

## **2 WIMAX**

### **2.1 Introducción**

Hasta hace aproximadamente diez años, con la aparición de las tecnologías xDSL, la inmensa mayoría de abonados a Internet de banda ancha tenía acceso a través de la tecnología cableada. Posteriormente xDSL invirtió tal situación, convirtiéndose actualmente en la tecnología líder para accesos de alta velocidad.

En los últimos años han aparecido nuevas tecnologías que buscan ocupar el lugar de xDSL; entre ellas se pueden destacar aquéllas que unen al acceso de banda ancha el valor añadido de la movilidad, piedra angular del presente y futuro de las telecomunicaciones. WiMAX se sitúa entre estas tecnologías, pudiendo aportar un salto de calidad evidente: ofreciendo acceso a Internet a altas velocidades y además, en movimiento.

Gracias a las características de esta tecnología inalámbrica, como lo son su fácil despliegue, bajo coste y el espaldarazo de la ITU y del WiMAX Forum [1], WiMAX se posiciona como serio competidor respecto a otras tecnologías de banda ancha móvil, como por ejemplo HSDPA/HSUPA y sobre todo LTE, con quien comparte muchas componentes tecnológicas. Estas últimas ofrecen actualmente menos ancho de banda que los estándares previstos de WiMAX Móvil, si bien cuentan con una mayor penetración en el mercado y una mayor base instalada en cuanto a infraestructura. A favor de WiMAX debemos tener en cuenta que estamos hablando todavía de una tecnología en pleno desarrollo; especialmente en lo que se refiere al estándar móvil donde es todavía una tecnología emergente.

La aparición de la tecnología WiMAX, ocupando el dominio vacante de las redes metropolitanas inalámbricas, reafirma la visión de un futuro

heterogéneo en cuando a tecnologías de acceso, aunque convergente respecto a los servicios ofrecidos sobre ellas.

En la figura 2.1 se representa la evolución de los distintos estándares WiMAX frente a una evolución temporal.

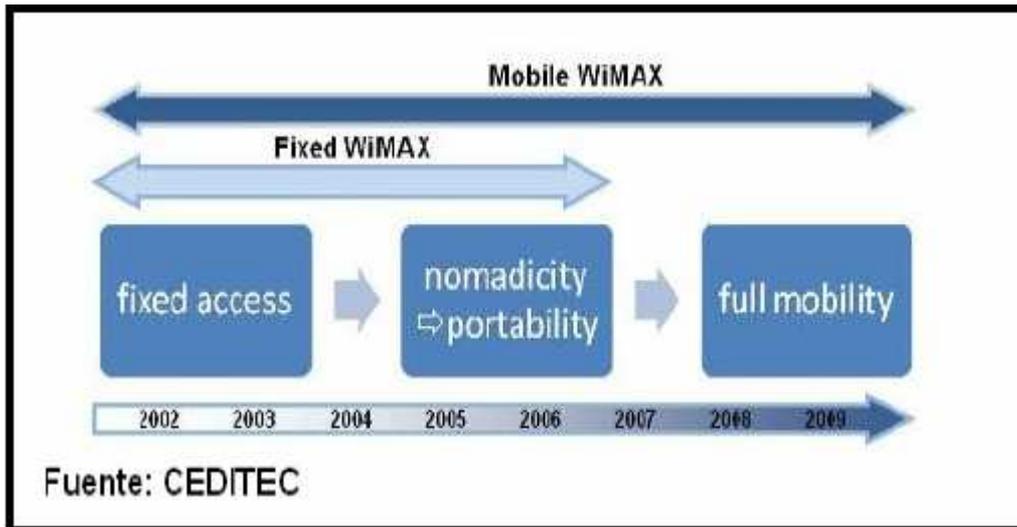


Figura 2.1: Evolución temporal de la tecnología WiMAX.

## 2.2 Características Fundamentales de la tecnología WiMAX

WiMAX es una tecnología inalámbrica de banda ancha basada en la puesta en práctica de los estándares IEEE 802.16 y ETSI HiperMAN. Dicha tecnología es una especificación para las redes de acceso metropolitanas de banda ancha inalámbricas (WMAN).

El estándar WiMAX se compone de un subconjunto de especificaciones extraídas de la norma IEEE 802.16. La norma IEEE 802.16 es el conjunto de estándares que recogen las especificaciones.

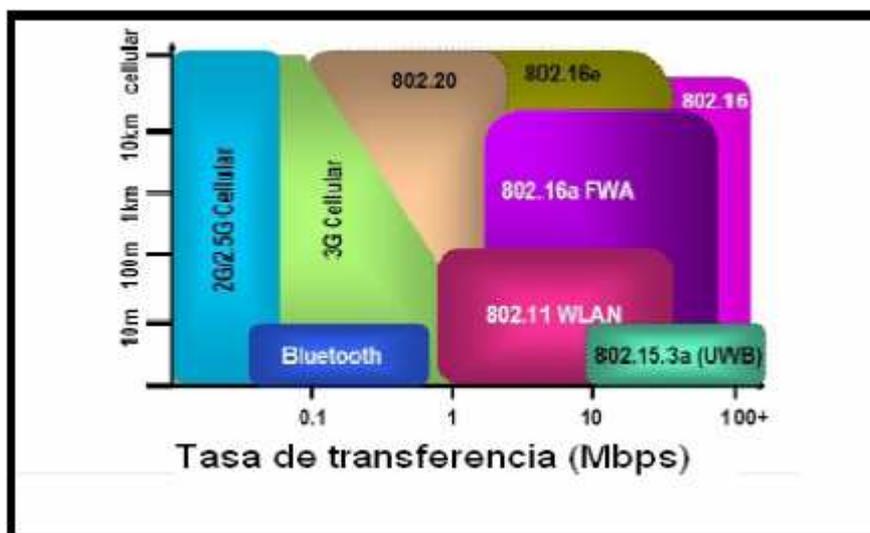


Figura 2.2: Relación cobertura/tasa de transferencia.

