
WiMAX,

una propuesta para el acceso a la banda ancha inalámbrica

Versión traducida y editada del artículo original “WiMAX, una proposta per l’accesso Broadband Wireless”, publicado en el *Notiziario Tecnico Telecom Italia*, Anno 14, no. 2 (Dicembre 2005): 69-90. La Redacción de esta revista, a través del grupo de Asistencia Técnica de ETECSA, ha

cedido amablemente los derechos para su publicación. También se presentó como ponencia en el III Seminario Internacional de Telecomunicaciones, realizado durante la XII Convención y Exposición Internacional, Informática, La Habana, 2007.

Por Giovanni Gasbarrone, Federico Maria Renon, Daniele Roffinella, Marco Spini, Maurizio Valvo

Introducción

Un “club privado” internacional que surge en el lejano 2001, cuyo número de miembros pasa de 10 en el 2003 a más de 200 a fines del 2004 y más de 350 en el 2005 [1]; un líder mundial de los semiconductores que hace una apuesta estratégica sobre una tecnología que debería permitirle imponerse en uno de los sectores más dinámicos y remunerativos de las TLC [2]; variadas decenas de convenios en todo el mundo; estudios de analistas especializados[3]; sitios web dedicados; centenares de artículos —en revistas técnicas pero también en periódicos—; miles de citas; una decena de pequeñas empresas, e incluso, hasta ayer casi desconocidas, que conquistan un importante espacio de mercado y los intereses de los *key player* del sector proponiendo productos propietarios pero colocados en una *roadmap* que promete crear productos **interoperables**; una carrera de **intereses fuertes** que induce a las autoridades de regulación internacional y nacional a emprender acciones para colocar[4] partes de

recursos —espectro electromagnético— para el uso de una tecnología en ciertos aspectos **divididos**; muchas decenas de experimentos planificados en diferentes regiones del mundo: todo esto, y mucha más, es WiMAX —*Worldwide Interoperability for Microwave Access*—, una marca escogida por el WiMAX Forum [5] para recordar un **WiFi maximizado** e indicar un “*standards-based technology enabling the delivery of last mile wireless broadband access, providing fixed, nomadic, portable and, eventually the need for direct line-of-sight with a base station*”. En efecto, los artículos y convenios son pródigos en descripciones, tablas, comparaciones en los que las prestaciones esperadas, en términos de capacidad, cobertura, soporte y aplicaciones, economía de la tecnología WiMAX no pueden dejarse indiferente. Como sucede a menudo, los valores indicados son los **máximos** teóricamente y típicamente no alcanzables, o al menos no obtenibles, para todos los parámetros al mismo tiempo: por

ejemplo el máximo *bit rate* no puede asegurarse en la distancia máxima para el mayor número de clientes con los equipos más económicos. Este artículo se propone contribuir a aclarar acerca de las características, el campo de aplicación y el estado de madurez alcanzado por la tecnología WiMAX.

El acceso de banda ancha inalámbrico

Caracterización de los contextos de aplicación

El Acceso de Banda Ancha (ABA), cuyas siglas en inglés son BWA —*Broadband Wireless Access*— es uno de los sectores de las TLC más interesantes y mayormente en evolución, ya sea desde el punto de vista del mercado o en lo que respecta a las innovaciones tecnológicas. Tal consideración es aún más cierta con la llegada de escenarios convergentes fijo-móvil y voz-datos [6]. El término ABA puede ser usado para designar segmentos de mercado, contextos de aplicaciones y áreas tecnológicas, incluso, más diferentes y heterogéneas.

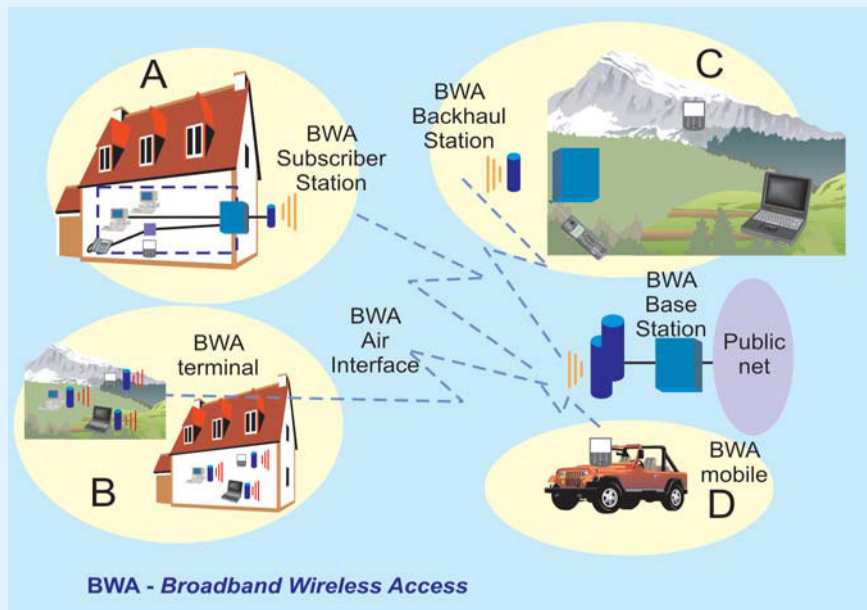


Figura 1 Cuatro escenarios de aplicación para el acceso inalámbrico de banda ancha

Entre las disímiles posibilidades, cuatro escenarios son objeto de interés particular y valoración dada su generalidad [7]:

A. Conectividad de banda ancha para clientes **fijos** en ambiente *home/office*

En este escenario la equivalente **solución alámbrica** es típicamente la xDSL —*x Digital Subscriber Line*—. En presencia de una demanda de servicios y aplicaciones de banda ancha, una posible opción es el uso de una conexión ABA hacia el lugar —habitación, oficina o negocio— a la que, por cualquier razón —técnica, económica, regulatoria, competitiva— resulte problemático o de poco interés llevar la conectividad de banda ancha por medio de una línea fija. En este caso el *end-point* —punto de llegada— es la habitación —o la oficina—, con todas las implicaciones que se derivan: el **contrato** es asimilable a aquellos típicos para clientela residencial —o por PMI—. La ABA *Subscriber Station* podrá utilizar una antena **externa** —con mejores prestaciones de radio—, en el interior de la habitación/oficina podrán existir diferentes soluciones, adaptadas a las situaciones específicas, para permitir la conexión de los terminales de clientes como computadoras personales, *notebook*, palmares, inalámbricos, etc. Por ejemplo, podrán utilizar interfaz Ethernet, redes privadas WiFi —*Wireless Fidelity* / Fidelidad Inalámbrica—, etc., mientras los teléfonos POTS —*Plain Old Telephone Service*— podrían conectarse directamente o mediante adaptadores IAD —*Integrated Access Device*—.

