta f} = \frac{f_s}{N_{FFT}} = \frac{BW \cdot \alpha}{N_{FFT}} \quad (3.25)$$

Fórmulas para el cálculo del throughput con modulación de portadora sencilla (capas físicas SC y SCa) [7].

$$R_b = \frac{(BW - 0,0088) \cdot bpm \cdot R_{out} \cdot R_{in}}{(1 + \alpha)} \quad (3.26)$$

Donde

$a$  – factor de roll-off

$BW$  – ancho de banda

$bpm$  – número de bits por símbolo (1 en BPSK, 2 en QPSK, etc)

$R_{out}$  – tasa de código *Reed-Solomon* = 239/255

$R_{in}$  – tasa de código FEC

Superficie con cobertura

La superficie de cobertura se calcula suponiendo el área de un círculo, a partir del radio de cobertura introducida por el usuario.

*Opción 2 – Cálculos de cobertura*

Sensibilidad mínima requerida / SNR

La herramienta determina el valor de sensibilidad mínima que establece el estándar para una modulación seleccionada por el usuario. Viene determinada por la relación de potencia de ruido y sensibilidad mínima.

Distancia máxima de cobertura (LOS / NLOS)

A partir del margen calculado del análisis del *link budget*, la sensibilidad requerida y las ecuaciones de propagación (*Erceg*, *Cost 231* y *Free Space*), la herramienta determina la distancia máxima de cobertura en kilómetros. Para ello, se calcula el margen existente en dBs y se iguala a las pérdidas de canal.

Aislando el factor que determina la distancia de las ecuaciones de propagación se obtiene el radio máximo de cobertura

### Throughput

El cálculo de throughput en este caso es directo. El usuario determina el BW, la modulación, y el intervalo de guarda (GI) en OFDM o el factor de *roll-off* en SCa. Mediante las fórmulas presentadas en el apartado anterior la herramienta determina el throughput máximo.

### Margen de pérdidas

El margen de pérdidas viene determinado del análisis del link budget del enlace (ver ecuación 3.27)

$$Margen = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{tx} - L_{rx} - L_{path} - PN - MF \quad (3.27)$$

Donde:

- $P_{tx}$  – Potencia transmisor
- $L_{tx}$  – Pérdidas cables y conectores en el transmisor
- $G_{tx}$  – Ganancia de la antena transmisora
- $PN$  – Potencia de ruido en el receptor (ecuación 3.22)
- $G_{rx}$  – Ganancia de la antena receptora
- $L_{rx}$  – Pérdidas cables y conectores en el receptor
- $L_{path}$  – Pérdidas de propagación
- $MF$  – Margen de seguridad

### Parámetros de servicios a usuarios

El objetivo es definir una serie de servicios tipo que ofrecería una operadora cualquiera (ADSL, voz, multimedia, etc) y definir los requisitos de velocidad para cada uno de ellos. Junto a esto el usuario determina cual es la densidad de usuarios o clientes potenciales por kilómetro cuadrado.

Como resultado a estos parámetros en el apartado de valores absolutos, puede determinarse el número máximo de usuarios para un determinado servicio contratado, o el porcentaje de usuarios que recibirían el servicio para las características de capacidad introducidas.

Para más información ver el apartado en los subapartados de número de usuarios máximos según servicio contratado y porcentaje de usuarios con cobertura de servicio.

### Valores absolutos

Para el cálculo de los valores absolutos se determina, para el rango de los 0,1 a los 10 kms. En saltos de 100 metros (40 kms para modulación SC), todos los parámetros que afectan a la capacidad del sistema. De este modo se permite representar los valores absolutos del sistema, además de los específicos que desea calcular el usuario.

Es similar a obtener la capacidad total del sistema para una configuración de canal y de Tx/Rx determinada.

### Zona de cobertura máxima

Para todo el rango anteriormente descrito se realiza el análisis del *link budget* hasta determinar a qué distancia el sistema no llega a la sensibilidad mínima requerida para la modulación BPSK (la más robusta).

De este modo se puede determinar cual será el radio de cobertura máximo, y aplicando la suposición de que la zona de cobertura es similar a un círculo, se puede determinar la zona de cobertura máxima.

### Throughput máximo

Es el valor máximo obtenido para el throughput. Este valor siempre coincide con el throughput obtenido para la modulación existente a la distancia mínima de la BS, que en este caso es 0,1 km. Siempre y cuando sea posible por la atenuación del canal y las características del Tx/Rx, se asociará a la modulación de mayor calidad.

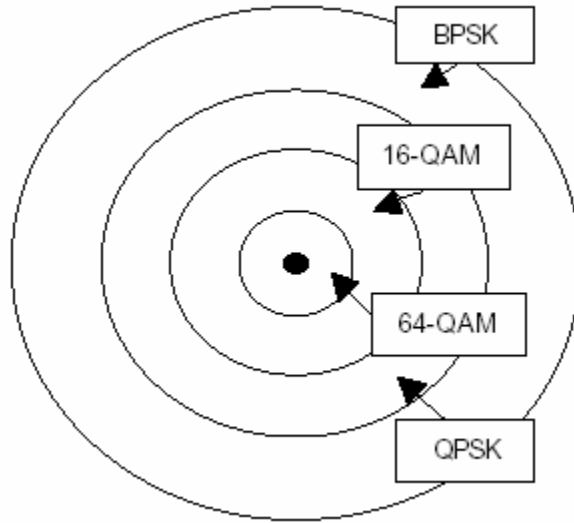
### Throughput promediado

El throughput promediado se calcula teniendo en cuenta que para cada modulación existe una zona de cobertura.

De este modo se calcula para cada modulación independiente el área de su zona de cobertura, y se aplica la siguiente ecuación:

$$\sum_1^I (\text{Superficie}_i \cdot \text{throughput } i) \quad (3.28)$$

Donde I identifica todas las modulaciones existentes



BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
2,91	5,94	8,91	11,88	17,82	23,76	26,73

Número de usuarios simultáneos

En el cálculo del número de usuarios simultáneos, como en el caso anterior, se realiza por cada zona de cobertura delimitada por cada modulación. Se aplica la densidad de usuarios definida por el usuario y se multiplica por la superficie de cada zona. La suma de todas las zonas de cobertura nos da el número total de usuarios simultáneos.

$$\sum_1^I (Superficie_i \cdot densidad\_usuarios) \tag{3.29}$$

Throughput medio por usuario

El throughput medio por usuario se calcula dividiendo la zona de coberturas en diferentes áreas según la modulación asociada a cada área. Conocido el throuhgput y el número de usuarios de cada una de las áreas, se puede calcular el throughput medio por usuario de cada área.

$$TM_i = \frac{Throughput_i}{usuarios_i} \tag{3.30}$$

Para calcular el valor total, se realiza un promediado de este valor, para cada área de modulación en función de los kilómetros cuadrados de cada una de ellas.

$$TM_i = \frac{\sum_1^I (TM_i \cdot \text{sup erficie}_i)}{\text{sup erficie}_{total}} \quad (3.31)$$

#### Número de usuarios máximo según servicio contratado

El número de usuarios máximo según servicio contratado se calcula a partir del valor de capacidad necesario según el servicio contratado (ver apartado anterior), y del throughput de cada área delimitadas por cada una de las modulaciones. Del cociente de ambos parámetros se establecen en número de conexiones máximas por cada área. La suma de todas ellas nos da el número de usuarios máximo.

#### Porcentaje de usuarios con cobertura de servicio

El porcentaje de usuarios que reciben el servicio contratado (determinado por la velocidad del servicio contratado) respecto al número de usuarios máximo (determinado por la densidad de usuarios elegida por el usuario).

Si el número de conexiones según el servicio supera al número total de clientes potenciales el valor obtenido es de 100%. Por el contrario si el número total de clientes potenciales supera al número de conexiones disponibles, el porcentaje de servicio será menor a 100%

#### Gráfico capacidad sistema vs. zona de cobertura

Representación del throughput máximo para el rango de los 0,1 a 10 kms (hasta los 40 kms en la opción de modulación SC 10 a 60 GHz) en intervalos de 0,1 km. Esta opción permite observar, según la distancia a la BS, el throughput máximo que ofrece el sistema.

### **Capa MAC**

La herramienta de Excel permite, además de extraer parámetros de capacidad relacionados con la capa física, definir el impacto de la capa MAC en términos de capacidad.

La opción de la capa MAC permite determinar los efectos del overhead introducido por la capa en el throughput del sistema. Para ello, y siguiendo una selección de parámetros similar a los de la capa física (BW, modulación, etc) se determina la eficiencia del sistema desde el punto de vista de la capa MAC.

El usuario selecciona la capa física sobre la que desea realizar los cálculos, y el sistema automáticamente obtiene los datos necesarios de la hoja correspondiente. Junto a esto, el usuario debe determinar también la duración de la trama, el modo de duplexado (FDD o

TDD) o la longitud máxima de un paquete IP. Se han añadido opciones para determinar el número de conexiones bidireccionales y el número de slots asignados para realizar peticiones BW y RNG [7].

La herramienta, como resultado ofrece el throughput en la capa física, y el de la capa MAC (teniendo en cuenta las cabeceras MAC), y realiza el cálculo del porcentaje que indica la eficiencia del sistema.

**Cálculo overhead MAC**

El cálculo del overhead añadido en la capa MAC, incluye además de la propia estructura de la PDU MAC, los preámbulos y otro tipo de overhead introducido en la capa física.

Según la estructura de tramas definidas en el apartado 3 del anexos, una trama que se envía por el canal radio, incluye una PDU PHY; esta PDU consta a su vez de un preámbulo, una cabecera y varios mensajes *broadcast* (en el enlace DL), además de las ráfagas correspondiente. Una ráfaga se compone de una PDU MAC (cabecera + carga + CRC). A su vez la PDU MAC carga paquetes ATM o IP (ethernet) según el tipo de capas superiores.

Ante todo este seguido de tramas, ráfagas y PDUs, se añade un seguido de cabeceras y otros datos que no transportan información, que reciben el nombre de overhead.

A continuación se define la estructura de una MAC PDU

Cabecera (6 bytes)	Carga de datos (0 – 2051 bytes)	CRC (4 bytes)
-----------------------	------------------------------------	------------------

Como se puede observar, el tamaño de la carga puede variar entre los 0 y los 2051 bytes. Puesto que de este valor depende en gran medida el overhead (OH) introducido por la MAC, se deja a elección de usuario el tamaño de los paquetes de capas superiores (ATM o IP). Por tanto, para cada PDU MAC se introduce un OH de 10 bytes (6 bytes de cabecera + 4 bytes de CRC).

En las siguientes tablas se muestran los valores de cada tipología de mensaje que se han tenido en cuenta para el cálculo del overhead [7].



	Mensaje	Número de bytes
Canal DL	Preámbulo	128
	UL MAP	$17 + 4 \cdot n$
	DL MAP	$24 + 5 \cdot n$
	DCD	$32 + 14 \cdot n$
	UCD	$28 + 15 \cdot n$
	Preámbulo trama TDMA	64 por cada trama
Canal UL	BW-REQ	10
	RNG-REQ	22
	Preámbulo trama TDMA	64 por cada trama

	Mensaje	Número de bytes
Canal DL	Preámbulo	192
	RxDS	64
	UL MAP	$18 + 7 \cdot n$
	DL MAP	$22 + 5 \cdot n$
	DCD	$34 + 18 \cdot n$
	UCD	$35 + 17 \cdot n$
Canal UL	BW-REQ	10
	RNG-REQ	22
	Preámbulo + RXDS	256 por cada trama

	Mensaje	Número de bytes
Canal DL	Preámbulo largo	48
	FCH (DLFP)	12
	UL MAP	$17 + 6 \cdot n$
	DL MAP	$18 + 4 \cdot n$
	DCD	$27 + 6 \cdot n$
	UCD	$37 + 11 \cdot n$
Canal UL	Preámbulo corto	24 por cada trama
	BW-REQ	10
	RNG-REQ	22

	Mensaje	Número de bytes
Canal DL	Preámbulo largo	48
	FCH (DLFP)	12
	UL MAP	17 + 7·n
	DL MAP	22 + 8·n
	DCD	68 + 7·n
	UCD	36 + 7·n
Canal UL	Preámbulo corto	24 por cada mensaje
	BW-REQ	10
	RNG-REQ	22

donde:

n – valor entero que identifica el número de conexiones bidireccionales

Para el modo de duplexado TDD se tienen en cuenta los periodos de guarda entre el canal de subida y el de bajada (RTG) y el periodo entre dos tramas consecutivas (TTD) cuyo valor se estima en 10 us.

De este modo las operaciones que se realizan son, en primer lugar, definir cuántos bytes existen en una trama de x segundos (duración de la trama seleccionada por el usuario). Este valor se corresponde con el término de bytes brutos.

$$Bytes\_brutos = R_b(Mbps) / 8 \cdot duraci3n\_trama \tag{3.32}$$

Teniendo en cuenta este valor se determina el número de PDUs MAC y con ello se determina el OH introducido (10 bytes por cada PDU). Adicionalmente se tiene en cuenta los valores de mensajes de control, cabecera y preámbulos introducidos en las capas inferiores (ver valores de las tablas anteriores).