WiMAX presenta además ventajas como la QoS (Calidad de Servicio), seguridad en las comunicaciones a nivel de acceso al medio, o la escalabilidad de la solución, como características intrínsecas a ella. Estas funcionalidades la capacitan como medio válido para la provisión de servicios que van más allá de un acceso a Internet de banda ancha de los usuarios en cobertura. Así, WiMAX es adecuado para VoIP, videoconferencia, y en general servicios de banda ancha con restricciones de tiempo real.

Por tanto, se puede ver a WiMAX como tecnología que compite con prácticamente todo tipo de tecnologías inalámbricas y/o celulares, aunque en principio se prevé que conviva con ellas, complementándolas en ciertos rangos. Más específicamente, se podría ubicar entre WiFi y 3G/4G, en cuanto a alcances de cobertura, cuya relación cobertura/tasa de transferencia podemos observar en la figura 2.2, y anchos de banda ofrecidos por canal.

Esta tecnología está diseñada para proporcionar grandes oportunidades de negocio y aplicaciones para operadores y usuarios en distintos escenarios (empresa, hogar, servicios públicos o de emergencia), áreas geográficas (urbano, suburbano y rural), tanto a gran escala como en *hotspots*. En resumen, servirá de apoyo para facilitar las conexiones en zonas rurales, y se utilizará en el mundo empresarial para implementar comunicaciones internas.

La carta de presentación de WiMAX incluye entre sus principales avales la posibilidad de establecer conexiones con velocidades similares a los sistemas de ADSL o de cable, sin la necesidad del despliegue del cableado hasta el usuario y hasta una distancia de 50km (en aplicaciones fijas). Además, con la versión móvil de WiMAX, el usuario podrá acceder al servicio también mientras está en movimiento, con velocidades de hasta 150km/h. Este nuevo estándar coexistirá con otros anteriores, como el de WiFi (IEEE 802.11), aunque, como ya se ha adelantado, aumentará considerablemente sus posibilidades. En la figura 2.3 podemos ver la relación movilidad/tasa de transferencia de los distintos estándares.

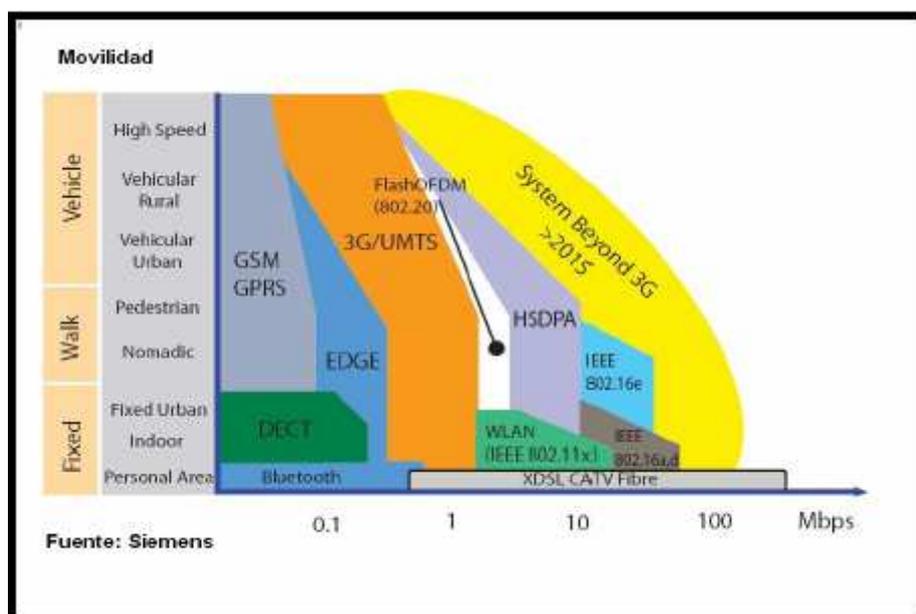


Figura 2.3: Relación movilidad/tasa de transferencia.

La práctica totalidad de empresas, operadores, entes y organismos interesados en la tecnología WiMAX, se agrupan en la entidad sin ánimo de lucro denominada WiMAX Forum [1]. Bajo esta agrupación, sus miembros deciden los siguientes avances de la tecnología, aparte de funcionar como catalizador de los temas relacionados con WiMAX. Tiene como objetivo principal, intentar impulsar una plataforma común de consenso global. Este organismo ha definido también la certificación WiMAX: WiMAX Certified, que

pretende garantizar la interoperabilidad entre los diferentes fabricantes que diseñan soluciones bajo estos estándares. El propio WiMAX Forum [1] organiza periódicamente encuentros en los que se realizan los tests de interoperabilidad (IOT), en sus denominadas reuniones PlugFest entre los diferentes fabricantes.

Como en el caso de WiFi, la interoperabilidad en el equipamiento y redes es una pieza clave para un exitoso despegue de WiMAX como tecnología. El WiMAX Forum [1] pretende promocionar y certificar dicha interoperabilidad, ayudando a establecer un marco para WiMAX, permitiéndole posicionarse como la principal tecnología de acceso de banda ancha inalámbrica.