B. Conectividad para clientes **nómadas** en ambiente *home/office/outdoor*

En este escenario el *end-point* es el terminal que la persona puede llevar consigo, en ambiente interior —casa / oficina— o exterior. El terminal está, por lo tanto, dotado de una unidad propia de comunicación inalámbrica de banda ancha. La característica de **nomadismo** implica que el terminal puede conectarse a la red cuando está **quieto** en cualquier lugar, con tal que esté bajo **cobertura** de radio; mientras, cuando el terminal está en movimiento, la comunicación no está asegurada. Por lo tanto, no son necesarios mecanismos para el *hand-over*; un caso significativamente más complejo —en términos de impacto de red—

se tendría en presencia de un requisito de **mantenimiento de la sesión**, que permitiría no desactivar/reactivar el procedimiento de conexión cada vez que el terminal sea cambiado de ambiente.

C. *Backhauling* de sistemas de acceso

Entran en este escenario todas aquellas situaciones, diferentes y específicas, en las que las tecnologías ABA no son usadas a nivel de interfaz cliente-red, sino para llevar la conectividad de banda ancha a los equipos de acceso pertenecientes a la **red**. Un ejemplo típico es el *backhauling* de *hot spot* WiFi: el WiFi encuentra campos interesantes de aplicación, pero en ocasiones es problemático —o no conveniente— usar líneas fijas para conectar el punto de acceso WiFi al resto de la red del operador, y se vuelve interesante considerar el uso de tecnología ABA. Otro caso puede estar representado por la exigencia de conectar estaciones radiobase de sistemas radio móviles —como alternativa, por ejemplo, para el uso de un CDN—. Los requisitos derivados de este escenario sobre las soluciones técnicas están sobre todo en términos de capacidad global del *link* radio —generalmente mayor respecto a los otros escenarios—, su confiabilidad y la resistencia contra las molestias.

D. Conectividad banda ancha para clientes móviles

Este es el escenario que presenta los mayores problemas técnicos: los terminales deben estar conectados a la banda ancha, incluso, en condiciones de movilidad vehicular. Los requisitos son asimilables a aquellos que son válidos para las redes celulares tradicionales, con el vínculo adicional de la banda ancha.

Los cuatro escenarios se diferencian significativamente en términos de requisitos, para una correcta caracterización se consideran algunos parámetros claves relacionados muy breves a continuación:

♦ La capacidad para el *end-point*, vale decir el *bit rate* agregado —valor medio y máximo, con Calidad de Servicio (QoS) asociada— en la interfaz radio hacia la única *Subscriber Station* —en el escenario A—, hacia el único terminal —en los escenarios B y D—, o hacia la única *Backhaul Station* —escenario C—.

♦ La capacidad para el sector de estación base. Un sector es el área geográfica cubierta —servida— por una antena, en correspondencia con una instalación es posible usar configuraciones para las que la cobertura de radio de la zona circundante está subdividida en uno o más sectores. Típicamente, la capacidad por sector —en bit/segundo— corresponde al valor máximo agregado de los flujos de las comunicaciones simultáneas activas en aquel sector. Otro parámetro importante es el radio de cobertura que es la distancia máxima entre el *end point* y la estación de base.

♦ El ámbito geográfico dentro del cual el terminal con acceso inalámbrico permanece limitado cuando accede a los servicios de TLC. Se consideran ámbitos domésticos: *office-room*, *office-building*, *campus* y *wide area* —en los que el terminal obtiene un acceso inalámbrico en áreas geográficas vastas a toda una ciudad o región—.

♦ El tipo de movilidad del terminal: se hará distinción entre **acceso inalámbrico fijo**, en el cual el terminal permanece típicamente fijo en un ambiente específico; **portabilidad**, cuando el terminal puede obtener conexiones inalámbricas en diferentes lugares, pero no está garantizada la continuidad de la sesión; **nomadismo continuo**, entendiendo la posibilidad de mantener la continuidad de sesiones mientras el terminal se traslada a diferentes lugares, pero sin garantizar la ausencia de interrupciones en los flujos —discontinuidad, por ejemplo, en la voz y en el video—; **movilidad**, continuidad de la sesión y de los flujos, como en las redes celulares —con distinciones posteriores según la velocidad de traslación del terminal—.

Es importante tener en cuenta que los diferentes parámetros no son independientes, sino que están fuertemente relacionados. Por ejemplo, una alta capacidad para el *end point* podrá ser asegurada sólo dentro de los radios de cobertura reducidos. Mientras que la capacidad para el *end-point* depende, entre otras cosas, del número de *end-point* activos al mismo tiempo en el mismo sector. Además, estas magnitudes dependen a su vez de diferentes factores como son:

- ♦ el ancho de banda (Hz) disponible en la banda de trabajo;
- ♦ la canalización adoptada, las técnicas de modulación y de codificación;
- ♦ las características de los receptores-emisores de radio —específicamente la potencia— y de las antenas —en particular, la colocación interior o exterior de la antena y del *end-point*—;
- ♦ las condiciones de visibilidad óptica LOS —*Line of Sight*— o no visibilidad —No LOS— entre las antenas de la estación de base y del *end-point*. Las características (estadísticas) de propagación de radio —que dependen de la naturaleza del terreno, de las construcciones, de la vegetación, del clima, etc.—;
- ♦ las interferencias eventuales con sectores adyacentes y entre los terminales, así como la posición recíproca.