Además se deben tener en cuenta los periodos destinados a slots de peticiones (BW y RNG) de la estación cliente (enlace UL). Para ello el usuario determina el porcentaje de la trama que se dedica a estos efectos.

$$OH_{PDU} = \frac{Bytes\_brutos}{Longitud\_paquete} \cdot 10 \tag{3.33}$$

El cálculo del OH se define para el duplexado TDD y FDD por separado, y en el caso de FDD se diferencia el canal UL y el DL. Las fórmulas son las siguientes [15]:

$$OH_{TDD} = P_{UL} + P_{DL} + T_{guard} + cabecera + B_{msg} + slots_{BW+RNG} + TTG + RTG + OH_{PDU} \tag{3.34}$$

$$OH_{FDD\_UL} = P_{UL} + T_{guarda} + slots_{BW+RNG} + OH_{PDU} \tag{3.35}$$

$$OH_{FDD\_DL} = P_{DL} + T_{guarda} + cabecera + B_{msg} + OH_{PDU} \quad (3.36)$$

donde  $PUL$  y  $PDL$  son los preámbulos del canal UL y DL respectivamente,  $Tguard$  son los periodos de guarda y espera (RxDS, sincronismo, etc),  $Bmsg$  son los bytes de control *broadcast* (UL MAP, DL MAP, UCD y DCD) y  $slotsBW+RNG$  son los slots correspondientes a peticiones de estaciones cliente (ver apartado 3.6 del anexo), el término *cabecera* hace referencia al campo FCH para los casos OFDM/OFDMA, y el cálculo del  $OH_{PDU}$  hace referencia a la ecuación 3.33.

Por último de la diferencia entre los bytes brutos y el OH introducido se obtienen los bytes netos. La relación entre bytes brutos y netos nos da el valor de OH en porcentaje, según la ecuación siguiente:

$$Bytes\_netos = Bytes\_brutos - OH \quad (3.37)$$

$$eficiencia (\%) = \frac{Bytes\_brutos - Bytes\_netos}{Bytes\_brutos} 100 \quad (3.38)$$

### 3.12 SIMULACIONES PARA EL ANÁLISIS DE UNA RED WiMAX

En este apartado, se diseñará una red WiMAX con varias estaciones base para proveer servicio a una zona geográfica limitada. El objetivo es realizar simulaciones de cobertura radioeléctrica en tres escenarios diferentes (*outdoor* e *indoor*), y realizar el análisis de interferencias de la red utilizando diferentes técnicas que disminuyan este efecto.

Para ello se utilizará la herramienta ICS Telecom (ATDI) que incorpora la última tecnología en desarrollo de redes de telecomunicación, siendo compatible con el sistema WiMAX.

#### Parámetros del software

La herramienta utilizada para la simulación del despliegue de una red WiMAX es ICS Telecom (ATDI). Es un software de simulación de radiofrecuencia basado en un sistema de información geográfica. Su objetivo es estimar o predecir el comportamiento de los parámetros de configuración de las tecnologías más empleadas en las telecomunicaciones radio. Para ello utiliza un conjunto de algoritmos para cada aspecto particular, logrando una alta precisión en sus resultados.

El software de simulación ICS Telecom permite realizar análisis de cobertura, planeación de frecuencias, análisis de interferencias, calidad del servicio, o la estimación de las mejores localizaciones de las distintas estaciones, entre otros.

La información geográfica escogida pertenece a la zona Toluca. Dicha cartografía indica información referente a las cotas altimétricas del suelo, y la altura de los edificios, permitiendo realizar simulaciones NLOS.

A continuación se muestra el plano de la zona a simular:

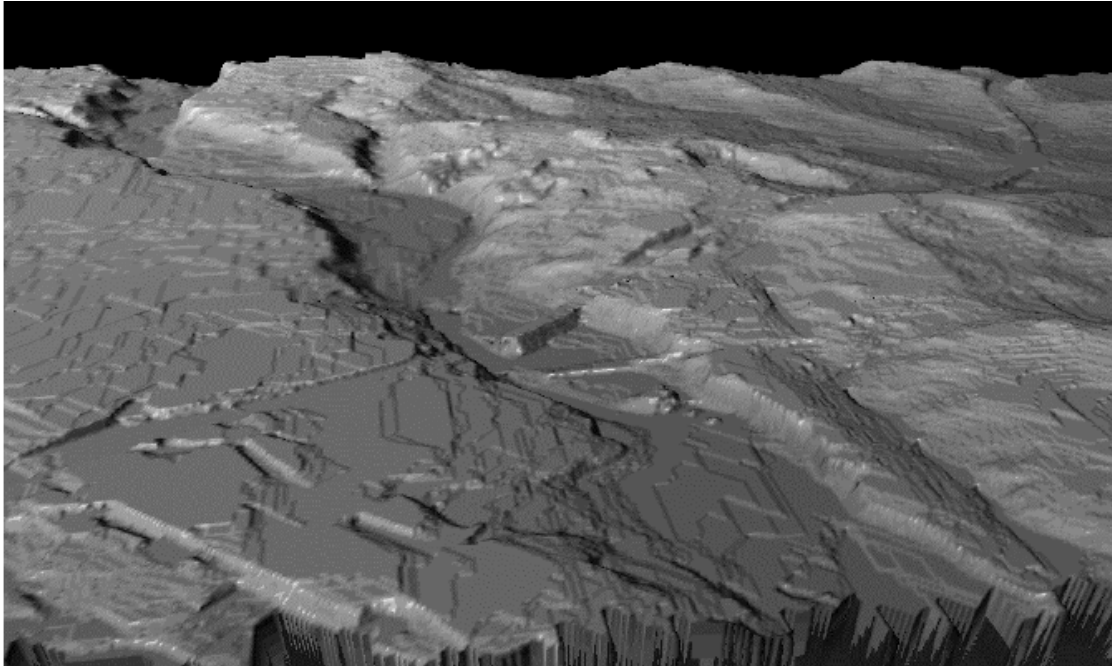


Fig. 4.1. Vista en 3D del terreno digital

### 3.14. CARACTERÍSTICAS RED WiMAX

La red se ha diseñado teniendo en cuenta emplazamientos ya existentes de GSM / UMTS y otros elegidos al azar con unas condiciones mínimas. Se han definido un total de siete emplazamientos.

Todos ellos conformaran una topología de 4 sectores separados 90 grados, y orientados a 45, 135, 225 y 315 grados (configuración típica de sistemas PMP).

Las antenas se ubicaran sobre mástiles de 5 o 7,5 metros de altura o sobre torres de 30 metros de altura dependiendo de si éstas se ubican sobre el suelo o sobre la azotea de un edificio.

En cuanto a los modelos de propagación escogidos, se ha optado por un modelo estadístico, el cual nos permite realizar una simulación más precisa teniendo en cuenta la información que ofrece la cartografía utilizada. La configuración elegida es la siguiente [16]:

Modelo de propagación → Recomendación ITU-R 525

Modelo de difracción → Deygout 94

Atenuación por climatología → Recomendaciones ITU-R 626 y ITU-R 840

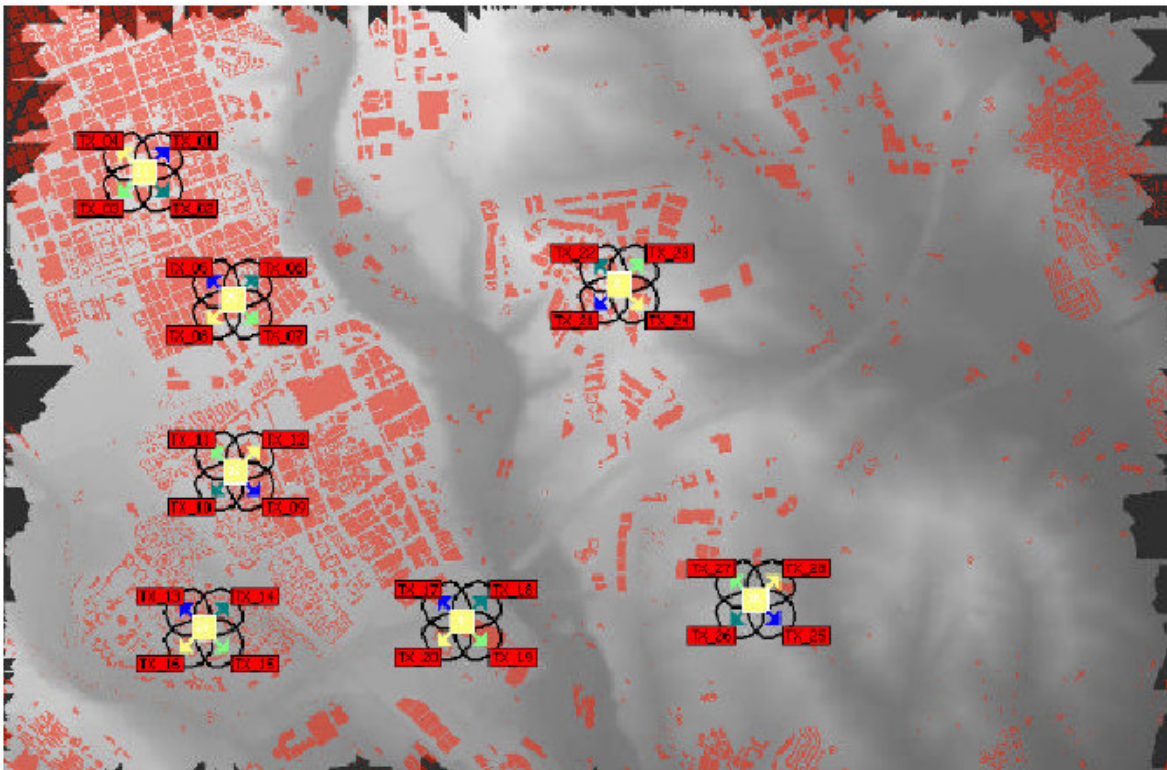
Se han realizado dos tipos de simulaciones, según la sensibilidad del receptor.

El estándar 802.16 establece unos requerimientos mínimos de sensibilidad en el receptor, mientras que los fabricantes han puesto a la venta sistemas que mejoran estos requerimientos mínimos. Se realizará una comparativa entre los requerimientos mínimos que dicta el estándar y los valores del fabricante Alvarion en su sistema BreezeMAX [17]. En la tabla siguiente se muestran los

niveles de sensibilidad mínimos en cada caso, en unidades de potencia (dBm) y de densidad de campo (dBuV/m).

	IEEE (dBm)	IEEE (dBuV/m)	Alvarion (dBm)	Alvarion (dBuV/m)
BPSK 1/2	-91	57,1	-100	48,1
QPSK 1/2	-88	60,1	-97	51,1
QPSK 3/4	-86	62,1	-94	54,1
16QAM1/2	-81	67,1	-91	57,1
16QAM 3/4	-79	69,1	-88	60,1
64QAM 2/3	-74	74,1	-83	65,1
64QAM 3/4	-73	75,1	-82	66,1

Finalmente en la siguiente figura se puede observar la configuración final y distribución de los diferentes emisores.



La ubicación y orientación de cada una de las BS con sus respectivos sectores se puede observar en la siguiente tabla:

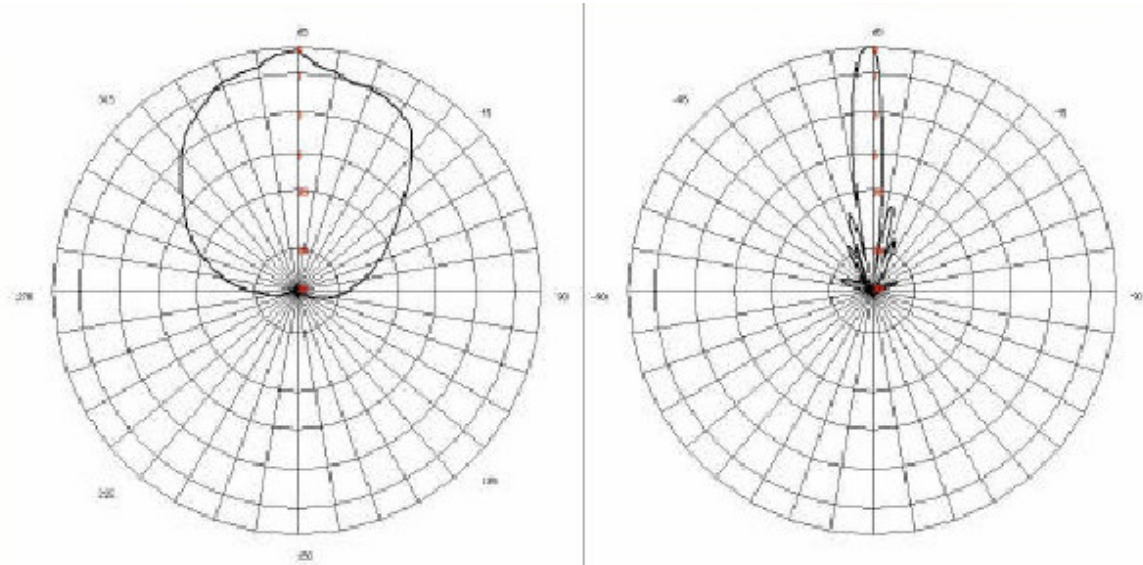
#BS	Pos – x,y	#TX	Azimut	#BS	Pos – x,y	#TX	Azimut
1	426173 4598474	1	45	5	428067 4595814	17	315
		2	135			18	45
		3	225			19	135
		4	315			20	225
2	426706 4597719	5	315	6	428988 4597809	21	225
		6	45			22	315
		7	135			23	45
		8	225			24	135
3	426538 4596702	9	135	7	429800 4595940	25	135
		10	225			26	225
		11	315			27	315
		12	45			28	45
4	426538 4595773	13	315				
		14	45				
		15	135				
		16	225				