### **2.3 Principales Aplicaciones de WiMAX**

La utilización de sistemas de comunicaciones inalámbricas WiMAX proporciona grandes posibilidades para entornos en situaciones muy diversas, entre las que podemos mencionar las siguientes:

- Tecnología de última milla para provisión de banda ancha
- Conectividad en zonas rurales o con alta dispersión geográfica
- Interconexión de infraestructuras de telecomunicaciones
- Despliegue de instalaciones distribuidas de seguridad o industriales
- Puesto de trabajo móvil en entorno laboral
- Internet Móvil
- Servicios de Movilidad
- Conectividad para catástrofes y situaciones de emergencia

En caso de situación de emergencia, la ayuda que puedan prestar las comunicaciones y sus servicios asociados, puede desempeñar un papel fundamental para la protección, rescate y salvamiento, tanto de vidas humanas como de bienes materiales. La importancia de contar con los procedimientos

más eficientes ante contingencias o ante situaciones extraordinarias (como catástrofes naturales, fallos en suministros, fallo de los sistemas principales, etc.) tienen un alto grado de importancia, sobre todo para entornos corporativos o de autoridades competentes en cada caso. Dichas situaciones excepcionales pueden presentarse en cualquier entorno, que puede contar en situaciones normales con infraestructuras de comunicaciones existentes o no, perteneciendo a zonas correctamente comunicadas o de entornos aislados.

En cuanto a conectividad para entornos aislados, estos pueden tratarse de zonas distantes de núcleos de población, así como de difícil accesibilidad física, o de no rentabilidad económica de acceso a banda ancha, como pueden ser zonas rurales. La falta de comunicaciones de banda ancha causa una “brecha digital”, un desequilibrio de acceso a los nuevos servicios TIC entre zonas de entornos urbanos en comparación con el entorno rural. Las dificultades de acceso a estas zonas pueden deberse a un alto grado de diversidad espacial de los núcleos rurales de población, o a dificultades orográficas, que provocan que el acceso a las comunicaciones y tecnologías de acceso relacionadas sean mucho más complejas de extender, para tratar de conseguir un acceso permanente en la totalidad de la población.

Una aplicación directa del uso de la movilidad proporcionada por la banda ancha de WiMAX es la propia movilidad de un puesto de trabajo en un entorno de oficina. Simplemente se necesita un dispositivo de usuario adecuado al trabajo en cuestión. Proporcionando a estos dispositivos alimentación portátil, el puesto de trabajo es completamente portátil, con lo que la instalación de la conectividad en el entorno se reduce a la cobertura WiMAX de la zona. Esto podría simplificar en gran medida la puesta en marcha de las comunicaciones de banda ancha en una nueva localización, en la que por ejemplo, no hubiese posibilidad de cablear una LAN interna, por las características físicas de la oficina, fábrica, etc.

La aplicación más obvia de WiMAX móvil es la posibilidad de contar con acceso a Internet en cualquier punto, obteniendo así una conectividad ubicua. Por ello, WiMAX pretende proporcionar la capacidad de acceso a banda ancha con un perfil de movilidad de velocidad moderada, hasta 150 km/h. El acceso

en movilidad pretende cubrir y/o complementar las zonas sin cobertura 3G, aumentando la capacidad de transferencia para aplicaciones con gran demanda de ancho de banda.

## **2.4 Estándar 802.16 (WiMAX)**

WiMAX es la denominación de una marca de referencia para productos que pasan la conformidad y los test de interoperatividad de los estándares 802.16. IEEE802.16 es el grupo de trabajo del IEEE especializado en acceso punto a multipunto de banda ancha.

El estándar original WiMAX, el IEEE 802.16, especifica la tecnología para el rango de 10-66 GHz. Posteriormente, 802.16a añadió soporte para el rango de 2 a 11 GHz, donde algunas bandas no requieren licencia, o sólo precisan una simple autorización. Los esfuerzos se están centrando en esta variación del estándar. La ventaja principal se centra en la posibilidad de realizar comunicaciones sin disponer de visión directa, haciendo un uso eficiente de las tecnologías existentes, pero sin desafiar a las leyes de la física.

Una característica importante del estándar es que define una capa MAC que soporta múltiples especificaciones físicas (PHY). Esto es vital a la hora de permitir a los fabricantes su diferenciación respecto a la competencia y por lo que se considera el estándar como un marco de trabajo para la evolución de tecnologías inalámbricas. WiMAX puede ser descrito como el intento de mezclar muchas tecnologías para cubrir varias necesidades en un espectro amplio, con la diferencia de que a este foco vago se le están sacando rentabilidades prácticas.

WiMAX se basa principalmente en dos subestándares del IEEE, 802.16-2004 para el acceso fijo, y 802.16e para el acceso portable o móvil. Las diferentes versiones de especificaciones de cada subestándar se presentan en sucesivas *Wave*, que se corresponden con los diferentes perfiles de sistema (WiMAX Forum System Profiles) definidos para su certificación. Actualmente se han definido el perfil de WiMAX fijo, y el de WiMAX móvil. Para el WiMAX Fijo,

las normas de certificación están completamente definidas, manteniendo las características del subestándar ya mencionadas, pero especialmente para WiMAX Móvil se están definiendo sucesivas versiones o *releases*, y dentro de cada una de ellas, sucesivas fases (*waves*) que van marcando las novedades en la definición del proceso de certificación (*Certification Profiles*).

El hecho de presentar dos estándares diferentes para WiMAX, permitirá a los operadores el escalado de las redes según diferentes requisitos, para soporte de servicios de última milla (WiMAX Fijo), o para servicios en movilidad (WiMAX Móvil):

- WiMAX Fijo es particularmente interesante a la hora de proporcionar el acceso de última milla para zonas remotas, sin posibilidad de acceso a infraestructura de red cableada, u otros tipos de infraestructura inalámbrica. Principalmente se enfoca hacia usuarios de tipo residencial o de oficina, con acceso o sin acceso a servicios de banda ancha confiables, y permitirá servicios de banda ancha para áreas remotas donde hasta el momento ha sido demasiado costoso acceder mediante infraestructura tradicional de banda ancha.