Tales complejidades obligan, en los casos prácticos, a adoptar métodos adecuados —y complejos— e instrumentos de dimensionamiento y proyección de la cobertura de radio, para los que se tiene presente las confrontaciones **teóricas** entre las diferentes tecnologías ABA, que en situaciones ideales, pueden tener un valor puramente indicativo.

El acceso de banda ancha inalámbrico: un poco de historia

El panorama de las soluciones y de las tecnologías que se han propuesto para responder a las necesidades de conectividad inalámbrica de banda ancha, es variado y rico. Existen soluciones propietarias o estándares, algunas consolidadas, muy obsoletas y otras en fase de desarrollo. Algunas tecnologías pueden ser consideradas nichos, mientras otras tienen como metas mercados potencialmente mucho más grandes. Con el objetivo de colocar correctamente el WiMAX en el ámbito de las soluciones ABA, se presentan a continuación algunos ejemplos relevantes de tecnologías ABA, remitiendo a la literatura para profundizaciones de las diferentes soluciones [8]. No se considerarán aquí soluciones concebidas para aplicaciones en áreas locales LAN —*Local Area Network*— como el WiFi o personales PAN —*Personal Area Network*— como el *BlueTooth*, aunque se trate ciertamente de soluciones inalámbricas para el acceso de banda ancha. Las limitaciones sobre el radio de cobertura las ponen fuera del contexto analizado en este artículo.

Un factor importante a considerar para orientarse entre las diferentes propuestas de soluciones ABA, es la **porción del espectro electromagnético** usado por cada solución con los aspectos asociados, ya sean tecnológicos o regulatorios. Desde el punto de vista técnico, la zona de espectro usada por las portadoras —que típicamente puede posesionarse desde pocos GHz hasta pocas decenas de GHz— condiciona, específicamente, las características de propagación radioeléctrica, al simplificarlas muchísimo, puede considerarse que con frecuencias más altas es posible disponer de más banda —y, por lo tanto, de más capacidad—. Pero resulta más complicado asegurar la conexión de radio entre las antenas que no estén entre ellas en línea de vista óptica —la co-

bertura interior, de hecho, deja de ser práctica a partir de 5GHz—. Deben usarse, por lo tanto, sectores con radios de cobertura menores o prever sólo instalaciones externas en LOS, y esto comporta costos infraestructurales más elevados. Los aspectos regulatorios son, por otro lado, importantes por ser típicamente las entidades regulatorias nacionales las que, teniendo en cuenta lo que está definido por las organizaciones de regulación internacional, reservan las diferentes porciones de espectro para usos específicos, permiten los usos **libres** de algunos segmentos, y otorgan licencias para el uso de otros. En general, es evidente que el uso de porciones de espectro no otorgadas mediante licencias resulta incompatible con la oferta de servicios con un nivel mínimo de calidad garantizada, debido a posibles interferencias entre los diferentes sistemas activos en una misma zona geográfica a menos que los radios de cobertura estén estrechamente limitados —típicamente pocas decenas de metros—.

Con algunas aproximaciones puede afirmarse que los sistemas ABA no han tenido hasta ahora un desarrollo de negocio especialmente relevante. En el año 1998, los Estados Unidos pusieron en venta licencias por un total de 1300 MHz de banda —mucho mayor que el total de la banda usada para la radio-difusión AM/FM, la difusión TV VHF/UHF y la telefonía celular tomados en conjunto— en las porciones de espectro entre 27,5 GHz y 31,3 GHz. Las licencias estaban destinadas a la oferta de servicios LMDS —*Local Multipoint Distribution Service*— comprendidos en servicios televisivos o telefónicos, o en datos a alta velocidad surgiendo como alternativa a soluciones alámbricas para llevar la banda ancha a clientes residenciales y del sector empresarial. En lo que respecta a las antenas de la esta-

ción base y de los *end-point*, el sistema permite configuraciones ya sea Punto-Punto (PTP) o Punto-Multipunto (PMP) en distancias que pueden llegar a algunos kilómetros. Sin embargo, como consecuencia de la zona —alta— de espectro usada puede operar sólo en condiciones de línea de vista entre las antenas y es sensible a las perturbaciones atmosféricas, a la lluvia, a la presencia de árboles. En el resto del mundo, el término LMDS no es usado con frecuencia, sino que generalmente se reservan porciones de espectro para servicios análogos —por ejemplo, alrededor de los 24 GHz en Alemania, de los 28 GHz en Italia, de los 22 y 28 GHz en Corea y Japón, de los 40 GHz en otros países—. Los escenarios de uso entran en las tipologías A y C descritas anteriormente. Por ejemplo, en Italia los sistemas a 28 GHz son usados principalmente para conectar estaciones de base de las redes radio-móviles. Los costos de las licencias y los costos de los equipos, así como el vínculo de la línea de vista y la falta de un estándar que permitiese la interoperabilidad entre los equipos de diferentes fabricantes, hasta ahora, no han permitido un desarrollo de mercado significativo para el LMDS y sistemas similares.

Incluso en zonas más bajas del espectro han sido asignadas porciones para las aplicaciones ABA. Por ejemplo, en los Estados Unidos las frecuencias de 2,5 a 2,7 GHz eran reservadas para el MMDS —*Multi-Channel Multi-Point Distribution Service*—. El MMDS fue concebido originalmente para la distribución unidireccional de canales televisivos como una alternativa a la distribución de TV vía cable. Sucesivamente la FCC USA ha modificado el plan de asignación de las frecuencias, que permite aplicaciones bidireccionales voz, datos y videos —sin embargo, tales porciones espectrales coexisten con otra tipología de aplicación: el ITFS —*Instructional Television Fixed Service*— y la situación está en evolución. Al operar sobre la frecuencia más baja, los sistemas MMDS son, respecto a aquellos LMDS, menos sensibles a la lluvia, a la niebla y a los árboles; pueden cubrir distancias mayores —incluso algunas decenas de kilómetros— y la tecnología radio a emplearse puede ser menos costosa. Los contextos aplicativos más típicos radican en el escenario A. Por otra parte, las amplitudes de banda disponibles son inferiores —por ejemplo, menos de 200 MHz en la porción de espectro que se centra en 2,6 GHz— y únicamente se mantiene el vínculo de la asignación en línea de vista entre las antenas. También para el MMDS o para sistemas operantes, en otros países, en la zona de espectro vecina, por ejemplo, el 3,5 GHz, no se ha desarrollado un estándar ni mercados significativos.