**Características radioeléctricas**

Para la elección de las características radioeléctricas de los transmisores se ha optado por la utilización de valores reales que en la actualidad está utilizando una operadora de servicios pre-WiMAX

Datos técnicos	Valor
Potencia PIRE total (W)	7,943
Frecuencia de emisión (MHz)	3500
Banda útil (MHz)	3,5
Ganancia antena (dBi)	14
Azimut	45°
	135°
	225°
	315°
Amplitud de haz vertical (-3 dB)	90°
Amplitud de haz horizontal (-3 dB)	8°
Downtilt (°)	0°

El diagrama de radiación de las antenas se muestra a continuación [18]:



### 3.14 ANÁLISIS COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Se han definido diferentes escenarios con el objetivo de representar unos resultados alternativos a la herramienta excel desarrollada en el capítulo anterior. Para ello se han definido los siguientes escenarios:

- Outdoor → antena situada en terraza de edificio. Se establece una ganancia de la antena receptora de 10 dBi.
- Outdoor → antena situada en el exterior del edificio en el piso del cliente. Se establece una ganancia de la antena receptora de 3 dBi (se supone una altura media de 5 metros para una primera planta – peor caso posible).
- Indoor → antena auto instalable situada en el interior. Se establece una atenuación extraordinaria causada por la propia estructura del edificio. Se establece una ganancia de la antena receptora de 0 dBi. Se considera que la altura del dispositivo receptor será de 1,5 metros (peor caso posible)

### Resultados simulaciones

A continuación se presentan los resultados de la cobertura radioeléctrica obtenida en las simulaciones con el software ICS Telecom de una red WiMAX en un entorno real.

#### Escenario 1

El escenario primero hace referencia a la simulación de una configuración *outdoor* de la antena receptora situada sobre el edificio, con ganancia típica de

10 dBi. Se consideran los valores de sensibilidad en el receptor presentados en apartados anteriores, y con ellos se representa el mapa de cobertura de superficie para cada una de las modulaciones.



Se tiene en cuenta para la representación de los resultados, que las antenas únicamente se sitúan en la azotea o tejado del edificio, por lo tanto el porcentaje de cobertura que a continuación se representa es sobre la superficie que ocupan estos edificios.

Modulación	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	3,16%	4,15%
QPSK 1/2	1,15%	3,41%
QPSK 3/4	3,03%	3,31%
16QAM 1/2	1,33%	2,24%
16QAM 3/4	9,41%	3,01%
64QAM 2/3	1,85%	0,59%
64QAM 3/4	61,25%	74,61%
Cobertura total	82,38%	91,31%

**Escenario 2**

Para el escenario 2 se ha optado por elegir un equipo de usuario compacto y exterior (*outdoor*) de fácil instalación puesto que su ubicación es la ventana, y por lo tanto no existe necesidad de situar una antena en la azotea.

Para ello se ha optado por definir una altura media de situación del equipo de 5 metros de altura respecto al suelo (equivalente a un primer piso de un edificio).

La antena receptora integrada posee una ganancia de 3 dBi.

Para definir los resultados se tiene en cuenta la cobertura de la zona completa de la cartografía, sin tener en cuenta el espacio que ocupan los edificios (hay que recordar que el equipo receptor se sitúa en el exterior de los mismos).

Modulación	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	5,22%	3,61%
QPSK 1/2	2,47%	3,96%
QPSK 3/4	5,41%	4,20%
16QAM 1/2	2,01%	3,83%
16QAM 3/4	12,48%	5,90%
64QAM 2/3	4,55%	1,01%
64QAM 3/4	46,08%	66,09%
Cobertura total	78,22%	88,60%

**Escenario 3**

El escenario tercero corresponde a un sistema *indoor*. El equipo se sitúa en el interior del edificio y resulta ser un equipo compacto auto instalable por el usuario (conexión usb o ethernet a PC).

En este escenario es obligatorio tener en cuenta la atenuación por penetración en edificio (se ha definido una atenuación de 400 dB/km). Junto a esto, se ha definido que la antena receptora tendría una altura de 1,5 respecto al suelo, esto es así porque se pretende representar el peor caso (un dispositivo receptor situado en una planta baja de un edificio). Puesto que la antena se encuentra integrada en el receptor, la ganancia definida es de 0 dBi.

Para representar los resultados se ha tenido en cuenta únicamente la cobertura en los edificios, y por tanto los porcentajes representados hacen referencia, como en el escenario 1, a la superficie ocupada por los edificios dentro de la cartografía

Modulación	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	6,85%	4,56%
QPSK 1/2	3,71%	4,09%
QPSK 3/4	10,28%	4,76%
16QAM 1/2	4,53%	5,19%
16QAM 3/4	11,26%	9,66%
64QAM 2/3	2,02%	2,11%
64QAM 3/4	14,63%	34,68%
Cobertura total	53,28%	65,05%

Se observa que el grado de cobertura obtenido es bastante importante, sobretodo en el caso del escenario 1, en el que las antenas receptoras se encuentran situadas sobre el edificio.

La modulación más empleada en todos los escenarios es la 64QAM 3/4 con la que se obtiene una capacidad del sistema máxima. En zonas donde la cobertura resulta más difícil, se imponen el resto de modulaciones (más robustas pero menos eficientes).

Los planos de cada uno de los escenarios se adjuntan en el anexo del documento.

Los resultados, como era de prever, indican que la cobertura es mayor en un sistema donde se han instalado equipos BrezeeMAX que en equipos que cumplan las especificaciones IEEE. Esto es porque la sensibilidad de los primeros mejoran notablemente los requerimientos mínimos presentados en el estándar.

### Comparativa de resultados

El objetivo de este apartado es comparar los resultados obtenidos con la herramienta Excel con los obtenidos simulando con el software ICS Telecom.

Para cada uno de los tres escenarios anteriormente presentados se introducen valores de alcance simulando las condiciones similares y para dos estaciones bases que caracterizaran el entorno suburbano y el entorno rural respectivamente.

Las condiciones de la comparación para cada uno de los escenarios son las siguientes:

Escenario	Altura Tx	Altura Rx	Ganancia Rx	Atenuación edificios
1	35 m	10 m	10 dBi	0
2	35 m	5 m	3 dBi	0
3	35 m	1,5 m	0 dBi	10 dB

Para el caso del entorno rural (estación base BS #6), la altura de la antena emisora es 35m, y el tipo de terreno seleccionado en el Excel es "Rural (densidad media de obstáculos)" relacionado con el modelo de propagación Erceg (terreno tipo B). Los cálculos obtenidos se han realizado obteniendo el porcentaje de superficie con cobertura respecto a un círculo de radio 2 kilómetros, lo que equivale a una superficie de 12,56 km<sup>2</sup>. Esto permite realizar una comparativa más objetiva entre el resultado de las simulaciones y los valores del Excel. A continuación se muestran los resultados obtenidos en un entorno rural.

	SIMULACION		EXCEL	
	IEEE	ALVARION	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	4,02	5,30	21,46	0,00
QPSK 1/2	1,76	3,88	10,79	0,00
QPSK 3/4	1,69	3,56	18,63	25,19
16QAM 1/2	0,46	2,89	4,95	20,81
16QAM 3/4	4,92	2,96	9,08	22,67
64QAM 2/3	2,33	0,26	1,38	3,27
64QAM 3/4	62,53	70,48	10,90	28,10
TOTAL	77,7	89,34	77,20	100,05

	SIMULACION		EXCEL	
	IEEE	ALVARION	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	7,98	5,05	6,44	18,01
QPSK 1/2	3,75	7,23	3,62	13,39
QPSK 3/4	6,97	6,12	6,03	9,72
16QAM 1/2	2,07	5,90	1,65	6,44
16QAM 3/4	6,74	8,32	2,76	7,50
64QAM 2/3	3,29	1,25	0,39	1,26
64QAM 3/4	44,00	53,96	3,61	9,31
TOTAL	71,54	87,85	24,51	65,64

	SIMULACION		EXCEL	
	IEEE	ALVARION	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	5,73	4,13	1,08	2,95
QPSK 1/2	3,39	3,33	0,47	2,00
QPSK 3/4	8,66	4,09	0,93	1,49
16QAM 1/2	3,69	4,38	0,32	1,08
16QAM 3/4	9,10	8,46	0,36	1,16
64QAM 2/3	1,84	1,76	0,08	0,12
64QAM 3/4	10,45	26,91	0,56	1,44
TOTAL	42,85	53,06	3,80	10,25

Se observa como los resultados obtenidos para cada una de las modulaciones son muy dispares entre los obtenidos mediante simulación y los obtenidos de la herramienta Excel. Por el contrario, los resultados globales que expresan porcentaje de cobertura total, son muy parejos para los escenarios 1 y 2. En el escenario 3, los resultados globales obtenidos son también muy dispares.

Para el caso en el que se intenta simular una estación base en un entorno urbano, se ha optado por la estación base BS #2. La altura de la antena emisora es 35m, como en el ejemplo anterior, y el tipo de terreno seleccionado en la herramienta Excel es “suburbano (densidad media de obstáculos)” relacionado con el modelo de propagación Cost 231 W-I. Para extraer los resultados, se ha escogido una superficie equivalente a un círculo de radio 1 kilómetro (3,14 km<sup>2</sup>). Lo cual nos permite realizar una comparativa más exhaustiva dado que los resultados basados en la simulación son muy irregulares como para realizar otro tipo de comparativa.

Los resultados obtenidos en ambos casos se presentan a continuación.

	SIMULACION		EXCEL	
	IEEE	ALVARION	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	6,52	7,59	13,52	--
QPSK 1/2	2,43	4,18	17,61	--
QPSK 3/4	5,79	4,73	31,70	--
16QAM 1/2	1,80	4,56	8,05	9,75
16QAM 3/4	2,88	6,17	13,17	42,66
64QAM 2/3	0,34	1,15	1,56	5,36
64QAM 3/4	47,66	53,56	14,45	42,27
TOTAL	67,40	81,95	100	100

	SIMULACION		EXCEL	
	IEEE	ALVARION	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	12,95	20,76	11,01	26,05
QPSK 1/2	4,30	15,04	5,64	22,13
QPSK 3/4	6,37	13,09	8,47	15,85
16QAM 1/2	1,62	9,15	2,48	11,01
16QAM 3/4	2,54	8,45	4,00	11,32
64QAM 2/3	0,49	1,15	0,41	1,44
64QAM 3/4	7,73	13,45	4,00	12,26
TOTAL	36,00	81,09	36,02	100

	SIMULACION		EXCEL	
	IEEE	ALVARION	IEEE	ALVARION
BPSK 1/2	8,68	7,89	1,84	5,53
QPSK 1/2	3,79	6,58	1,17	3,96
QPSK 3/4	8,52	6,89	1,28	2,75
16QAM 1/2	2,94	6,38	0,52	0,00
16QAM 3/4	6,14	9,17	0,63	4,00
64QAM 2/3	0,93	1,61	0,17	0,29
64QAM 3/4	5,13	16,66	0,64	1,96
TOTAL	36,15	55,15	6,25	18,50

Los resultados obtenidos, como en el caso del entorno rural, muestran disparidad entre los porcentajes relativos a cada simulación. Pero en el caso del resultado total, los valores son parejos para los escenarios 1 y 2, mientras que para el escenario 3 (*indoor*) los resultados son muy diferentes.

Por tanto, los resultados obtenidos permiten determinar que la herramienta Excel, determina correctamente las distancias siempre y cuando el medio utilizado se aproxime a la realidad. Se debe tener en cuenta, que la herramienta Excel utiliza

modelos de propagación teóricos, y por tanto sólo son válidos en una tipología de escenario determinado. Por otra parte, el software de planificación radio realiza la cobertura a partir de un modelo de rayos, sobre una cartografía en 3D, y que por tanto se tienen en cuenta atenuaciones por difracción y reflexión sobre edificios y suelo, parámetros que en modelos teóricos no son tenidos en cuenta y por tanto no permiten determinar de manera fehaciente los resultados.

De todos modos, de los resultados obtenidos se puede determinar que el comportamiento de la herramienta es mucho mejor para escenarios outdoor que para el escenario indoor, debido también a que los modelos de propagación utilizados para generar los cálculos de radios de cobertura, son modelos de exterior.

Por tanto, la herramienta Excel permite determinar aproximadamente el alcance de la cobertura, pero no es su objetivo el predecir el comportamiento de la red sobre un escenario real. Así pues, permite determinar cualitativamente el alcance del sistema, pero no cuantitativamente. A tenor de los resultados observados, para planificaciones con más detalle y definidas de un modo más cuantitativo es necesario utilizar un modelo real con una herramienta de simulación.

### 3.15 Análisis de interferencias

Una de las grandes ventajas que debe tener WiMAX respecto a otras tecnologías es la capacidad de reducir las interferencias con un rehusó de frecuencias de 1 o 2, manteniendo una alta capacidad.