- WiMAX Móvil permite la conectividad en situación de movilidad completa, por ejemplo a peatones o a medios de transporte (vehículos, trenes, barcos, aviones, etc...). Una vez que el acceso a banda ancha fijo se ha convertido en común, se puede esperar que el usuario desee mantener dichos servicios, a la vez que se desea desplazarse de lugar. Las redes WiMAX se implantan de manera similar a las redes 2G/3G, de manera en general sectorizada. Sin embargo, al contrario que para las redes móviles 2G/3G, los despliegues WiMAX prevén inicialmente una prestación de servicios con gran capacidad. Posteriormente se puede proporcionar escalado a la red, con lo que ésta irá migrando a una micro-celda, que sea capaz de proporcionar una mayor tasa de transferencia, para entornos localizados según la estación base a la que se puedan conectar, y las condiciones del entorno del acceso.

Como reglas generales teóricas expuestas bajo el estándar IEEE STD802.16, que WiMAX comenzó a adoptar, y que fueron definidas en diciembre de 2001, están:

- Utilización del espectro radioeléctrico entre 11-66 GHz.
- Un ancho de banda del canal de hasta 28 MHz.
- Régimen binario de entre 32-134 Mbps.
- Modulaciones previstas QPSK, 16-QAM, 64-QAM (SC: single carrier).
- Coberturas de entre 1.5-5 km.
- Necesaria visión directa entre antena y receptor (LOS - Line of Sight).

#### **2.4.1 WiMAX Forum**

Ya dijimos anteriormente que WiMAX Forum [1] es una organización sin fines de lucro, impulsada por el sector de las comunicaciones radio. El objetivo de esta institución es acelerar las implementaciones mundiales y expandir el mercado de soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha interoperables y basadas en estándares.

El foro está trabajando con las empresas asociadas a fin de desarrollar perfiles estandarizados y productos WiMAX interoperables en torno a bandas concretas del espectro de frecuencia de radio, fundamentalmente 2.3GHz, 2.5GHz, 3.5GHz y 5.8GHz. Son miembros del WiMAX Forum [1] numerosas empresas y proveedores de servicios.

#### **2.4.2 WiMAX Fijo**

WiMAX se encuentra en constante renovación, que avanza siempre manteniendo la compatibilidad de los subestándares anteriores de la familia 802.16 (*backward compatibility*). Así, para el acceso fijo, hasta el momento se

tienen, según las diferentes nomenclaturas de los fabricantes, los siguientes subestándares:

- 802.16a, c (2003). Primeros subestándares prácticos de la familia. Proponen las bases iniciales de comunicación del estándar 802.16.
- 802.16-2004 (802.16d, WiMAX Fijo). Consolida los subestándares anteriores, siendo éste el que sigue la primera implementación de WiMAX, para soluciones de comunicaciones en entornos estacionarios o cuasi-fijos. Sigue vigente, pues los subestándares subsiguientes se basan en diferentes escenarios, o que restringen a éste. Delimita las características tecnológicas a:
  - Uso del espectro menor a 11 GHz. Uso de bandas para WiMAX en 3'5, 5'4 y 5'8 GHz.
  - Anchos de banda de hasta 20 MHz.
  - Bit-rates de hasta 75 Mbps, a 20 MHz.
  - Uso de modulación OFDM, con 256 portadoras (WiMAX Fijo) (hasta 1024), además de las SC (QPSK, 16-QAM y 64-QAM).
  - Técnicas de duplexado de canal (uplink-downlink) disponibles: TDD (para todas las bandas); FDD H-FDD (excepto en bandas no licenciadas inferiores a 6 GHz).
  - No es necesaria la visión directa entre antena y receptor (NLOS).
  - Uso estacionario (Fijo), tanto en exteriores como en interiores.
  - Cobertura de hasta 45 km.

### 2.4.3 WiMAX Móvil

Prestando atención al estándar para el acceso de WiMAX móvil, éste sigue las indicaciones del IEEE en el subestándar 802.16-2005, también conocido como 802.16e, WiBro o WiMAX móvil. Este estándar revisa el subestándar 802.16-2004 de WiMAX fijo incorporando comunicación móvil hasta cierta velocidad. De todas formas, también se puede utilizar para soluciones de WiMAX fijo. Se trata del subestándar en el que se basa WiMAX Móvil. Sienta las bases para poder utilizar MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), que permite la comunicación desde múltiples antenas de estaciones base, que proporciona no sólo mejor cobertura de recepción de la señal, sino también mejora la capacidad del ancho de banda de comunicación. Estas características avanzadas permiten soluciones en entornos nómadas. Las características de este subestándar se delimitan a:

- Uso del espectro < 6 GHz. Uso de bandas para WiMAX en 1.5, 2.5, 3.5 y 5.5 Ghz.
- Anchos de banda de hasta 20 MHz, flexibles para conservar la potencia transmitida.
- Régimen binario de hasta 15 Mbps, sobre un ancho de banda típico del canal de 5 Mhz.
- Uso de modulación OFDMA de hasta 2048 portadoras.
- No es necesaria visión directa entre emisor y receptor(es) (NLOS).
- Uso en movilidad de velocidad moderada y portabilidad completa (utilización en aplicaciones nómadas).
- Coberturas típicas de hasta 5 km. en situación de completa movilidad, aunque las coberturas son altamente dependientes de las condiciones del entorno.

#### **2.4.4 Principales Diferencias entre WiMAX Fijo y Móvil**

En comparación con la versión fija, el 802.16e es un estándar superior gracias al enorme valor añadido del soporte a la movilidad, y que además ofrece una opción de conexión fija. Según las previsiones, el WiMAX móvil triunfará a nivel de usuario, mientras que la versión fija quedará relegada a conexiones punto a punto o *backhaul* (por ejemplo, para transporte de señales WiFi de hotspots o la interconexión de centros).

El estándar IEEE 802.16e o estándar móvil, es la especificación más reciente y que añade soporte de movilidad, lo que facilita itinerancia entre celdas sin interrupción de la sesión y de forma transparente para el usuario (handover) siempre que su movimiento no supere la velocidad del vehículo (entre 120 y 140 km/h). Por su parte, el estándar IEEE 802.16d o estándar fijo, se posiciona como una alternativa sin hilos a tecnologías clásicas de bucle local, como ADSL, cable o fibra óptica.