En marzo de 1999 para enfrentar la falta de un estándar para el LMDS y con el objetivo de crear las bases para el desarrollo del mercado ABA, el IEEE 802 *Standard Committee* creó el Grupo de Trabajo IEEE 802.16 “*on Broadband Wireless Access Standards*” [9]. El objetivo del nuevo grupo era “*to develop standards and recommended practices to support the development and deployment of fixed broadband wireless access systems*” concentrándose precisamente en la banda 28-31 GHz asignada por la FCC. Desde entonces, el grupo ha desarrollado un trabajo notable, ha cambiado el objetivo propio en función del cambio progresivo de las percepciones de potencialidad del mercado y ha desarrollado especificaciones para sistemas muy diferentes entre sí, que será explicado en el párrafo siguiente. Una característica tecnológica distintiva de los sistemas estudiados por el grupo IEEE 802.16 es la adopción de tipo OFDM —*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*—. La idea fundamental del OFDM consiste en descomponer el flujo de los datos a transmitirse en más subflujos

transmitidos paralelamente mediante un conjunto de portadoras con separación de frecuencia para que no exista interferencia mutua entre los flujos —ortogonal entre las portantes, multiplexación por división de frecuencia—.

La OFDM, ventajosa particularmente para los canales de transmisión muy distorsionada, es una técnica conocida desde los años cincuenta; pero se ha convertido en popular sólo después del año 2000 cuando aparecieron en el mercado microprocesadores de costo contenido, capaces de ejecutar las complejas y numerosas operaciones que esta técnica requiere. A continuación se han propuesto algunas variantes para la OFDM, y podrá apreciarse como uno de los obstáculos en la implementación en el mercado, al ser una solución única para el ABA.

El panorama de las posibles soluciones para el ABA incluye otros sistemas, algunos muy interesantes. En especial la evolución de los sistemas radiomóviles ha llevado a la definición de técnicas capaces de suministrar accesos inalámbricos a *bit rate* creciente. Se recuerda el HSDPA —*High Speed Downlink Packet Access*— relacionado con el HSPA, un mejoramiento de la interfaz de radio del UMTS concebida para soportar servicios de multimedia *packet-based* de banda ancha [10]. Estos sistemas, capaces de soportar la movilidad plena del terminal, son idóneos para el escenario *D*. La concentración específica sobre la movilidad es también la característica distintiva del grupo IEEE 802.20 “*Mobile Broadband Wireless Access* (MBWA) instituido en diciembre de 2002 por la IEEE Standards Board [11]. A diferencia del grupo 802.16, el MBWA ha encontrado un consenso limitado y notables dificultades. No obstante, existen sistemas propietarios no distantes del objeto de estudio 802.20 que han hallado un espacio propio en el mercado.

Estándar y reglamentación

Los grupos de trabajo que en el ámbito de instituciones de normalización o en el de organizaciones industriales operan para el desarrollo de los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha, son múltiples. Entre ellos los más importantes son la IEEE 802.16, el WiMAX Forum y el ETSI BRAN, además, como tales son considerados otros grupos —Tabla 1— que trabajan sobre las temáticas relacionadas, como es el caso de los grupos IEEE 802.18, 802.19, 802.20 y 802.21.

Grupo IEEE	Responsabilità
802.11 WLAN	Sviluppo di standard per i sistemi radio per reti locali
802.15 WPAN Bluetooth	Sviluppo di standard per sistemi per comunicazioni personali a corto raggio
802.16 WMA	Definizione di sistemi radio a larga banda per aree metropolitane
802.18 Radio Regulatory TAG	Monitoraggio degli aspetti di regolamentazione dell'uso dello spettro radio in ambito ITU, Nord Americano (FCC, NTIA), Europeo (CEPT, ETSI) e Giapponese (ARIB)
802.19 Coexistence TAG	Sviluppo e analisi delle problematiche di coerenza tra le norme in corso di definizione in ambito IEEE 802 e la compatibilità con le norme esistenti e con quelli in via di definizione presso altri Enti di standardizzazione
802.20 Wireless Mobility (WBWA)	Sviluppo di uno standard che definisca il livello fisico e il livello MAC (<i>Medium Access Control</i>) di un sistema mobile a larga banda
802.21 Handover /Interoperability	Definizione delle norme per abilitare l' <i>handover</i> l'interoperabilità tra reti eterogenee incluse sia le reti realizzate in accordo con le norme IEEE 802 sia con quelle non IEEE 802
802.22 Cognitive Wireless Regional Network	Sviluppo di un nuovo standard per le <i>Cognitive Wireless Regional Area Network</i> destinato a operare senza licenza radio, in modo non-interferente nei canali televisivi non utilizzati

IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers
ITU - International Telecommunication Union
MBWA - Mobile Broadband Wireless Access
WLAN - Wireless LAN
WPAN - Wireless Personal Area Network

Tabla 1 Grupos de normalización para los sistemas radio del IEEE

El IEEE 802.18 se ocupa del monitoreo de la normativa internacional y de la reglamentación del uso del espectro de radio y coordina la actividad de los diferentes grupos IEEE respecto a los otros organismos de estandarizaciones internacionales y regionales.

La IEEE 802.19 examina los aspectos relacionados con la compatibilidad de los estándares en vía de definición en el ámbito IEEE 802. En este momento prepara una norma relativa a los criterios para valorar la coexistencia de los sistemas que usan la misma banda de frecuencia. Estos dos grupos tratan argumentos típicamente encarados por el organismo propuesto a la reglamentación del espectro de radio —como el ITU-R a nivel internacional, el grupo CEPT a nivel europeo y el FCC de los Estados Unidos—. Organismos que publican las normativas, transformadas luego en leyes nacionales, mientras que los grupos IEEE pueden definir lineamientos; pero no tienen titularidad para definir la reglamentación del espectro de radio.