Para mantener una relación entre capacidad y interferencias del sistema, se opta por una configuración sectorizada y basada en celdas, puesto que permite realizar una asignación de frecuencias mas eficaz.

El objetivo de este apartado es determinar cuales son las interferencias por canal y entre canales adyacentes, garantizando de esta manera unos niveles mínimos de C/I.

Para ver la importancia del rehusó de las frecuencias y la polarización se han realizado diferentes simulaciones:

- Simulación 1 → todas las BS transmiten a la misma frecuencia y polaridad
- Simulación 2 → Se aplica rehusó de polarización
- Simulación 3 → Se aplica rehusó de polarización y de frecuencia (2 canales)
- Simulación 4 → Se aplica rehusó de polarización y de frecuencia (4 canales)
- Simulación 5 → Se aplica rehusó de frecuencia (2 canales)
- Simulación 6 → Se aplica rehusó de frecuencia (4 canales)

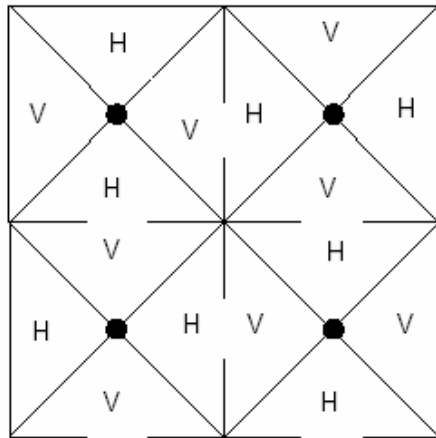
Para la realización de las simulaciones se ha definido una relación C/I entre canales de 14 dB para canal adyacente y -20 dB para segundo canal adyacente (valores definidos en el estándar), con una separación entre canales de 1,5 MHz.

Los resultados obtenidos se pueden observar en los siguientes apartados.

**Rehúso de polarización**

Se utiliza la discriminación por polarización de antena. Consiste en asignar una polarización diferente (horizontal y vertical) entre sectores adyacentes de forma alternativa.

El modelo teórico [19] se presenta en la figura 4.5, donde se puede observar la asignación de polaridad a cada sector de forma que no coincida la misma en dos sectores adyacentes ni dos celdas contiguas.

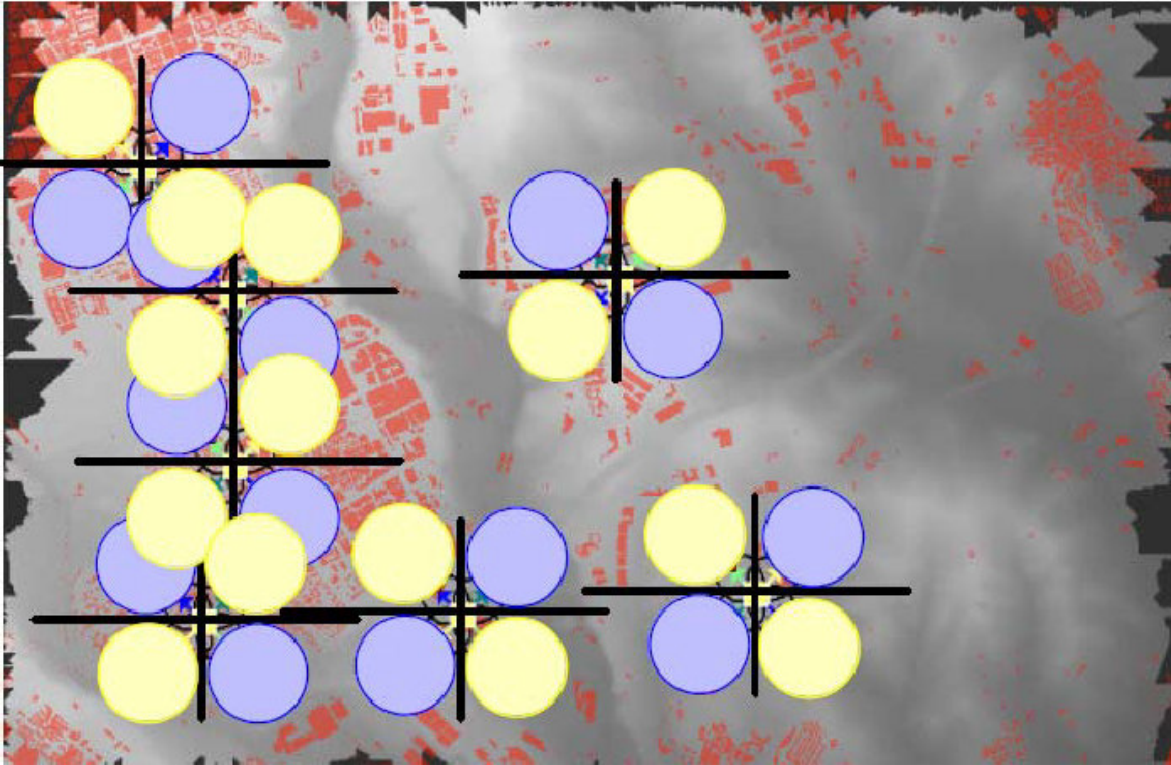


Las antenas utilizadas definen una discriminación por polarización de 23 dB .

De este modo la asignación de polarizaciones según el sector transmisor se ha hecho de la siguiente forma:

TX_1	V	TX_8	H	TX_15	H	TX_22	V
TX_2	H	TX_9	V	TX_16	H	TX_23	H
TX_3	V	TX_10	H	TX_17	H	TX_24	V
TX_4	H	TX_11	V	TX_18	V	TX_25	H
TX_5	V	TX_12	H	TX_19	H	TX_26	V
TX_6	H	TX_13	H	TX_20	V	TX_27	H
TX_7	V	TX_14	V	TX_21	H	TX_28	V

A continuación se muestra la representación en la cartografía



### Rehúso de frecuencia

En México solo Axtel y Telmex tienen licencias en la banda de 3,4 a 3,6 MHz. Cada licencia tiene asignado 20 MHz + 20 MHz, con una separación de 100 MHz.

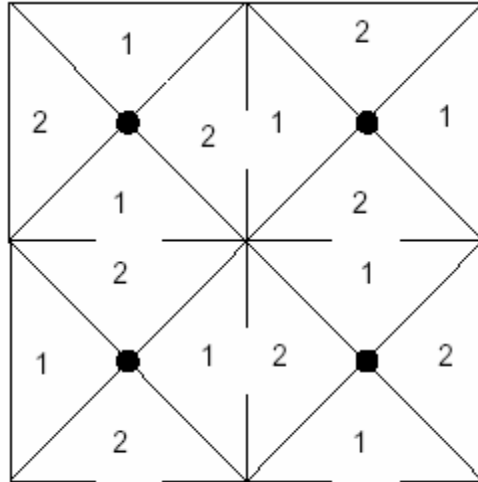
Para realizar la asignación de frecuencias se tendrá en cuenta que se dispone de un ancho de banda de 20 MHz, y en este caso se ha elegido la banda de 3500-3520 MHz [20].

El software de planificación radio, permite asignar frecuencias automáticamente de forma que las interferencias se minimicen. Ésta es la opción utilizada para obtener los resultados de los diferentes escenarios en los que se podrá observar que con el aumento del factor rehúso, se reducen notablemente las interferencias.

A continuación se presentan los escenarios para rehúso con 2 y 4 frecuencias.

En el caso de rehúso de frecuencias, como en el de polaridades, los canales se asignan alternativamente de tal manera que dos sectores contiguos no utilicen el mismo canal. De esta manera, para un rehúso de frecuencias con dos canales de frecuencia el modelo teórico se presenta en la figura 4.7.

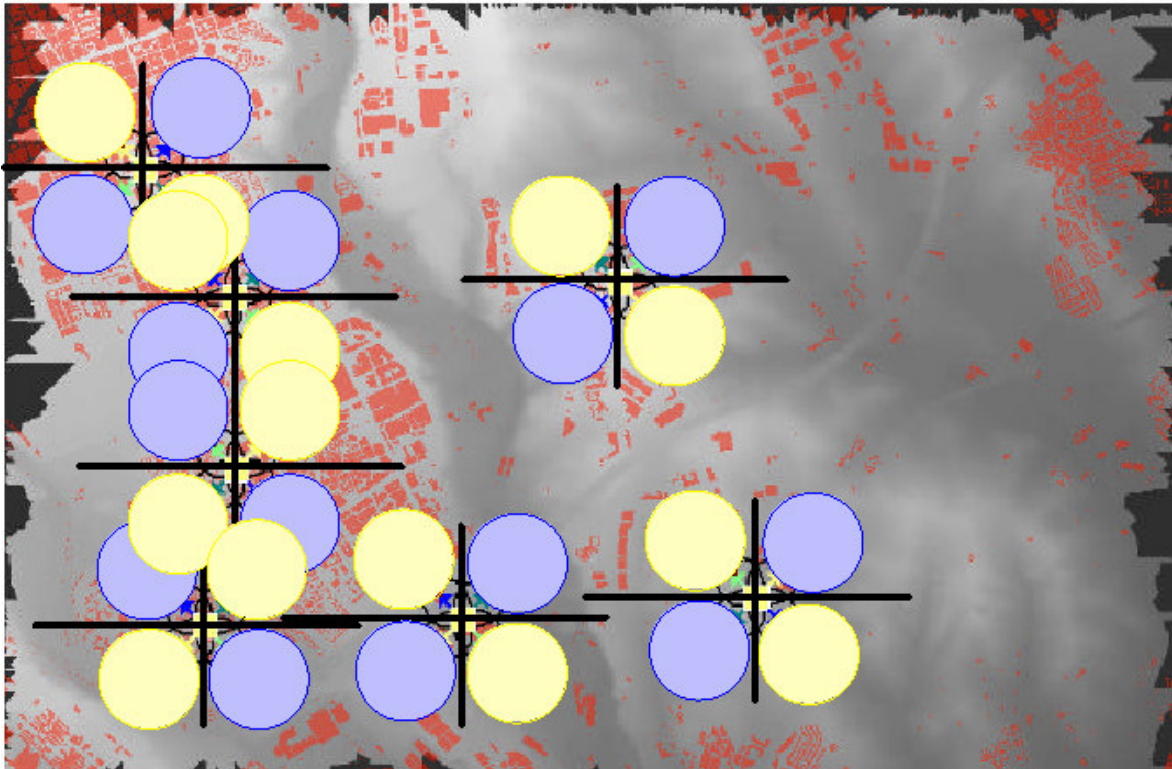




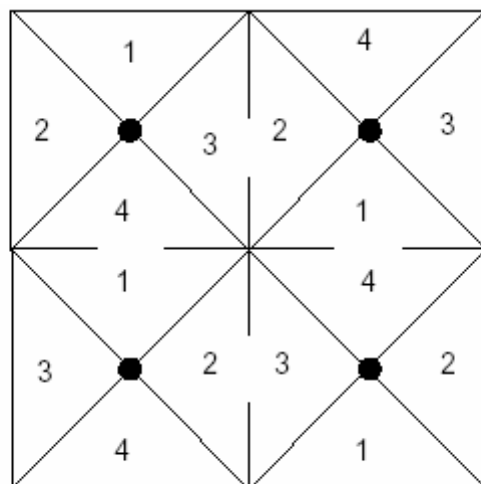
La tabla siguiente muestra los resultados de asignación obtenidos mediante el software. Se puede observar como a cada estación base le son asignadas dos frecuencias de forma que en dos sectores adyacentes no coincide la misma frecuencia.

TX_1	F1	TX_8	F1	TX_15	F1	TX_22	F2
TX_2	F2	TX_9	F1	TX_16	F2	TX_23	F1
TX_3	F1	TX_10	F2	TX_17	F2	TX_24	F2
TX_4	F2	TX_11	F1	TX_18	F1	TX_25	F2
TX_5	F2	TX_12	F2	TX_19	F2	TX_26	F1
TX_6	F1	TX_13	F1	TX_20	F1	TX_27	F2
TX_7	F2	TX_14	F2	TX_21	F1	TX_28	F1

En la imagen de abajo se observa el resultado de una forma más visual y mas intuitiva. En color azul se muestra la asignación de la frecuencia F1 y en color amarillo la frecuencia F2. Los resultados mostrados, es el escenario optimizado para minimizar las interferencias que se ha obtenido a partir de la función de planificación de frecuencias que ofrece el software de planificación radio



Para 4 canales de frecuencia el modelo teórico es el que se muestra en la figura 4.9. Existen cuatro frecuencias que son asignadas una a cada sector, teniendo en cuenta que en dos celdas adyacentes no coincidan en el mismo sector y la misma frecuencia.