### **2.5 Comparativa con otras tecnologías**

WiMAX no es la única solución para distribución de servicios de banda ancha inalámbrica. Existen en el mercado diversas soluciones de origen propietario, con tecnologías de comunicaciones específicas (por ejemplo, la solución de la empresa norteamericana Qualcomm basada en la tecnología de procesado de señal Flash-OFDM).

Además de las opciones propietarias, existen soluciones alternativas basadas en estándares de comunicaciones que coinciden parcialmente con WiMAX, especialmente para aplicaciones portátiles y móviles. En los últimos años, se han extendido ampliamente soluciones basadas en WiFi y en 3G (HSPA, EV-DO, LTE) para el acceso inalámbrico de banda ancha. Pretendemos mostrar una clara comparación y contraposición de estas otras tecnologías con respecto a WiMAX, para poder destacar las ventajas

cualitativas de la tecnología WiMAX, que le permitirá establecerse como el estándar futuro para redes NGN (Next Generation Networks).

### 2.5.1 WiMAX vs WiFi

Más adelante se analizará en detalle el estándar WiFi, basado en la familia de normas estándar IEEE 802.11, enfocado en el acceso de banda ancha inalámbrica para redes de área local (LAN). Los sistemas WiFi más extendidos actualmente son los basados en 802.11a/g, que proporcionan cobertura sobre un área típica de 30-50 m con unas tasas de transferencia de 54 Mbps. WiFi se ha convertido en el estándar “de-facto” para el acceso de usuario mediante dispositivos personales, para conectividad en oficina, casa, cafés, y *hotspots* públicos. Más allá de eso, han surgido iniciativas municipales y locales para llevar conectividad mediante sistemas WiFi a zonas urbanas determinadas, así como para zonas dispersas, en el entorno rural. Es esta última aplicación la que se puede solapar con el uso previsto para WiMAX, tratándose de un acceso fijo o nómada.

Los sistemas WiFi capaces de dar cobertura a zonas amplias se basan en transmisores de alta potencia, limitadas por tratarse de bandas de frecuencia de uso libre. Por ello, los despliegues WiFi ofrecen coberturas máximas de hasta 300 m del punto de acceso. Esta limitación, junto con las características propias del estándar, resulta en una ventaja clara de las capacidades de WiMAX con respecto a WiFi. WiMAX es capaz de ofrecer coberturas más amplias, tanto en aplicaciones fijas (hasta 30 km) como en móviles (hasta 5 km), y con mejoras en tasas de transferencia (hasta 70 Mbps), proporcionando gran soporte a la movilidad del dispositivo en la red (hasta a 150 km/h).

La futura extensión del estándar WiFi [2], 802.11n, pretende proporcionar mejoras con respecto a las limitaciones actuales de WiFi, incrementando notablemente las tasas de transferencia y con ciertas mejoras en el alcance máximo por cada punto de acceso [3].

## 2.5.2 WiMAX vs 3G

Quizás la tecnología de acceso inalámbrico más próxima a las características de WiMAX sea 3G, en sus diferentes vertientes actuales. Las capacidades propias de UMTS se han extendido con la llegada de dos tecnologías complementarias en la extensión mundial de 3G en las redes de telefonía móvil celular, HSPA y EV-DO.

HSPA es la combinación de tecnologías posteriores y complementarias a la 3ª generación de telefonía móvil (3G), como son el 3.5G o HSDPA y 3.5G Plus, 3.75G o HSUPA. Teóricamente admite velocidades de hasta 14.4 Mb/s en bajada y hasta 2 Mb/s en subida, dependiendo del estado o la saturación la red y de su implantación. En la actualidad, HSDPA [4] admite hasta 3,6 Mb/s de bajada y 384 Kb/s de subida y HSUPA [5] hasta 7,2 Mb/s en bajada y 2 Mb/s en subida.

EV-DO es el estándar de datos definido como evolución de CDMA por el 3GPP2. Soporta tasas de canal de bajada de hasta 2.4 Mb/s, con un canal de 1.25 MHz. Las tasas típicas reales suelen ser de 100-300 kb/s. Sucesivas *Releases* del estándar incrementan las tasas alcanzables, aumentando también los anchos de banda utilizados hasta 20 MHz, hasta 73 Mb/s en bajada y 27 Mb/s. En comparación con los dos estándares de 3G actuales, WiMAX cuenta con una ventaja muy importante: la sencillez y rapidez del despliegue. WiMAX es capaz de desplegar una red en una localización aislada determinada, en la que un despliegue 3G puede ser de acceso complejo, o de no rentabilidad económica. Por ello, además de ser competidoras en cuanto a tecnologías de acceso, también puede verse que WiMAX y 3G pueden ser complementarias en ciertos entornos. WiMAX puede extender la cobertura de banda ancha móvil más allá de los núcleos de cobertura provistos por los operadores. Por lo demás, WiMAX puede ofrecer hasta el momento tasas de transferencia mayores que 3G para aplicaciones fijas y móviles, mientras que 3G cuenta con la ventaja de despliegue de redes de operadores mucho más extensas de lo que lo pueden estar las redes WiMAX en un horizonte próximo.

### **2.5.3 WiMAX vs 4G**

La evolución auspiciada por los grandes operadores de las redes de voz celular, denominada como LTE (Long Term Evolution), pretende migrar sus modelos de negocio hacia las capacidades esperadas para la nueva generación de redes de datos, 4G. Comparte con WiMAX muchas de las características de comunicaciones en las capas inferiores, como son la utilización de OFDM como modulación base, y su gran tolerancia al multitrayecto. La mayor diferencia entre una y otra se encuentra en la fase de desarrollo en la que se encuentra cada una, ya que WiMAX cuenta con una ventaja sobre LTE de dos años, y que puede ser decisiva para su adopción y posterior extensión mundial.