El grupo IEEE 802.20 MBWA se propone desarrollar un estándar a nivel físico y MAC —*Medium Access Control*— de una interfaz en aras de emplearse con los sistemas móviles operantes en la banda de frecuencia bajo los 3,5 GHz. La normalización está optimizada por el transporte de datos IP con *bit rate* de pico para clientes hasta 1 Mbits/s y para diferentes clases de movilidad hasta la velocidad de 250 km/h.

El grupo prevé la aprobación de la norma para el final del año 2006. Sin embargo, la actividad se mueve lentamente y el nivel de consenso recogido no parece, hasta el momento, comparable con el del grupo IEEE 802.16. Los estudios han estado, hasta el momento, dirigidos a la definición del modelo del canal de radio, a la selección del modelo de tráfico y de la tecnología a adoptar.

Otro grupo que tiene el objetivo de definir mecanismos para el soporte de la movilidad es el IEEE 802.21, que estandariza las funciones denominadas

MIHF —*Media Independent Handover Function*— necesarias para pasar de una red a otra sin que se caiga la comunicación —*handover* entre redes heterogéneas—. Los sistemas considerados son los alámbricos con interfaz Ethernet, los sistemas IEEE 802.11, 802.15, 802.16e, en perspectiva los sistemas IEEE 802.20, y las redes móviles definidas por los grupos 3GPP y 3GPP2. La MIHF usa las informaciones presentes a nivel del protocolo LLC —*Link Layer Control*— e intercambia informaciones con los dos niveles inferiores—MAC y el físico— de los estándares IEEE 802 para determinar cuándo es necesario ejecutar el procedimiento de *handover* (Figura 2). Análogamente (Figura 3) para los sistemas celulares las funciones MIHF se van a unir a la funcionalidades ya presentes.

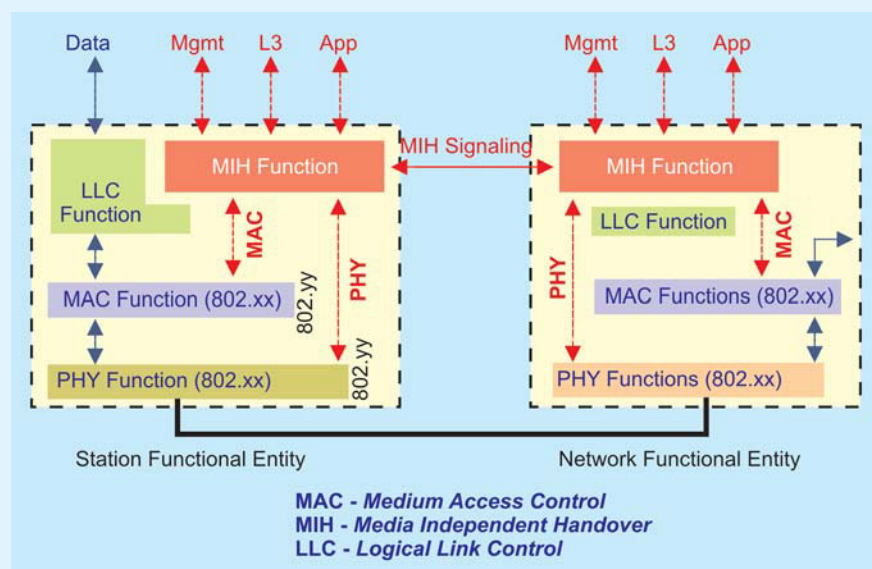


Figura 2 Modelo de referencia IEEE 802.21 para la transferencia entre sistemas IEEE 802

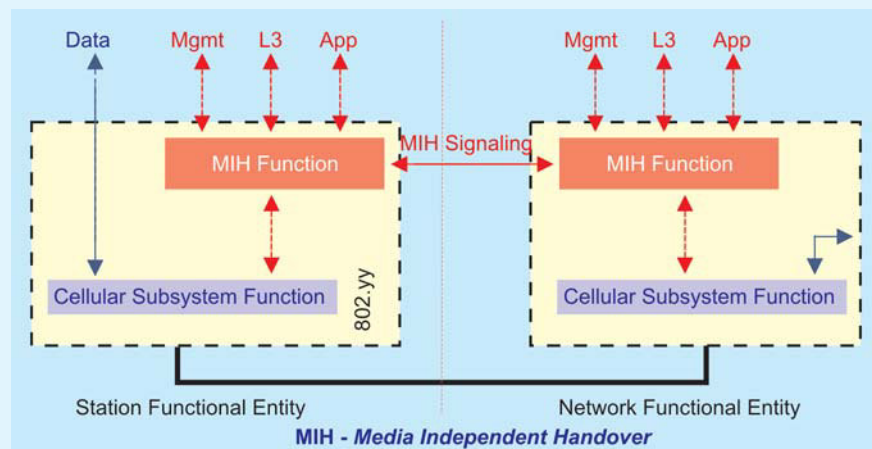


Figura 3 Modelo de referencia para la transferencia entre sistemas IEEE 802 y redes móviles

El grupo de estandarización IEEE 802.16

En el ámbito IEEE, las técnicas específicas de los sistemas ABA están definidas en el Grupo de Trabajo IEEE 802.16 WirelessMAN Standard for Wireless Metropolitan Area Networks. El grupo en octubre de 2004 aprobó el estándar IEEE 802.16 [12] que actualiza y completa estándares elaborados en los años anteriores:

- ♦ IEEE Standard 802.16-2001, primera versión de las especificaciones del sistema.

- ♦ IEEE Standard 802.16a-2003, enmienda de la versión del año 2001 con la inserción de los sistemas que operan en la banda de frecuencias de 2 a 11 GHz.

- ♦ IEEE Standard 802.16c-2002, modificación posterior de la versión de 2001 con la inclusión de los sistemas que operan en la banda de frecuencias de 10 a 66 GHz.