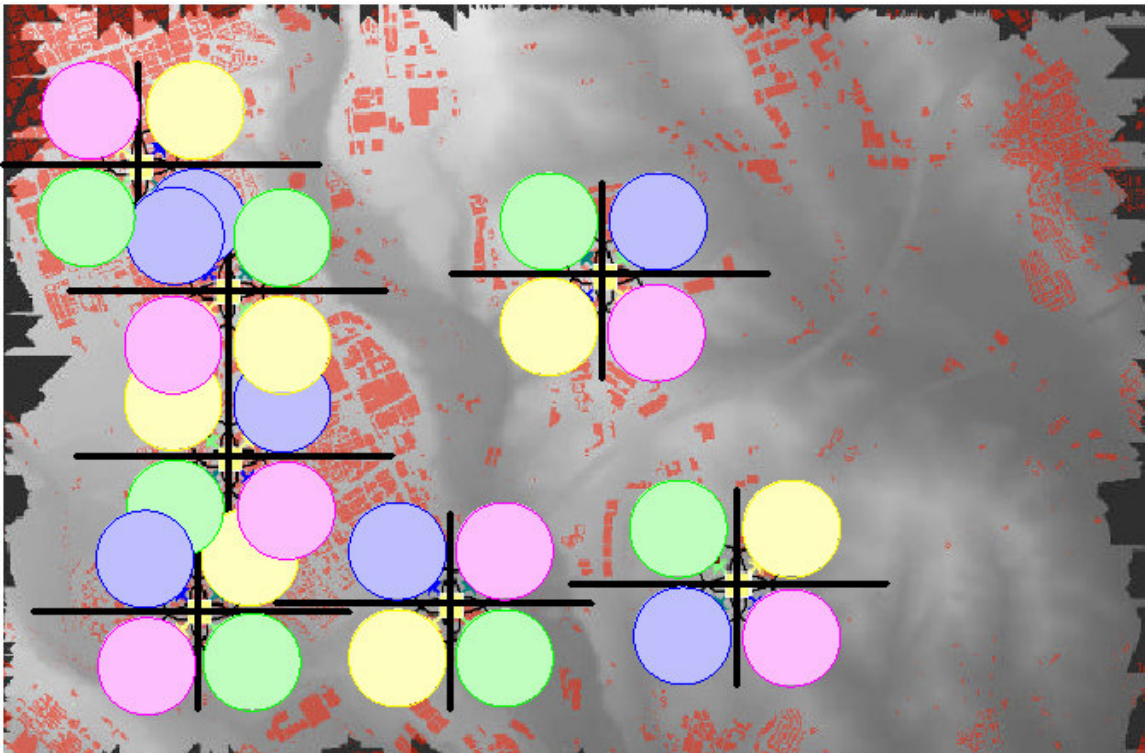
El resultado obtenido se muestra en la siguiente tabla.

TX_1	F2	TX_8	F3	TX_15	F4	TX_22	F4
TX_2	F1	TX_9	F3	TX_16	F3	TX_23	F1
TX_3	F4	TX_10	F4	TX_17	F1	TX_24	F3
TX_4	F3	TX_11	F2	TX_18	F3	TX_25	F3
TX_5	F1	TX_12	F1	TX_19	F4	TX_26	F1
TX_6	F4	TX_13	F1	TX_20	F2	TX_27	F4
TX_7	F2	TX_14	F2	TX_21	F2	TX_28	F2

Hay que recordar, que la asignación de frecuencias la ha realizado automáticamente el software para minimizar las interferencias, y que por tanto, cumple con el modelo teórico a aplicar en el rehúso de frecuencias (asignar una frecuencia diferente a cada sector).

En este caso el color amarillo representa la frecuencia F1, el azul la frecuencia F2, el verde la frecuencia F3 y el magenta la frecuencia F4.

Se observa también que en ninguna estación base han sido asignadas dos frecuencias iguales, y por tanto las interferencias intra-celda se reducen notoriamente.



## Resultados

A continuación se muestran los resultados de porcentaje de superficie afectada por interferencias para los seis escenarios definidos, según las restricciones de C/I definidos con anterioridad.

Simulación	Características de simulación	Porcentaje de superficie con interferencias
1	Sin reuso polarización y frecuencia	98,1 %
2	Reuso de polarización (H-V)	40,4%
3	Reuso pol. y frecuencia (2 canales)	9,1%
4	Reuso pol. y frecuencia (4 canales)	1,3%
5	Reuso frecuencia (2 canales)	39,9%
6	Reuso frecuencia (4 canales)	8,2%

Los resultados muestran lo esperado. Cuanto mayor es el número de frecuencias utilizado, menor es la superficie afectada por interferencias.

De este modo, se puede observar también que un rehúso con dos frecuencias actúa de forma similar a un rehúso con polarización. Con la combinación de ambas técnicas se obtienen los mejores resultados.

Así pues, el resultado óptimo es utilizar rehúso en polarización y en frecuencia, siendo conscientes de que cuanto mayor es el número de frecuencias diferentes menor son las interferencias.

### 3.16 RESULTADOS DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto era analizar la tecnología WiMAX desde el punto de vista de su capacidad. Para ello se ha desarrollado una herramienta en Excel que permite definir, según especificaciones del estándar IEEE 802.16-2004, la capacidad del sistema. Para ello se han elegido diferentes parámetros que pudieran indicar cuantitativamente la capacidad del sistema. Los parámetros definidos son entre otros, el radio de cobertura, la velocidad de transmisión, el número de usuarios y de servicios simultáneos, la superficie de cobertura, etc.

Se han tenido en cuenta diversos aspectos representativos de los sistemas radio:

- Las características de la arquitectura del sistema WiMAX:
  - Se han definido las cuatro capas físicas que se describen en el estándar, SC (10-60GHz), SC (<11 GHz), OFDM-256 FFT y OFDMA-2048 FFT
  - Se ha determinado, desde el punto de vista de capacidad la influencia de la capa MAC
- Características regulatorias del espectro
  - Se han definido los diferentes rangos del espectro disponibles en todos los continentes para esta tecnología, el tipo de duplexado y si la frecuencia central requiere o no licencia
- Características del canal radio
  - Se han tenido en cuenta los diferentes modelos de propagación definidos para la tecnología (Espacio libre, Cost 231 W-I y Erceg)
  - Adicionalmente se ha tenido en cuenta elementos adicionales que afectan al sistema radio (altura del transmisor y del receptor, influencia de atenuaciones por meteorología, pérdidas por cables u otros elementos, etc)
- Características de la modulación y codificación
  - Se han analizado todas las posibilidades que permite el estándar en cuanto a modulación y codificación, que de una manera directa, definen cual es la velocidad de transmisión del sistema
- Otras funcionalidades desarrolladas
  - Adaptación dinámica de la modulación / codificación
  - Relación entre usuarios, throughput y servicio

Todo ello ha permitido el desarrollo de la herramienta Excel, que permite al usuario, de una forma rápida e intuitiva, conocer las características reales de un sistema WiMAX, sirviendo de apoyo en el desarrollo de redes basadas en esta tecnología.

Junto al análisis teórico del estándar realizado, que ha permitido la elaboración de la herramienta, se ha realizado un estudio teórico/práctico basado en un seguido de simulaciones realizadas con un software especializado, que permiten analizar la red de una forma alternativa a la herramienta Excel, y realizar una

comparativa entre ellas. También permite realizar el análisis de interferencias de una red completa.

Los resultados obtenidos reflejan que las capacidades reales del sistema WiMAX no son los 72 Mbps de capacidad ni los 50 kms de alcance que se indican en muchos medios. El radio típico de cobertura para un entorno rural es de 2 o 3 kms, mientras que en un entorno urbano, éste se puede reducir hasta 1 km. La capacidad del sistema se ve reducida en función de la distancia a la estación base. De este modo, un cliente situado a 200 metros de la estación base podrá obtener una velocidad de transmisión muy superior al usuario que se encuentra al límite de la zona de cobertura.

Así pues, el sistema WiMAX, en su versión fija, está indicado para sustituir al tendido del cableado telefónico o de la fibra óptica. Tecnológicamente, esta opción es viable, puesto que el coste de instalar una estación base es mucho menor que el de realizar el tirado de 2 o 3 kilómetros de cableado. Aunque los sistemas cableados son mucho más robustos y eficientes que cualquier enlace radio. Así pues, WiMAX se presenta como una buena opción para ofrecer el acceso de última milla en aquellas zonas donde la cobertura de banda ancha es insuficiente (zonas rurales o suburbanas), donde el tendido de cable es prácticamente imposible de realizar.

De los resultados obtenidos, se puede determinar, que la herramienta excel, a falta de realizar más verificaciones, funciona aceptablemente bien, teniendo en cuenta que los modelos de propagación empleados son modelos teóricos. La comparativa entre los resultados de las simulaciones y los valores obtenidos por la herramienta se sitúan en un rango muy similar (entornos rurales radios de 2 – 3 kms y entornos urbanos radios inferiores a 1 km).

### **3.17 Impacto medioambiental**

La sociedad cada vez más se encuentra sensibilizada ante el despliegue masivo de las nuevas tecnologías radio, puesto que relaciona las ondas electromagnéticas que se generan como algo perjudicial para la salud. Junto a ello, otro aspecto en contra que tienen estas tecnologías, es el impacto medioambiental, visual y urbanístico que generan.

En este sentido, el estado y las diferentes delegaciones autonómicas y municipales han desarrollado varias normativas específicas de los sistemas de radiocomunicación en cuanto al medioambiente se refiere. En este sentido, a nivel estatal se ha desarrollado Normas que establece las condiciones mínimas de seguridad sobre la salud de los sistemas radioeléctricos.

En este sentido, la tecnología WiMAX permite minimizar los posibles efectos negativos al medioambiente tomando en cuenta algunas de las siguientes recomendaciones:

- El cumplimiento de la normativa vigente, expresada en las ordenanzas municipales, leyes autonómicas, nacionales e internacionales.
- Utilizar, cuando sea posible, infraestructuras y edificios existentes, permitiendo la compartición de las instalaciones con otras operadoras, siempre que no existan imposibilidades técnicas.
- Definir estrategias adecuadas para la reutilización, el reciclaje y la recuperación de los equipos y materiales utilizados, lo cual permite reducir el consumo energético y la generación de residuos.
- Ubicar los equipos de forma que se impida su visión desde la calle y no se dificulte la circulación por la azotea y utilizar técnicas de camuflaje o mimetización, permite reducir el impacto visual y urbanístico.

En cuanto a las emisiones electromagnéticas los sistemas WiMAX tienen ciertas características que reducen el impacto sobre el cuerpo humano y el medioambiente:

- las radiaciones a esas frecuencias son "no ionizantes", por lo cual no tienen energía suficiente para alterar las células vivas.
- la potencia radiada por nuestras estaciones base es del orden de 50 veces menor que la radiada por las estaciones base del sistema GSM 900 MHz.
- A esto hay que añadir que la intensidad de campo disminuye rápidamente al aumentar la distancia a la fuente de radiación.

### **Incidencia sobre la salud**

Actualmente existen normativas internacionales y europeas que indican los niveles de radiación permisibles a las distintas frecuencias, así como los umbrales que se consideran perniciosos para la salud (normas NRPB, CENELEC ENV 50166-2).

Los niveles de radiación generados por una estación base del sistema WLL, son alrededor de 50 veces inferiores a los generados por una estación base del sistema de telefonía móvil GSM.

En la actualidad, los estudios existentes sobre radiaciones y exposición de las personas a los nuevos sistemas de comunicaciones, se refieren a las estaciones base de telefonía móvil y a los teléfonos móviles, y la conclusión compartida por todos los estudios consultados es que no hay evidencias contrastadas de que para el público general, ni tampoco para trabajadores expuestos habitualmente, las radiaciones emitidas por las estaciones base sean perjudiciales para la salud.

Otra conclusión común a algunos estudios es que no es posible en este momento decir que la exposición a una

Niveles por debajo de las referencias, no pudiera potencialmente causar perjuicio a la salud, y que las lagunas de conocimiento son suficientes para justificar un "tratamiento de precaución".

Las recomendaciones que se deben seguir para cumplir con las exigencias medioambientales de emisiones radioeléctricas se enumeran a continuación:

- Estricto cumplimiento de los límites electromagnéticos establecidos por organismos como IRPA (Asociación Internacional de Protección de Radiaciones), manteniendo las emisiones por debajo de los márgenes de seguridad.
- Selección de ubicaciones para el montaje de antenas e instalaciones eléctricas evitando zonas de paso (solarios, escaleras, tendederos, etc.) y protegiendo el acceso a las antenas.
- Seguimiento constante de la evolución de la tecnología y de la normativa de aplicación de Organismos como la Comisión Internacional sobre Protección contra Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP), la Organización Mundial de la Salud (OMS), CENELEC (ENV 50166-2), IEEE/ANSI (C93.1-1992) y la Asociación Internacional de Protección de Radiaciones (IRPA).

### 3.18 TENDENCIAS Y TRABAJOS FUTUROS

El IEEE, aprobó el pasado año 2004 el estándar 802.16-2004 que define las características y propiedades de la tecnología fija de WiMAX, en el que se ha basado este proyecto.

En el pasado mes de diciembre (año 2005) se aprobó el estándar 802.16e, que es una extensión del estándar 802.16-2004, que permite la movilidad de los dispositivos receptores. La publicación de este nuevo estándar permite la posibilidad de iniciar multitud de proyectos basados en esta nueva tecnología , incluyendo un análisis de prestaciones similares al actual proyecto, basados en este nuevo estándar.

En la línea de este proyecto, y como continuidad del mismo, existe la posibilidad de desarrollar una herramienta que permita el análisis teórico del despliegue de una red WiMAX a gran escala. La herramienta podría definir la necesidad de configurar la red en celdas, sectores, etc. De ello se puede realizar una análisis de la capacidad de una red desarrollada, el estudio de las interferencias, la asignación de frecuencias, etc...