Frente a LTE, los grandes precursores de WiMAX, que son importantes fabricantes de equipamiento de telecomunicaciones, pretenden un estándar más abierto, y que permita mayor versatilidad en los modelos de negocio, presentando WiMAX como capaz de desplegar redes ad-hoc, además de redes dependientes de operador. Ciertas voces autorizadas de la industria comparten la idea de que ambas iniciativas podrán converger en el horizonte de 2012. Entre los principales precursores de WiMAX, pertenecientes al WiMAX Forum, están los siguientes: Intel, Motorola, Cisco, Samsung, Alcatel, etc.

## **2.6 Uso del Espectro**

Las redes WiMAX, al contrario que WLAN, deberán por lo general operar en bandas de frecuencia de uso licenciado, presentando políticas de QoS (Calidad de Servicio), y permitiendo mayor protección y calidad en las comunicaciones.

Para instalar una solución con licencia, un operador o proveedor de servicio debe comprar el espectro. La compra del espectro es un proceso complicado. Las soluciones exentas de licencia [6] ofrecen varias ventajas

sobre las soluciones con licencia, como menores costos, desarrollo rápido, y una banda común que puede usarse en la mayor parte del mundo.

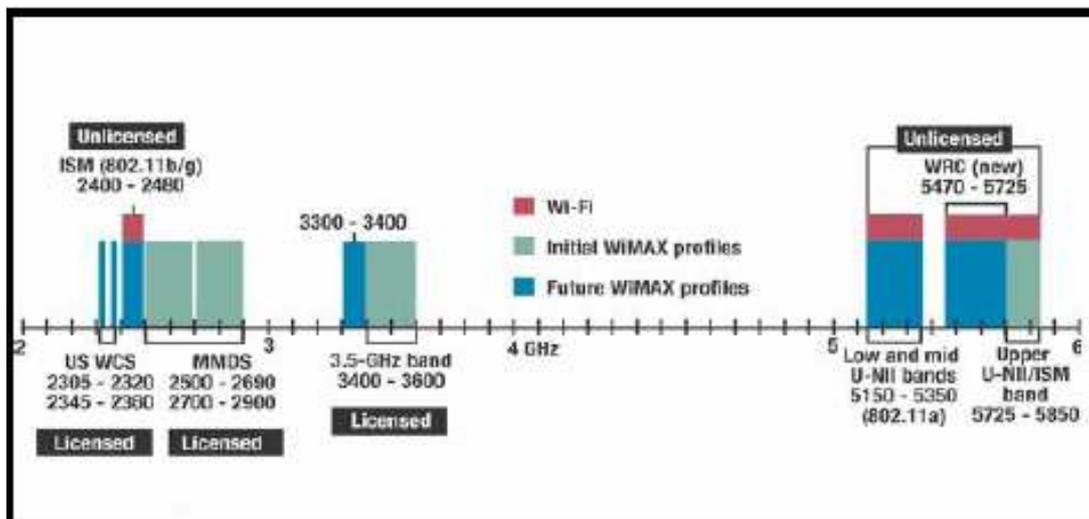
El espectro accesible para WiMAX depende del área geográfica en la que se encuentre la red. Esto es así debido a las políticas heterogéneas nacionales, que han saturado en diferente manera las bandas de operación de WiMAX.

Para España, todas las competencias en materia de uso del dominio público radioeléctrico las tiene la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información (SETSI). En la actualidad sólo existen equipos certificados o prototipos en las siguientes bandas de frecuencia:

- 2.5GHz. Esta banda es de uso privativo (con licencia), por lo que se precisa una concesión demanial del espectro (uso recomendado de WiMAX Móvil). Se ha abierto recientemente una fase de consulta pública a este respecto.
- 3.5GHz. Esta banda también es con licencia, por lo que se precisa concesión demanial del espectro.
- 5.4GHz – 5.9 GHz. Está definida como de uso común (sin licencia), pero sólo se permite una potencia máxima de 25mW (14dBm). Está sujeta a la norma UN-128 del CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias). Esta restricción tan fuerte en la potencia, así como el hecho de compartir espectro, puede comprometer seriamente los despliegues en esta banda, al reducir de manera importante el alcance de la señal. Por tanto, existe una menor oferta de productos WiMAX que funcionan en dicha banda de frecuencia con respecto a las anteriores.

Dado que no existe uniformidad en cuanto al uso de las bandas de frecuencia, es interesante comprobar de manera general el uso en las diferentes zonas terrestres, para las bandas en las que podría operar WiMAX, que en general son las siguientes:

- 2.3 GHz a 2.4 GHz.
- 2.496 GHz a 2.69 GHz.
- 3.3 GHz a 3.4 GHz.
- 3.4 GHz a 3.6 GHz.
- 3.6 a 3.8 GHz.
- 5.25 GHz a 5.85 GHz.



**Figura 2.4: Bandas de frecuencia.**

En cuanto a la recomendación de la ITU para la implementación de sistemas según la especificación IMT2000 se propone la utilización de la banda de 2.5 a 2.7 GHz. Otras bandas de frecuencia se podrían utilizar a medio plazo, en el caso en el que WIMAX se popularice, y se pretenda el despliegue global de redes. Esta concesión del espectro puede ser libre (poco probable), o mediante un proceso completo de concesión pública y propuestas por parte de los operadores interesados en la prestación de servicios en dichas bandas de frecuencia. Por ejemplo, la reciente concesión pública en Estados Unidos de una franja del espectro de 700 MHz [7], que podría ser destinada a WiMAX, se

salda con propuestas millonarias, y concesión a los grandes operadores de voz americanos AT&T y Verizon, no proclives al uso de WiMAX.