- ♦ IEEE Draft P802.16d actualización de las versiones 802.16 2001 y 802.16^c con la adición de los perfiles de los sistemas operantes en la banda de frecuencias de 2 a 11 GHz.

En este momento el grupo trabaja en la extensión IEEE 802.16e [13] para el soporte de la movilidad, la aprobación ocurrió en diciembre de 2005.

La actividad de estandarización del sistema IEEE 802.16-2004 se ha desarrollado en colaboración con el grupo ETSI BRAN, descrito a continuación. Además, debe recordarse que el sistema IEEE 802.16 es conocido, de manera impropia, como el sistema WiMAX adoptado como referencia por el WiMAX Forum.

El grupo de estandarización ETSI BRAN

El grupo ETSI BRAN —*Broadband Radio Access Network*— que inició su actividad en el año 1998, es responsable de la estandarización de las normas relacionadas con los sistemas de radio de banda ancha, incluidos aquellos aspectos regulatorios, los protocolos de bajo nivel —físico, MAC, DLC—, la arquitectura y la interfaz de red.

El grupo ha definido las siguientes normas:

- ♦ HiperLAN/2 —*High Performance Local Area Network*—: sistema WLAN;

- ♦ HiperMAN —*High Performance Metropolitan Area Network*—: sistema de altas capacidades que opera en las bandas de frecuencia bajo los 11 GHz;

- ♦ HiperACCESS —*High Performance Access Network*—: sistema de

altas capacidades operante en las bandas de frecuencias mayores de 11 GHz.

Las normativas HiperMAN e HiperACCESS y las IEEE 802.16-2004 son similares entre ellas (Tabla 2). Las diferencias entre estas se deben, principal-

IEEE 802.16	ETSI	Bande di frequenza Impiegabili
Wireless MAN-SC	HiperACCESS	10-66 GHz
Wireless MAN-SCa		<11 GHz in bande autorizzate
Wireless MAN-OFDM	HiperMAN	<11 GHz in bande autorizzate
Wireless MAN-OFDMA		<11 GHz in bande autorizzate
Wireless HUMAN		<11 GHz in bande libere

ETSI - European Telecommunications Standard Institute
 HUMAN - High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network
 IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers
 MAN - Metropolitan Area Network
 OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access
 SC, SCa - Single Carrier

Tabla 2 Relación entre los estándares IEEE 802.16 y ETSI BRAN

mente, al hecho de que los estándares europeos generalmente incluyen un número menor de opciones respecto a aquellas previstas en el estándar IEEE 802.16, sobre todo si no son compatibles con algunas normas europeas precedentes. Sin embargo, la diferencia fundamental está relacionada con la versión IEEE 802.16e en cuanto, en el ETSI, el grupo BRAN no puede definir estándares de sistemas que soportan la movilidad—competencia del 3GPP—. En este punto la coincidencia entre los dos grupos desaparece, incluso, aunque tengan la intención de incluir al menos las especificaciones de nivel físico del sistema 16e como las modulaciones OFDMA—*Orthogonal Frequency Division Multiple Access* / Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia— en el estándar BRAN. Por otra parte, se recuerda que la reglamentación europea sobre el uso del espectro de radio producida por CEPT—*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*— hace únicamente referencia a la normativa ETSI.

El Fórum WiMAX

Fundado en junio de 2001, el *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) Forum* es una organización sin fines de lucro que incluye más de 350 empresas interesadas en el desarrollo y el uso de equipos y redes inalámbricas de banda ancha. El Fórum tiene el objetivo de promover la marca WiMAX y de certificar y garantizar la interoperabilidad de los sistemas basados en el estándar IEEE 802.16 y ETSI BRAN. Está organizado en los subgrupos siguientes:

- ♦ *Service Provider Working Group* (SPWG) que tiene el objetivo de establecer una plataforma para los proveedores de servicios. Además, tiene la responsabilidad de definir los requisitos para la arquitectura de red detrás del sistema IEEE 802.16, los modelos de negocios para los productos certificados WiMAX Forum y la funcionalidad para los sistemas futuros IEEE 802.16.

- ♦ *Network Working Group* (NWG) tiene la finalidad de crear las especificaciones de la red para los sistemas WiMAX fijo, nómada y móvil, además de cuánto está definido por el estándar IEEE 802.16. El grupo define las especificaciones de *Stage 2* y *Stage 3* basadas en los requisitos producidos

por el grupo *Service Provider Working Group*. El NWG tiene, por lo tanto, el objeto de definir la arquitectura de red Core para la solución *stand-alone*, de trabajo integrado con los sistemas definidos por el 3GPP, 3GPP2 y TISPAN.

- ♦ *Regulatory Working Group* (RWG) tiene el propósito de monitorear y coordinar las acciones de los participantes desde/hacia los organismos de reglamentación regionales como ITU, CEPT, FCC, ETSI, ANSI y otros para asegurar la armonización de las reglamentaciones inherentes al sistema WiMAX. Además, tiene el objetivo de actuar a fin de habilitar el *roaming* global para los equipos WiMAX nómadas y móviles y de soportar la evolución fijo-móvil.

- ♦ *Sub 11GHz Technical Working Group* (TWG) tiene la intención de desarrollar las especificaciones de conformidades y de interoperabilidades—*test list, test suite, radio conformance test*— para definir los requisitos de red y de las aplicaciones para los servicios futuros e interoperabilidades.

- ♦ *Application Working Group* (AWG) tiene el objeto de caracterizar y demostrar soluciones de las mejores prácticas de aplicaciones y de efectuar comparaciones con tecnologías alternativas con la finalidad de demostrar la capacidad del sistema WiMAX.

- ♦ *Marketing Working Group* (MWG) su objetivo es hacer público y difundir el conocimiento del sistema WiMAX. Se trata del grupo que vende la marca WiMAX.

- ♦ *Certification Working Group* (CWG) lo que persigue es valorar las opciones de pruebas, recomendar los *Testing Lab* para seleccionar y gestionar el programa de certificación del WiMAX Forum, recibir los documentos producidos por el grupo técnico.