## **CONCLUSIONES**

El arte, la cultura y las nuevas tecnologías forman una compleja familia. Tanto el arte como la cultura establecieron desde hace mucho tiempo una relación durable aunque no siempre armoniosa. Sin embargo, este vínculo se ha complicado cada vez más con la presencia de las nuevas tecnologías. Mientras tratamos de preservar el arte y la cultura en un mundo cada vez más dominado por el comercio, la comunicación rápida y la información masiva, las nuevas tecnologías, como las exigencias de la llegada de un bebe a un hogar, cambian la dinámica en la relación entre el arte y la cultura.

Como en un vínculo conyugal, es a veces difícil separar lo que pertenece a cada uno de los miembros de la pareja. La cultura proporciona el contexto, los materiales, el lenguaje, la motivación y hasta el sitio para el arte. Por su parte, el arte refleja, documenta, comenta y hasta estimula cambios en la cultura. Su unión mantiene nuestro lenguaje, nuestros recuerdos colectivos, nuestras recetas, las tradiciones y nuestro sentido de lugar. Juntos, se complementan, manteniendo las comunidades unidas e intactas. Evidentemente, la llegada de las nuevas tecnologías inspira fuertes vínculos entre el arte y la cultura. Décadas atrás, los artistas utilizaron con gran habilidad el increíble poder visual y de manipulación de la fotografía, el cine y el video para presentar sus visiones del mundo. Adicionalmente, la fotografía y el video han proporcionado una manera eficaz de salvar la historia familiar y comunal, frecuentemente a través de ojos extranjeros así también como a través de los miembros de la propia comunidad. La apropiación de la tecnología por artistas y comunidades continúa a medida que tecnologías nuevas proporcionan maneras más poderosas, económicas y rápidas para crear productos y fácilmente conectarse con audiencias cada vez mayores.

El desafío actual para el arte y la cultura puede ser la velocidad, la inmediatez y la proliferación que acompaña a las tecnologías más nuevas como cuando un niño se mueve con curiosidad por una casa recientemente arreglada. Los mensajes de texto y el correo electrónico devuelven la palabra escrita pero también cambian y mezclan el lenguaje escrito, frecuentemente mortificando a los maestros que tratan de enseñar a sus estudiantes a deletrear sin siglas. El acceso a Internet y los teléfonos celulares que se encuentran en cada bolsillo incitan la interacción global pero interfieren con la conversación durante la hora de la comida. El acceso al video en los computadores, los teléfonos y hasta los televisores que se encuentran en los vuelos nos traen historias que vienen de todos los rincones del mundo pero también nos distraen de las historias de nuestro propio entorno. El poderoso y pequeño almacenamiento de información nos permite crear un conjunto de música global, mientras ignoramos las canciones de nuestros abuelos. Pero también, gracias a las tecnologías nuevas, podemos diariamente acompañar a nuestros amigos y familiares vía "blogs" mientras ellos viajan por el mundo.

Trabajamos colectivamente con artistas y educadores de otros países, compartiendo documentos e imágenes en tiempo real y entrando en las discusiones en tiempo real utilizando Skype. En Japón, por ejemplo, la juventud revive la tradición de la poesía corta con espontáneos concursos de poesía por teléfono que utiliza mensajes de texto. De manera notable, muchas de las innovaciones técnicas se enfocan en la mejora de la comunicación, la habilidad de compartir información, y la interconectividad – las mismas características que mantienen un vínculo familiar fuerte también mantienen el arte y la cultura vibrante.

Indiscutiblemente, cualquier nueva tecnología se convierte en el niño ágil, dinámico e innovador del arte y la cultura - la manifestación de nuestra creatividad, de la innovación, y de la comunicación - los valores comunes que se pasan a través del arte y la cultura se transmiten también a través de comunidades. Si eso es verdad, la meta no deberá ser mantener la unión del arte y la cultura a pesar de la innovación técnica; sino, el desafío es que el arte y la cultura dirijan la implementación de nuevas tecnologías integrando las innovaciones tecnológicas en las prioridades culturales, alineando las innovaciones con los valores de la comunidad y apropiar la tecnología para la creatividad artística



**802.11.** Conjunto de estándares de red de área local inalámbrica definidos por el IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, 'Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos'). Entre estos estándares se encuentra 802.11b, que es en el que se basa Wi-Fi.

**acceso alámbrico.** El uso de teléfonos de cobre, líneas de cable o fibra. Las ventajas del acceso alámbrico incluyen la confiabilidad alta, tolerancia a la interferencia alta y, generalmente, la posibilidad de resolver problemas en forma más sencilla. En el caso de la fibra, el acceso alámbrico cuenta con un ancho de banda excepcionalmente alto. El acceso alámbrico es el opuesto tecnológico del acceso inalámbrico.

**administrador.** Persona responsable del mantenimiento y/o gestión de una red corporativa, red de área local (cableada o inalámbrica) o de un servidor de red.

**administración de red** Término genérico que se usa para describir sistemas o acciones que ayudan a mantener y caracterizar una red o resolver problemas de la red.

**ancho de banda.** El rango de frecuencia necesaria para transportar una señal, medido en unidades de hertz (Hz). Por ejemplo, las señales de voz normalmente requieren aproximadamente 7 kHz de ancho de banda y el tráfico de datos por lo común requiere de aproximadamente 50 kHz de ancho de banda, pero esto depende estrechamente del esquema de modulación, velocidades de datos y la cantidad de canales del espectro de radio que se usen.

**ANSI .** Acrónimo del Instituto nacional de estándares de Estados Unidos. Una organización voluntaria compuesta de miembros corporativos, gubernamentales y de otros tipos que coordina las actividades relacionadas con los estándares, aprueba los estándares nacionales de Estados Unidos y desarrolla posiciones en las organizaciones de estándares internacionales. ANSI ayuda a desarrollar estándares internacionales y de la Unión Americana relacionados con, entre otras cosas, las comunicaciones y las redes.

**antena.** Un dispositivo para transmitir o recibir una frecuencia de radio (RU). Por lo común, las antenas están diseñadas para frecuencias específicas y definidas de manera relativamente estricta y su diseño varía mucho. Por ejemplo, una antena para un sistema de 2.5 GHz (MMDS) normalmente no funcionará para un diseño de 28 GHz (LMDS).

**AP.** Acrónimo de punto de acceso. Un punto de acceso es un dispositivo que normalmente conecta a los dispositivos de cliente, por ejemplo, tarjetas PCMCIA, con la porción Ethernet de una LAN. Normalmente un punto de acceso tiene un puerto Ethernet y otro de energía en la parte trasera e incluye una o dos antenas que transmiten y reciben señales RU de los dispositivos de cliente, otros puntos de acceso o puentes de grupos de trabajo.

**ASCII.** Acrónimo del Código estándar de Estados Unidos para el intercambio de información. Especifica un código de 8 bits para la representación de caracteres (7 bits más la paridad).

**atenuación.** La pérdida de energía en la señal de comunicación, ya sea por el diseño del equipo, manipulación del operador o transmisión a través de un medio, por ejemplo, la atmósfera, cobre o fibra.



**autenticación** . En seguridad, la verificación de la identidad de una persona o proceso.

**autenticación abierta.** Un tipo de autenticación donde un punto de acceso concede la autenticación a cualquier cliente, sin importar si pertenece o no a la red de ese punto de acceso en particular. Se puede decir que es más común en los dispositivos de datos sencillos, por ejemplo, los lectores del código de barras que tienen poco poder de procesamiento.

**autenticación de estación** El proceso de autenticar un dispositivo 802.11, por ejemplo, un puente o punto de acceso, a diferencia de autenticar un cliente, como una tarjeta PCMCIA.

**banda base** Característica de una tecnología de red donde sólo se usa un portador de frecuencia. Ethernet es un ejemplo de una red de banda base. También se conoce como banda angosta.

**banda de paso.** Las frecuencias que un radio permite que pasen desde su entrada hasta su salida. Cuando un receptor o transmisor usa filtros con bandas de paso angostas, sólo la frecuencia deseada y frecuencias adyacentes son un aspecto que debe tomar en cuenta el diseñador del sistema. Si un receptor o transmisor usa filtros con bandas de paso amplias, entonces muchas frecuencias más cercanas a la frecuencia deseada serán un problema para el diseñador del sistema. En un sistema de multiplexión por división de frecuencia (FDM), las bandas de paso de transmisión y recepción serán diferentes. En un sistema de multiplexión por división de tiempo (TDM), las bandas de paso de transmisión y recepción son las mismas.

**bandas ISM.** Normalmente, pero no siempre, se acuerda que las bandas industriales, científicas y médicas son las siguientes: 902 a 928 MHz, 2.4 a 2.485 GHz, 5.15 a 5.35 GHz y 5.725 a 5.825 GHz.

**bit.** Una contracción de dígito binario, que es la unidad más pequeña posible de información que puede controlar una computadora. Un carácter alfabético o numérico normalmente está compuesto de 8 bits, lo que a su vez forma un byte de información. Por tanto, un carácter sencillo, por ejemplo, la letra b, requiere de la combinación de ocho 1 y 0.

**BLUETOOTH.** Es una tecnología inalámbrica que permite intercomunicar equipos a una distancia de varios metros (menos de 10 metros). Al contrario que otras tecnologías como Wi-Fi, la tecnología Bluetooth no está pensada para soportar redes de ordenadores, sino, más bien, para comunicar un ordenador o cualquier otro dispositivo con sus periféricos: un teléfono móvil con su auricular, una PDA con su ordenador, un ordenador con su impresora, etc.

**BPSK.** Acrónimo de la Modulación de fase por desplazamiento binario. Una técnica de modulación de frecuencia digital que se usa para transmitir información. Este tipo de modulación es menos eficiente pero más sólido que otras técnicas de modulación parecidas, por ejemplo, QPSK y 64 QAM.

**BSS.** Basic Service Set, 'Conjunto de Servicios Básicos'. Es una de las modalidades de comunicación en las que se pueden configurar los terminales de una red Wi-Fi. En este caso, la red inalámbrica dispone de un equipo punto de acceso) que se encarga de gestionar las comunicaciones (internas y externas) de todos los dispositivos que forman la red. Este modo de conexión también es conocido como modo infraestructura.

---

- CCK.** Complementary Code Keying, 'Salto de Código Complementario'. Es una técnica de modulación utilizada en Wi-Fi junto con las técnicas de espectro distribuido.
- certificado** Una declaración firmada en forma digital de una entidad que establece que una clave pública de alguna otra entidad tiene algún valor en particular. Los certificados son un concepto común en la sociedad moderna. Los usamos como licencias de conducir, membresías a clubes y como identificaciones. Estos elementos asignan una clave pública a un individuo, posición u organización.
- cifrado.** Una clave que convierte el texto sencillo en texto cifrado. Esto no se debe confundir con algunas formas de códigos secretos en los cuales ciertas palabras o frases se reemplazan con palabras o frases de códigos secretos.
- clave.** Se usa para "abrir" un texto cifrado; la clave se puede considerar en los mismos términos relativos que un cerrojo o una llave. Una sola clave puede generar una cantidad grande de versiones diferentes de texto cifrado desde el texto sencillo. También existen diferentes tipos de claves, por ejemplo, la clave de ejecución que cifra la frecuencia de un número de bits, y una clave de mensaje, la que es diferente para cada uno de los mensajes. En el uso de las claves como las de mensajes, obviamente tanto la fuente de la transmisión como la parte receptora deben conocer el orden y una clave específica que se usa en cada transmisión.
- cortafuegos.** Es un dispositivo de seguridad (hardware o software) que controla los accesos a una red local desde el exterior (típicamente, Internet).
- CSMA/CA.** Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, 'Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evitación de Colisión'. Es el sistema que emplea Wi-Fi para negociar las comunicaciones entre los distintos dispositivos. Este sistema evita que dos dispositivos puedan intentar hacer uso del medio simultáneamente (evita la colisión).
- CSMA/CD.** Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, 'Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión'. Es el sistema que emplean las redes Ethernet para negociar las comunicaciones entre los distintos dispositivos. Este sistema detecta que dos dispositivos han intentado hacer uso del medio simultáneamente (detecta la colisión) y hace que cada uno lo intente de nuevo en tiempos distintos.
- dirección MAC.** Dirección estandarizada de la capa de enlace de datos que se requiere para cada puerto o dispositivo que se conecte a una LAN. Otros dispositivos de la red usan estas direcciones para asignar puertos específicos en la red y crear, además de actualizar, tablas de direccionamiento y estructuras de datos. Las direcciones MAC son de 6 bytes de longitud y son controladas por el IEEE. También se conocen como direcciones de hardware, direcciones de capa MAC y direcciones físicas.
- DSSS.** Acrónimo del Espectro extendido de secuencia directa. Una técnica de propagación en la que distintas señales de datos, voz y video, o ambas, se transmiten a través de un conjunto específico de frecuencias de manera secuencial desde la frecuencia más baja hasta la más alta, o desde la más alta hasta la más baja.
-