## **2.7 Características Técnicas**

Los sistemas radiantes en todas las tecnologías inalámbricas son elementos muy importantes.

En este apartado estudiaremos los diferentes avances en las antenas que han sido incorporadas al estándar WiMAX. Así, en primer lugar veremos el concepto de antenas inteligentes (*smart antennas*), que se basan en la conformación de haces directivos desde la estación base. Relacionado con el anterior está el concepto de diversidad, tanto espacial como temporal. Por último, dentro de la diversidad, se describirá MIMO y su importancia en el avance del estándar.

### **2.7.1 Smart Antennas**

Los operadores inalámbricos están explorando nuevas vías para maximizar la eficiencia espectral de sus redes y mejorar el retorno de la inversión. Las antenas inteligentes parecen ser una de las mejores alternativas para lograr ese incremento de la capacidad.

Las *smart antennas* proporcionan beneficios en términos de capacidad y funcionamiento respecto a las antenas estándares, ya que pueden adaptar su patrón de radiación para adecuarse a un tipo determinado de tráfico o a entornos difíciles.

Las primeras *smart antennas* fueron diseñadas para aplicaciones militares, que se benefician del uso de haces directivos para ocultar las transmisiones a los enemigos. Estas primeras antenas requerían implementaciones de gran tamaño y una gran capacidad de procesado, lo que provocaba operaciones muy exigentes, con su correspondiente retardo.

Tan pronto como emergieron las comunicaciones personales, era evidente que las interferencias en las redes inalámbricas estaban limitando el número de usuarios concurrentes que la red podía gestionar. Todo ello atendiendo a unos límites de calidad. Como los haces más estrechos propios de las aplicaciones militares eran menos interferentes, los investigadores trataron de trasladar la tecnología al usuario final o doméstico, y así poder incrementar el número de los que se conectan para un espectro dado.

De todas maneras, persistía el problema de realizar cálculos complejos en poco espacio y tiempo, lo cual hizo que esta tecnología no se difundiera hasta la actualidad, con la llegada de los nuevos procesadores. Hoy en día, estas antenas están siendo utilizadas en las principales redes inalámbricas. Actualmente, existen diferentes versiones que están disponibles o en desarrollo. Estas antenas están reemplazando el equipamiento obsoleto en celdas ya existentes, permitiendo rendimientos superiores al 50% respecto al anterior, además de la facilidad de poder orientar el haz de la antena a las necesidades particulares, con las nuevas funcionalidades que pueden ser identificadas.

El procesamiento de señal de las *smart antennas* se realiza en la estación base, utilizando un haz estrecho y controlable para cada usuario. En el caso de su utilización en redes 3G, se han obtenido pruebas que avalan un aumento en la capacidad en usuarios de hasta tres veces respecto a la capacidad original.

Estas antenas son una solución práctica y económica a alguno de los desafíos que presentaba la tecnología WiMAX. Las condiciones del mercado han cambiado, dado que se ofrecen nuevos productos y servicios, que requieren un uso más eficiente del recurso radio. Los operadores pueden emplear distintas tecnologías en diferentes fases de evolución de la red, por lo que parece una alternativa válida para atender a esas necesidades particulares cambiantes. Las *smart antennas* mejoran su rendimiento mediante la combinación de las dimensiones espaciales de la antena con la dimensión temporal. Existen dos tipos básicos que son:

- Antenas de array en fase o multihaz: Pueden usar un número de haces fijos escogiendo el más adecuado o con un haz enfocado hacia la señal deseada que se mueve con ella.

- Array de antenas adaptativas: Utilizan múltiples elementos de antena que gestionan la interferencia y ruido recogido con el objetivo de maximizar la recepción de la señal. El patrón del haz varía con el entorno del canal.

En cuanto a las frecuencias de funcionamiento disponibles para antenas WiMAX y su operación en bandas de frecuencia, dichas antenas pueden estar diseñadas para aplicaciones de banda simple, banda dual, multibanda o banda ancha.

### 2.7.2 Conformación del Haz

Un conformador de haz (o *beamformer*) es un filtro espacial que opera en la salida de un array de sensores o transmisores con el objetivo de mejorar la amplitud de un frente de ondas coherente en relación al ruido de fondo. Esta mejora se basa en el carácter directivo de la señal, concentrando la mayor parte de la energía de la misma en una dirección. Esta dirección de apuntamiento recibe el nombre de MRA (*Maximum Response Angle*), que puede ser seleccionada por el usuario.

La conformación de haz en el dominio del tiempo se realiza mediante el retardo y suma de un array de transductores. Esta suma permite obtener haces más directivos que los convencionales, con la ventaja de poder escoger el ángulo. El retardo utilizado por cada transductor para un determinado ángulo deseado se determina por la geometría del array, mediante proyecciones del ángulo sobre una determinada geometría.

### 2.7.3 Diversidad

Por diversidad entendemos el uso de varios receptores o técnicas de recepción de señales para aumentar la relación señal a ruido y tratar los problemas de pérdidas provocados por reflexiones de señal asociadas a entornos multitrayecto. Las técnicas de diversidad proporcionan dos ventajas principales:

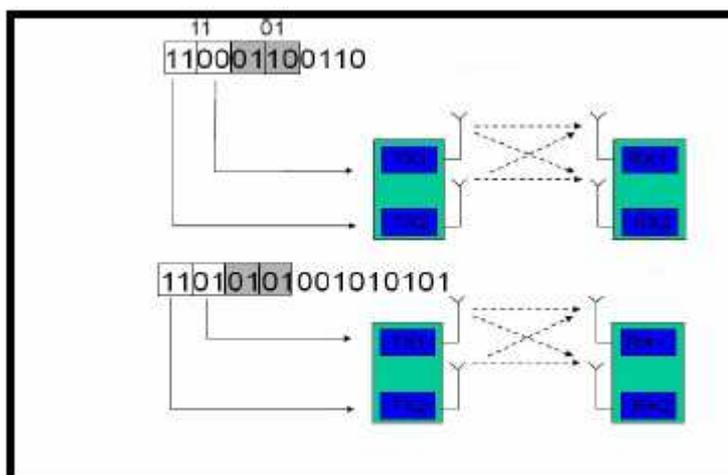
- La primera es la fiabilidad, ya que es la solución óptima para entornos con canales multitrayecto, al tratar los efectos de los nulos que aparecen por la reflexiones.