El proceso de definición de los estándares puede ser esquematizado del modo siguiente:

- ♦ El grupo SWG define los requisitos para el sistema —*Stage 1*—.
- ♦ El grupo *Regulatory* tiene una interfaz hacia los otros organismos de reglamentación del espectro de radio.
- ♦ Los grupos TWG y CWG cooperan para la definición de los parámetros a ser incluidos en los perfiles y para el afinamiento de las especificaciones IEEE 802.16 con el objetivo de mejorar las prestaciones, por ejemplo, en la selección de algunos valores entre los parámetros opcionales y en la definición de algunos de ellos como obligatorios para un perfil específico.
- ♦ El grupo *Network* define las arquitecturas y los protocolos del sistema —*Stage 2 y Stage 3*—.

El WiMAX Forum ha desarrollado un programa propio de pruebas y certificación que, desde la segunda mitad de 2005, realiza avales por los laboratorios Cetecom de Málaga en España seleccionados como los primeros laboratorios oficiales de certificación.

En este momento el WiMAX Forum prevé producir dos versiones sucesivas de las especificaciones. El objeto de la *Release 1.0* (Figura 4), para lo cual se ultima el *Stage 3*, se espera para dentro del primer trimestre

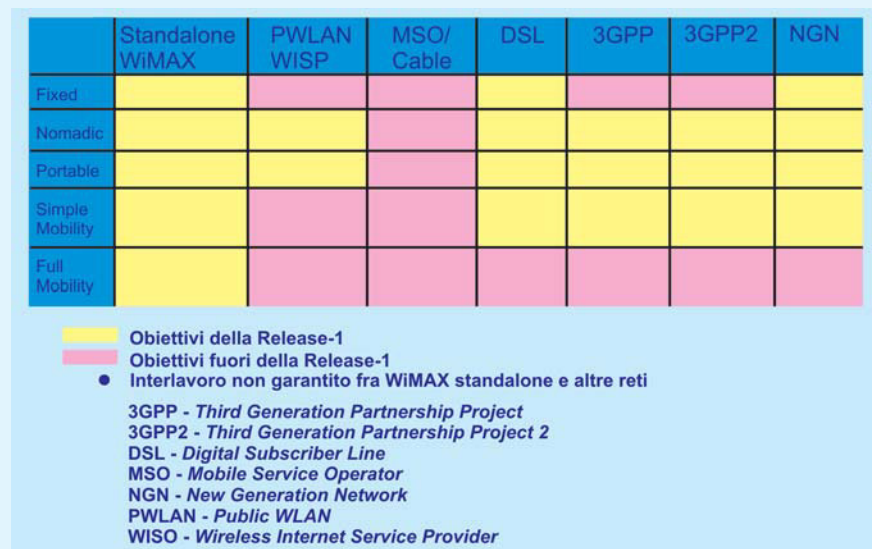


Figura 4 Finalidad de *Release 1.0* de WiMAX

del año 2006, y está la definición de una arquitectura de red WiMAX para un sistema estándar IEEE 802.16-2004, idóneo para las sucesivas sustituciones con el sistema IEEE 802.16e, el soporte de servicios fijos y nómadas y el trabajo integrado con otras redes. El sistema WiMAX Rel 1.0 permitiría realizar los siguientes escenarios de red:

- ♦ WiMAX IEEE 802.16-2004 *stand-alone* sin *Core Network* —o con inclusión sólo de sistema de radio— con acceso **fijo** —xDSL-like, WLAN-like— y nomadismo —WLAN-like—.
- ♦ WiMAX IEEE 802.16-2004 *stand-alone* con *Core Network* WiMAX: acceso **fijo** —xDSL-like, WLAN-like—, nomadismo —WLAN-like— y movilidad limitada —<90Km/h— por medio de móviles IP.
- ♦ WiMAX IEEE 802.16-2004 con *Core Network* 3GPP: integraciones con redes móviles con soporte del nomadismo —recuperación de soluciones 3GPP para trabajo integrado WLAN —*Wireless Local Area Network*— con redes móviles—.

Los contenidos del *Release 2.0* no están aún definidos claramente. Genéricamente se prevé que tales versiones contendrán lo que no podrá ser incluido en la *Release 1.0*.

Reglamentación del espectro de radio

En lo que respecta a las bandas de frecuencias de intereses para los sistemas WiMAX, la situación está en evolución. El sistema WiMAX, según el estándar IEEE 802.16-2004, puede trabajar en la banda de frecuencia entre 2 y 11 GHz, pero el interés está principalmente para las bandas 3,5 y 5,8 GHz; mientras que en lo relacionado con el sistema móvil IEEE 802.16e, el interés parece estar en las bandas asignadas o aspirantes para la evolución de los sistemas IMT-2000, 3G y súper 3G.

La banda de los 3,5 GHz ha sido asignada hace tiempo, en Europa y en gran parte del resto del mundo, a los sistemas de radio fijos. En Italia, el Plan Nacional de Frecuencias, fechado en julio del 2005, mantiene la asignación de la banda de frecuencia 3,4-3,6 GHz para los servicios fijos y la institución que administra es el Ministerio de Defensa. Para permitir la conducción de experimentos técnicos del sistema WiMAX, el Ministerio de las Comunicaciones ha obtenido, en algunas áreas del territorio nacional, la concesión temporal de algunos canales de radio. Al terminar esta prueba experimental, el proceso que podría conducir al uso de la banda con objetivos comerciales debe prever una consulta pública para recoger indicaciones por parte de los sujetos interesados, la definición de la reglamentación para el uso del espectro que acoja las directivas europeas, la fijación de los criterios de asignación de las frecuencias y, finalmente, la obtención de la cesión de forma definitiva de la banda por parte del Ministerio de Defensa. La situación en otras partes es más simple, por ejemplo, en Francia y en Austria ya está prevista la concesión de licencias para usos comerciales.