- encabezado.** Información de control colocada antes de los datos cuando se encapsula esa información en red.
- encapsular.** Envolver los datos en un encabezado de protocolo específico, por ejemplo, los datos Ethernet se envuelven en un encabezado Ethernet específico antes de convertirse en tráfico de la red. Además, cuando se crean puentes entre redes, la trama completa de una red simplemente se coloca en el encabezado que usa el protocolo de la capa de enlace de datos de la otra red.
- espectro electromagnético.** El rango completo de frecuencias electromagnéticas (al igual que magnéticas); un subconjunto de este espectro se usa en los sistemas RU comerciales.
- espectro extendido.** Una técnica de propagación en la que se distribuyen señales de datos, video o voz a través de un rango amplio de frecuencias; luego las señales son agrupadas y recopiladas en el receptor.
- Ethernet.** Especificación para una LAN de banda base que inventó la compañía Xerox Corporation y que fue desarrollada en conjunto por Xerox, Intel y Digital Equipment Corporation. Las redes Ethernet usan CSMA/CD y funcionan a través de una variedad de tipos de cable a 10 Mbps. Ethernet es similar al conjunto de estándares 802.3 del IEEE.
- Ethernet rápido.** Alguna de las variedades de especificaciones Ethernet de 100 Mbps. Ethernet rápido ofrece un incremento en la velocidad 10 veces mayor al de la especificación Ethernet 10 Base-T y al mismo tiempo mantiene las cualidades del formato de las tramas, mecanismo MAC y MTU. Este tipo de similitudes permite el uso de aplicaciones 10 Base-T existentes y las herramientas de administración de red en las redes Ethernet rápido. Está basado en la extensión de la especificación 802.3 de la IEEE.
- ETSI.** Acrónimo del Instituto Europeo de estándares de comunicaciones. Una organización que crearon los PTT europeos y la Comunidad Europea para proponer estándares de telecomunicaciones para Europa.
- FCC.** Acrónimo de la Comisión federal de comunicaciones. Es una agencia gubernamental de Estados Unidos que supervisa, otorga licencias y controla los estándares de transmisión electrónica y electromagnética.
- FHSS.** Acrónimo del Espectro extendido de saltos de frecuencia. Una técnica de propagación mediante la cual distintas señales de datos, voz y video, o ambas, se transmiten a través de un conjunto específico de frecuencias en un orden pseudoaleatorio, en lugar de usar un método secuencial que va desde la frecuencia más baja hasta la más alta, o desde la más alta a la más baja, como en el caso de DSSS. Las señales se propagan en el rango de tiempo, no en el rango de frecuencia. Vea también DSSS y espectro extendido.
-



**firewall.** Direccionador o servidor de acceso, o varios direccionadores o servidores de acceso, que tienen la tarea de funcionar como un búfer entre cualquier red pública conectada y una red privada. Un direccionador firewall usa una lista de acceso y otros métodos para asegurar la protección de una red privada.

**frecuencia.** Número de ciclos, medidos en hertz (1 por segundo), de una señal de corriente alterna por unidad de tiempo. Por ejemplo, una frecuencia de **1 MHz** tendría un ciclo completo (una onda senoidal completa) pasando por un punto determinado en el espacio a la velocidad de un millón de ciclos por segundo. Una frecuencia de **1 GHz** haría que pasen ondas senoidales a través de un punto determinado en el espacio con una velocidad de **mH** millones de veces por segundo, y así sucesivamente.

**gateway.** Pasarela. Es un sistema informático que transfiere datos entre dos aplicaciones o redes incompatibles entre sí. El gateway adapta el formato de los datos de una aplicación a otra o de una red a otra. Se utiliza generalmente para interconectar dos redes distintas o para hacer que una aplicación entienda los datos generados por otra aplicación distinta.

**HIPERLAN.** High-Perfomance Radio Local Area Network, 'Red de Area Local de Radio de Alto Rendimiento'. Es un estándar de red de área local inalámbrica definido por ETSI (Instituto Europeo de Normalización en Telecomunicaciones) que permite transmitir datos hasta **54 Mbps** trabajando en la banda de **5 GHz**.

**HOMERF.** Home Radio Frequency', 'Radio Frecuencia del Hogar'. Es una tecnología de red de área local inalámbrica que en su día fue promovida por Intel (además de otros). Existen tres versiones en el mercado que alcanzan los **1,6, 10 y 40 Mbps**, respectivamente. En cualquier caso, HomeRF ha quedado hoy en día en el olvido debido al auge de Wi-Fi.

**IBSS.** Independent Basic Service Set, 'Conjunto de Servicios Básicos Independientes'. Es una de las modalidades de comunicación en las que se pueden configurar los terminales de una red Wi-Fi. En este caso, la red inalámbrica no dispone de punto de acceso, llevándose a cabo las comunicaciones de forma directa entre los distintos terminales que forman la red. Este modo de conexión también es conocido como modo ad hoc, modo independiente o de igual a igual peer-to-peer en inglés).

**IEEE.** Acrónimo del Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.

**ISO.** International Standard Organization, 'Organización Internacional para la Normalización'. Esta organización ha definido los protocolos de comunicaciones conocidos como ISO/OSI, utilizado por las redes públicas de conmutación de paquetes.

**ITU.** Acrónimo de la Unión internacional de telecomunicaciones. Institución internacional que desarrolla estándares en todo el mundo para las tecnologías de telecomunicaciones.

---

**IV.** Acrónimo de Vector de inicialización. Un valor externo necesario para iniciar las operaciones de cifrado; en otras palabras, un valor matemático que depende del texto cifrado para su codificación. Un IV con frecuencia se puede considerar una forma de clave de mensaje. En general, un IV debe acompañar al texto cifrado, y por tanto, siempre extiende el texto con el tamaño del IV. En las redes 802.11, se recomienda que se despliegue un IV único por paquete para eliminar una secuencia predeterminada que los piratas informáticos puedan explotar. En particular, esto ocasiona que sea difícil para los piratas informáticos escribir o realizar ataques que usen tablas matemáticas, que simplemente programan el número de combinaciones de la clave hasta que se descubre alguna o más que funcionan.

**LAN.** Acrónimo de Red de área local. Una red de datos de alta velocidad y pocos errores que cubre un área geográfica relativamente pequeña (por lo común, algunos miles de metros). Las LAN se conectan a estaciones de trabajo, periféricos, terminales y otros dispositivos dentro de un solo edificio u otra área limitada geográficamente. Los estándares LAN especifican el cableado y el método de señales de las capas físicas y de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet, UDDI y Token Ring son tecnologías LAN que se usan ampliamente. Se compara con una MAN y una WAN.

**MAC.** Acrónimo del Control de acceso a medios. La inferior de las dos subcapas de la capa de enlace de datos definida por el IEEE. La subcapa MAC controla el acceso a los medios compartidos, por ejemplo, si se usará el pase de tokens o la contención.

**método de acceso.** Generalmente, la forma mediante la cual los dispositivos de red acceden a otras redes; en otras palabras, el medio que conecta a las LAN. Los ejemplos incluyen los sistemas inalámbricos fijos de banda ancha, DSL y módems de cable.

**módem.** Contracción de modulador/demodulador. Un dispositivo que convierte señales digitales y análogas. En la fuente, un módem convierte las señales digitales a una forma que se ajuste a la transmisión a través de equipo de comunicación análoga. En el punto de destino, las señales análogas se vuelven a convertir a la forma digital. Los módems permiten la transmisión de datos a través de las líneas telefónicas de voz.

**modulación.** El proceso mediante el cual las características de las señales eléctricas se transforman para representar información.

**nodo.** En general se le llama nodo a cualquier ordenador conectado a una red.

**OFDM.** Acrónimo de la Multiplexión por división ortogonal de frecuencia. Una técnica de modulación UDM que se usa para transmitir señales al dividir la señal de radio en varias frecuencias en las que se transmite en forma simultánea. Una de las diferencias principales entre OUDM y DHSS o UHSS es que las señales en OUDM se envían simultáneamente a través del tiempo en lugar de manera secuencial.



**OSI.** Abreviatura del Modelo de referencia de Interconexión de sistemas abiertos. Algunas ocasiones se conocen como Pila de referencia 081. Es el modelo de arquitectura de red desarrollado por ISO e ITU-T. El modelo consiste de siete capas, cada una de las cuales realiza funciones de red específicas, por ejemplo, asignación de direcciones, control de flujo, control de errores, encapsulado y transferencia confiable de mensajes. La capa inferior (capa física) es la que está más cercana a la tecnología de medios. Las dos capas inferiores se implementan en el hardware y software, mientras que las cinco capas superiores sólo están implementadas en el software. La capa más alta (capa de aplicación) es la más cercana al usuario. El modelo de referencia 051 se usa de forma universal como un método para enseñar y entender la funcionalidad de una red. Es parecida en algunos aspectos a SNA. Otros términos asociados son: capa de aplicación, capa de enlace de datos, capa de red, capa física, capa de presentación, capa de sesión y capa de transporte.

**paquete.** Agrupamiento lógico de información que incluye un encabezado que contiene la información de control y (normalmente) los datos del usuario. Los paquetes se usan con mayor frecuencia para referirse a las unidades de datos de la capa de red. Los términos datagrama, trama, mensaje y segmento también se usan para describir los agrupamientos lógicos de información en varias capas del modelo de referencia 081 y en distintos círculos tecnológicos.

**PCI.** Peripheral Component Interconnect, 'Interconexión de Componentes Periféricos'. Son unas especificaciones creadas por Intel y que definen un sistema de bus local que permite conectar al PC hasta 10 tarjetas de periféricos. El estándar PCI ha venido a reemplazar al antiguo estándar ISA

**PCMCIA.** Personal Computer Memory Card International Association, 'Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria para Ordenadores Personales'. Se trata de una asociación de fabricantes de equipos que en 1989 sacó al mercado un tipo de puerto y de dispositivo de pequeño tamaño que permite que se le puedan instalar todo tipo de periféricos a los ordenadores personales. En un principio se dedicaron sólo a ampliar la memoria, de ahí su nombre. Tanto el puerto como los dispositivos reciben también el nombre de PCMCIA. En inglés se la conoce más coloquialmente como PC Card (tarjeta de PC).

**pila de protocolos.** Conjunto de protocolos de comunicación relacionados que operan juntos y, como un grupo, resuelven la comunicación en alguna o todas las siete capas del modelo de referencia 051. No todas las pilas de protocolo cubren cada una de las capas del modelo y con frecuencia un solo protocolo de la pila incluye un número de capas a la vez. **TCP/IP** es una pila de protocolos típica.

**puente.** Dispositivo que conecta y pasa paquetes entre dos segmentos de red que usan el mismo protocolo de comunicación. Los puentes operan en la capa de enlace de datos (Capa 2) del modelo de referencia 051. En general, un puente filtrará, reenviará o rechazará una trama entrante basándose en la dirección MAC de esa trama.

- QAM.** Acrónimo de la Modulación de amplitud de cuadratura. Método de modulación de señales digitales en una señal de portadora de frecuencia de radio que se relaciona con la amplitud y el código de fase. QAM es un esquema de modulación que se usa principalmente en la dirección de flujo descendente (QAM-64, QAM-256). QAM-16 normalmente se usa más en la dirección de flujo ascendente. Los números indican la cantidad de puntos de código por símbolo.
- QoS.** Acrónimo de Calidad de servicio. Una característica de algunos protocolos de red que trabajan con tipos distintos de tráfico de red en forma distinta para asegurar los niveles requeridos de confiabilidad y latencia de acuerdo con el tipo de tráfico. Algunos tipos de tráfico, por ejemplo, el de voz y video, son más sensibles a los retrasos en la transmisión y, por tanto, tienen prioridad sobre los datos que son menos sensibles a los retrasos. Por ejemplo, los sistemas Cisco Systems PTM BBUW tradicionalmente tienen cuatro niveles de QoS, pero algunos sistemas tienen hasta 13 niveles, dependiendo de cuántos bits se usen para priorizar el tráfico. La mayor parte de los sistemas usan tres o cuatro niveles de QoS, mismos que se conocen normalmente como Servicio garantizado no solicitado (UGS, por sus siglas en inglés), Bit de velocidad constante (CBR; en ocasiones conocido como CIR o velocidad de información constante) y velocidad del mejor esfuerzo (BER). UGS tiene una prioridad sobre CIR/CBR, que a su vez tiene prioridad sobre BER. Los niveles QoS se establecen en la Capa 2 (capa de enlace de datos) de la pila de referencia OSI.
- QPSK.** Acrónimo de la Modulación de fase por desplazamiento en cuadratura. Un método de modulación de señales digitales en señales de portadora de frecuencia de radio mediante el uso de cuatro estados de fase para codificar dos bits digitales.
- RC4.** Un algoritmo de seguridad que usa WEP. Considerado abiertamente como un algoritmo inseguro, RC4 fue desarrollado en 1987 por Ron Rivest, para la compañía RSA Data Security y fue un algoritmo propietario hasta 1994, cuando el código fue publicado en Internet y por tanto, para el resto del mundo.
- red.** Conjunto de ordenadores interconectados entre sí. También puede hacer referencia a la infraestructura que permite la interconexión de estos ordenadores.
- red de área local.** Es una red de datos que interconecta ordenadores situados en el entorno de un edificio o de las oficinas de una empresa dentro de ese edificio. Una red local permite a sus usuarios compartir información y recursos de la red, como impresoras o líneas de comunicaciones (acceso a Internet).
- RF.** Acrónimo de Frecuencia de radio. En general, se refiere a las comunicaciones inalámbricas con frecuencias por debajo de 300 GHz. El término RU se usa comúnmente también para cubrir todos los tipos de sistemas inalámbricos.
- RFC.** Acrónimo de Solicitud de comentarios. Conjunto de documentos que se usa como el medio principal para comunicar información acerca de Internet. Probablemente las versiones más conocidas son las del IEEE. Algunas RFC son designadas como estándares de Internet. La mayor parte de las RFC documentan especificaciones de protocolo, por ejemplo, Telnet y UTP, pero algunas son humorísticas o históricas. Las RFC están disponibles en línea desde varias fuentes.
-

**router.** Es un sistema utilizado para transferir datos entre dos redes que utilizan un mismo protocolo. Un router puede ser un dispositivo software, hardware o una combinación de ambos. Los puntos de acceso, generalmente, hacen las funciones de router. A este equipo también se le conoce en español por el nombre de enrutador.