- La segunda es que la potencia media de señal recibida aumenta, con lo cual se produce una mejora respecto a los sistemas que no implementan este mecanismo.

En general se habla de tres tipos de diversidad: la espacial (basada en la utilización de múltiples antenas), la de polarización (donde las antenas trabajan con polarizaciones ortogonales) y, por último, la de patrón o ángulo (basadas en el uso de *beamforming*).

### 2.7.4 MIMO

Una variedad de sistemas con diversidad son los sistemas MIMO, que utilizan múltiples antenas tanto para recibir como para transmitir, como se puede observar en la figura 2.5. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas. Cada una de ellas se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas. Debido a las reflexiones por multitrayecto, en recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos transmitidas por cada una de las antenas en transmisión.



**Figura 2.5: Esquema MIMO.**

Las tramas de datos se separan en el receptor usando algoritmos que se basan en estimaciones de todos los canales entre el transmisor y el receptor. Además de permitir que se multiplique la tasa de transmisión (al tener más antenas), el rango de alcance se incrementa al aprovechar la ventaja de disponer de antenas en diversidad.

La teoría de capacidad inalámbrica, derivada a mediados de los años 90, extiende el límite del teorema de Shannon, en el caso de la utilización de esta tecnología. Este resultado teórico prueba que la capacidad de transmisión de datos y rango de alcance de los sistemas inalámbricos MIMO se puede incrementar sin usar más espectro de frecuencias. Este aumento es de carácter indefinido, simplemente utilizando más antenas en transmisión y recepción. MIMO requiere la existencia de un número de antenas idéntico a ambos lados de la transmisión, por lo que en caso de que no sea así la mejora será proporcional al número de antenas del extremo que menos tenga.

Los detractores de la tecnología mencionan los costes elevados de instalación y hardware, así como la elevada potencia necesaria como las barreras para llegar a convertirse en una tecnología con una adopción masiva. En realidad, con las densidades de integración microelectrónicas actuales, se están llevando al mercado las primeras soluciones a precio razonable. En cuanto al consumo, el factor más crítico es el de los amplificadores de potencia en transmisión, pero recientes avances nos dicen que los sistemas MIMO

pueden ser diseñados para transmitir la misma potencia que un transmisor tradicional.

Esta técnica está llamada a ser el referente para conseguir los logros fijados por la ITU en cuanto a los equipos de 4G, llegar hasta 1 Gb/s en entorno sin movimiento y 100 Mb/s hasta 150 km/h. En general esto se logrará con la combinación de tres técnicas: las *smart antennas* múltiples (con diversidad y MIMO), la modulación y codificación adaptativa y, por último, la codificación avanzada para el control de errores.

### 2.7.5 Antenas en WiMAX

WiMAX se basa en un esquema de diversidad que envía información desde dos antenas transmisoras, con dos transmisiones consecutivas en el tiempo. Es por ello que la técnica recibe el nombre de combinación espacio-tiempo, aunque es más conocida como transmisión Alamouti [8].

Así, para una subportadora determinada, este esquema de transmisión envía el símbolo X por la antena 1 y el símbolo Y por la antena 2, mientras que en el instante de tiempo siguiente lo hace al revés.

De esta manera, el receptor, que puede ser una única antena, puede aplicar diversidad al recibir el mismo símbolo por canales y periodos diferentes. Por eso se habla de una tecnología MISO (varios transmisores un receptor), en contraposición al MIMO. Intel ha realizado estudios de las mejoras que supone el uso de esta técnica.

WiMAX incluye la técnica de transmisión Alamouti, sin citar el número de receptores del terminal de suscripción, que puede ser sólo uno. El estándar recomienda la utilización de una técnica de diversidad en el caso de utilizar varias antenas en dispositivo de usuario.

En el receptor, WiMAX propone el uso de MRC (*Maximal Ratio Combining*). Se trata de una técnica de diversidad combinada, que es óptima, ya que alinea las fases de las portadoras de los receptores y ofrece una mejora proporcional a la amplitud de la señal de las portadoras recibidas. Este método

se ha verificado como óptimo para canales con ruido independiente. De todas maneras es algo que por las características del entorno no se va a dar, pero este método es una buena aproximación, produciendo los mejores resultados.

## **2.8 Conclusiones**

A lo largo de este capítulo se han abordado diferentes aspectos de WiMAX que presentan dificultades en la comunicación, e implican carencias de la tecnología en el punto de desarrollo en el que se encuentra. WiMAX está en constante evolución, tanto a nivel de investigación, como de desarrollo, y también en el entorno de mercado.

Con la popularización que se está produciendo durante el periodo actual, se prevé que la tecnología se consolide entre los grandes fabricantes de equipamiento, y también entre ciertos operadores de red, que podrán desplegar soluciones de conectividad en el entorno propio de cada operador.

Por último, resaltar la importancia que en el marco de MIMO y WiMAX adquieren las antenas y especialmente las agrupaciones, que aumentan la eficiencia espectral y calidad del enlace. Por ello, el objetivo del presente proyecto se centra en el diseño de una agrupación de antenas para sistemas WiMAX.

En el siguiente capítulo se presentarán generalidades sobre las antenas microstrip. Dichas antenas son las que utilizaremos para la agrupación en este proyecto.