**señal análoga.** La representación de información mediante una cantidad física que varía continuamente, por ejemplo, el voltaje. Debido a este cambio constante de la forma de la onda respecto a su paso a través de un punto determinado en el tiempo o espacio, una señal análoga puede tener una cantidad infinita de estados o valores. Esto contrasta con una señal digital, la que tiene un número muy limitado de estados.

**servidor.** Se trata de un software que permite ofrecer servicios remotos a sus usuarios. También puede recibir el nombre de servidor el propio ordenador donde está instalado el software servidor. El ordenador de los usuarios contacta con el servidor gracias a otro software llamado cliente.

**SOHO.** Acrónimo de Oficina pequeña/oficina del hogar.

**TCP.** Acrónimo del Protocolo de control de transmisión. Es un protocolo de la capa de transporte orientado a las conexiones y proporciona la transmisión de datos dúplex completa confiable. Es parte de la pila de protocolos TCP/IP.

**TCP/IP.** Acrónimo de Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet. Es el nombre común para el conjunto de protocolos que desarrolló el Departamento de defensa (DoD, por sus siglas en inglés) en la década de los setenta para soportar la construcción de redes interconectadas en todo el mundo. TCP e IP son los dos protocolos más conocidos del conjunto.

**texto cifrado.** Texto que ha sido cifrado o codificado. A pesar de que el texto cifrado contiene la misma información que el texto simple, puede contener, o no, el mismo número de bits. Es posible que algunos sistemas de bajo nivel tengan dificultades para resolver el cifrado, para lo cual se usa el término cifrado de expansión de datos. El texto cifrado siempre requiere de una clave para determinar el texto sencillo.

**texto sencillo.** La información original que se puede leer. Normalmente es un conjunto de caracteres alfanuméricos, pero también puede tener otras formas de datos, por ejemplo, valores o símbolos matemáticos.

**Trama.** Agrupamiento lógico de información que se envía como una unidad de la capa de enlaces de datos a través de un medio de transmisión. Con frecuencia, se refiere al encabezado y al indicador de fin, empleado en la sincronización y control de errores, que rodea a la información de usuario contenida en la unidad. Los términos célula, datagrama, mensaje, paquete y segmento también se usan para describir agrupamientos de información lógicos en varias capas del modelo de referencia OSI y en distintos círculos tecnológicos.



**transceiver.** Transmitter-Receiver, 'Transmisor-Receptor'. Es un equipo de radio que puede tanto transmitir como recibir.

**U-NII.** Acrónimo de Infraestructura nacional de información libre de licencia. Principalmente una banda de frecuencia de Estados Unidos. Los productos inalámbricos para esta banda funcionan en la frecuencia de 5.725 a 5.825 GHz para el uso exterior. Existen otras dos bandas U-NII: 5.15 a 5.25 GHz y 5.25 a 5.35 GHz. La banda de 5.15 GHz es para el uso en interiores sólo en Estados Unidos, mientras que la banda de 5.25 a 5.35 GHz se puede usar tanto en interiores como en exteriores dentro de Estados Unidos. Los dos conjuntos inferiores de frecuencia U-NII, se transmiten con niveles de potencia más bajos que los de la banda de 5.725 a 5.825 GHz. Estas frecuencias no requieren el uso o compra de una licencia de sitio, pero el equipo requiere de una certificación de la UCC y el cumplimiento estricto con sus regulaciones. U-NII fue un término creado por los reguladores federales para describir el acceso de ciudadanos y empresas a una red de información. Es equivalente al término "supercarretera de información", no describe la arquitectura, protocolo o topología de los sistemas.

**VLAN.** Acrónimo de Red de área local virtual. Un grupo de clientes que están ubicados en distintos lugares pero que se comunican entre ellos como si pertenecieran al mismo segmento LAN.

**VoIP.** Acrónimo de Voz sobre IP. Permite a un direccionador transportar tráfico de voz (por ejemplo, llamadas telefónicas y faxes) en una red IP. En VoIP el DSP segmenta las señales de voz en tramas, las cuales se agrupan en conjunto de dos y se almacenan en paquetes de voz. Estos paquetes de voz se transportan usando IP de acuerdo con la especificación H.323 de ITU-T.

**VPN.** Acrónimo de Red privada virtual. Una red privada virtual es un enlace privado que reside entre dos partes pero viaja a través de redes públicas.

**WAN.** Acrónimo de Red de área amplia. Red de comunicaciones de datos que da servicio a usuarios que se encuentran en un área geográfica y extensa, y con frecuencia usan dispositivos de transmisión proporcionados por las compañías de telecomunicaciones comunes.

**WECA.** Wireless Ethernet Compatibility Alliance, 'Alianza de Compatibilidad Ethernet Inalámbrica'. Es una asociación de fabricantes de equipos de red creada en 1999 con el objetivo de fomentar la tecnología inalámbrica y asegurarse la compatibilidad de equipos. WECA es la creadora de la marca Wi-Fi y es quien certifica los equipos con esta marca.

**WEP.** Acrónimo del Protocolo equivalente al cableado. WEP es un protocolo de seguridad que principalmente usan los radios 802.11 para proteger las comunicaciones inalámbricas de robo de información y de espionaje, además, evita el acceso no autorizado a una red inalámbrica. El sistema WEP surgió con la idea de ofrecerle a las redes inalámbricas un estado de seguridad similar al que tienen las redes cableadas.

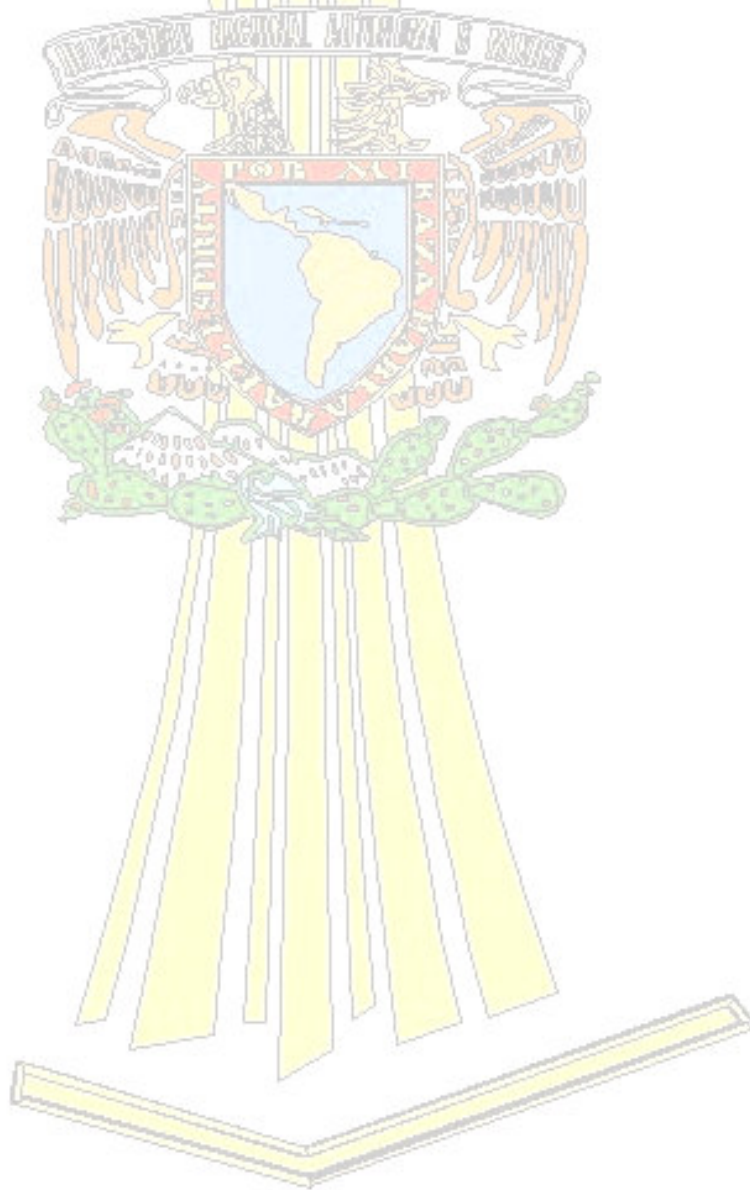
**WI-FI.** Wireless Fidelity, 'Fidelidad Inalámbrica'. Es una marca creada por la asociación WECA con el objetivo de fomentar la tecnología inalámbrica y asegurarse la compatibilidad de equipos. Todos los equipos con la marca Wi-Fi son compatibles entre sí y utilizan la tecnología

---

inalámbrica defiruda por el IEEE en su estándar 802.1 lb.

**WLAN.** Wireless Local Area Network, 'Red de Área Local Inalámbrica'. Es el acrónimo con el que se hace referencia a las redes de área local inalámbricas. Las redes Wi-Fi son un ejemplo de este tipo de redes.

**WPA.** Wi-Fi Protecied Access, 'Acceso Wi~Fi Protegido'. Son unas especificaciones de seguridad basadas en el estándar IEE 802.11 i que incrementa fuertemente el nivel de protección de datos y de control de acceso de las redes Wi-Fi. Las facilidades de seguridad ofrecidas por WPA pueden implantarse en las redes Wi-Fi existentes mediante una instalación de software.



## Bibliografía

- [1] A. Sánchez, “Las redes de acceso de banda ancha”, Telefónica I+D  
<http://www.tid.es/>
- [2] White Paper, ‘Principales estándares inalámbricos’, Jalercom S.A.  
[http://jalercom.com/Brochures/brochure\\_tecnologia-wireless.pdf](http://jalercom.com/Brochures/brochure_tecnologia-wireless.pdf)
- [3] IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks - The Working Group for WLAN Standards  
<http://www.ieee802.org/11/>
- [4] The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards  
<http://www.ieee802.org/16/>
- [5] Página web del WiMAX Forum  
<http://www.wimaxforum.org/home/>
- [6] WiMax Forum™ Regulatory Working Group ‘Initial Certification Profiles and the European regulatory framework’ – September 2004
- [7] IEEE Std 802.16-2004, May 2004. “Local and Metropolitan Area Network – Part 16 : Standard Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”
- [8] White Paper, RF Spectrum Utilization in WiMax, Fujitsu Microelectronics America, Inc. , November 2004
- [9] Carl Eklund, Roger B. Marks, Kenneth L. Stanwood and Stanley Wang, “IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the Wireless MAN Air Interface for Broadband Wireless Access”, IEEE Communications Magazine, vol.40, no.6, Pp.98-107, June 2002.
- [10] White Paper, WiMAX’s technology for LOS and NLOS environments, Wimax Forum.  
<http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXNLOSgeneralversionaug04.pdf>
- [11] Apuntes de propagación de radiofrecuencia, EPSC (TSC)
- [12] A. Ghosh, J. G. Andrews, R. Chen, and D. R. Wolter, "Broadband wireless Access with WiMax/802.16: current performance benchmarks and future Potential, “IEEE Communications Magazine, pp. 129-136, Feb. 2005.
- [13] V. Erceg, “An empirically based path loss model for wireless channels in Suburban environments,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 7, July 1999, pp. 1205-1211.

[14] V. Erceg, K. V. S. Hari, M.S. Smith, D. S. Baum, "Channel Models for Fixed Wireless Applications", Contribution to IEEE 802.16.3, Jul. 2001. IEEE 802.16.3c-01/29r4

[15] R. Simone, L. Matthias, A. Capone, "Performance Evaluation of Point-to-Multi Point (PMP) and Mesh Air-Interface in IEEE Standard 802.16a", Siemens Co.

[16] Reference Manual ICS Telecom NG

[17] Dataset Alvarion BreezeMAX 3500  
[http://www.alvarion.com/upload/contents/291/BreezeMAX\\_Vision\\_Brochure.pdf](http://www.alvarion.com/upload/contents/291/BreezeMAX_Vision_Brochure.pdf)

[18] Información radioeléctrica obtenida directamente de la operadora Iberbanda

[19] F. Ramos, "Planificación celular en sistemas de acceso radio punto a multipunto".  
<http://www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp>

[20] CNAF Cuadro Nacional Atribución Frecuencias  
<http://www2.mityc.es/Telecomunicaciones/>

[21] Informe sobre emisiones electromagnéticas de los sistemas de telefonía móvil y acceso fijo inalámbrico  
<http://www.coit.es/>