El grupo de estandarización para la reglamentación del espectro de radio ERO —*European Radiocommunications Office*— es la oficina permanente de apoyo del *Electronic Communications Committee* (ECC) del grupo CEPT —*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*—. ECC une las autoridades para la reglamentación de los 46 países miembros de la CEPT entre los cuales está Italia. El grupo CEPT tiene la autoridad de definir, entre otras, las recomendaciones y las decisiones concernientes al uso del espectro de radio —reglas de uso, métodos de asignación, definición de los estándares a los cuales deben estar sometidos los sistemas de radio para ser usados en la banda de frecuencia— que serán luego recibidas por la directiva de la Comunidad Europea y por las normativas nacionales.

En el momento de la escritura del artículo está en curso de aprobación pública la nueva versión de la ECC *Recommendation* (04)05 “*Guidelines for Accommodation and Assignment of Multipoint Fixed Wireless System in Frequency Bands 3,4-3,6GHz and 3,6-3,8 GHz*”.

Los puntos principales de la recomendación son las indicaciones de los criterios de asignación de los bloques de frecuencia contiguos de al menos 28MHz para operadores, la definición de algunos criterios para la coexistencia de sistemas *Time Division Duplex* (TDD) y *Frequency Division Duplex* (FDD) y, sobre todo, la limitación de la potencia en términos de EIRP a +23 dBW/MHz para la estación máster, a +20 dBW/MHz para la estación periférica externa y a +12 dBW/MHz para la estación interna. De cualquier manera la potencia máxima de ingreso de la antena no puede superar los 13 dBW.

Es importante destacar que para el sistema WiMAX móvil, como para otro sistema que ofrezca movilidad, las bandas posibles son

aquellas asignadas a los servicios móviles o, lo que es lo mismo, a los sistemas definidos, por ejemplo, IMT-2000 por parte del ITU-R. La tecnología IEEE 802.16e no es por el momento reconocida como sistema IMR-2000, por lo tanto, para poder usarla comercialmente es necesario una modificación del cuadro actual normativo/reglamentario. Las posibilidades en vía de discusión en los diferentes entes de estandarización internacionales son:

- ♦ Reconocimiento de IEEE 802.16e como sistema IMT-2000, en tal caso también la nueva tecnología podría usarse en la banda asignada hoy a los sistemas móviles.

- ♦ Definición de las bandas de frecuencias para los sistemas móviles como **tecnológicamente neutrales**, lo que comportaría que el operador pueda escoger la tecnología a usar, independientemente de la conformidad con un estándar específico.

- ♦ Confluencia o armonización del sistema IEEE 802.16e con las especificaciones en curso de discusión en 3GPP relacionadas con los sistemas móviles de próxima generación *Long Term Evolution* (LTE).

Por el momento no se ha alcanzado ninguna decisión final, incluso, si existen fuertes obstáculos para modificar el presente *status quo*.

Tecnología

Características del sistema IEEE 802.16/ETSI BRAN

La tabla 3 muestra las características principales de los sistemas definidos por los estándares IEEE 802.16 y ETSI BRAN. Estos estándares definen, por el momento, cinco sistemas diferentes e incompatibles entre ellos. Se muestran, además, para cada sistema algunas de las características principales —especialmente la técnica *duplexing*, la modulación, la canalización, la técnica de transporte—, pueden variar con la introducción, por lo tanto, de un

número de perfiles de los sistemas. Se describen a continuación las principales características técnicas de los sistemas de radio IEEE 802.16 y ETSI BRAN.

La técnica de *duplexing* define cómo ocurre la transmisión en dos modos diferentes —de la estación base al terminal— y *uplink* —del terminal a la estación base—. En sistemas que funcionan según la técnica TDD se asignan fracciones de tiempo diferentes para la transmisión en los dos modos en el mismo canal de radio. En sistemas que funcionan según la técnica FDD se asigna, por el contrario, un canal de radio para transmisión *downlink* y un canal de radio diferente para la transmisión *uplink*. Con la técnica FDD la estación base y los terminales pueden, en consecuencia, recibir y transmitir al mismo tiempo —modalidad *full-duplex*—. Sin embargo, las estaciones terminales pueden, alternativamente, funcionar como modalidad *half-duplex* para una complejidad menor —por ejemplo, las partes de elaboración digital de la señal pueden ser divididas entre transmisor y receptor—. Se nota que, mientras algunos de los perfiles WiMAX prevén entre ambos las técnicas de *duplexing*, la coexistencia de los sistemas TDD y FDD en canales adyacentes y se debe evitar, sin entrar en detalles de análisis de la planificación de radio basada en la eliminación de interferencias es, de hecho, necesario predisponer un intervalo de guardia suficientemente oportuno entre los sistemas que trabajan según las dos modalidades.

El uso de antenas direccionales caracterizadas por una elevada ganancia permite, en general, mejorar las prestaciones de un sistema de radio, ya sea por efecto de una mayor potencia de la señal útil recibida o por la atenuación mayor que encuentran las señales interferentes —debido a reflexiones en el ambiente de propagación o a

Sistema	Técnicas de duplexing	Modulaciones	Larghezza di canale [MHZ]	Bit rate per canale (*)[MHZ]	Tecnologia di trasporto permessa
Wireless MAN-SC HiperACCESS	TDD/FDD	BPSK 4-QAM 16-QAM 64-QAM	25; 28	32-132	ATM (obbligatoria) IP(obbligatoria)
Wireless MAN-SCa	TDD/FDD/H-FDD	BPSK 4-QAM 16-QAM 64-QAM 256-QAM	3,5; 7; 10; 20	32-132	ATM (obbligatoria) IP(obbligatoria)
Wireless MAN-OFDM Hiper-MAN	TDD/FDD	BPSK 4-QAM 16-QAM 64-QAM	1,75; 3,5; 7; 3; 5,5	1-26	ATM (opzionale) IP(obbligatoria)
Wireless MAN-OFDMA	TDD/FDD	BPSK 4-QAM 16-QAM 64-QAM	1,25; 3,5; 7; 14; 28	1-76	ATM (opzionale) IP(obbligatoria)
Wireless HUMAN-OFDM Wireless HUMAN-OFDMA	TDD/FDD	BPSK 4-QAM 16-QAM 64-QAM	10; 20	8-74	ATM (opzionale) IP(obbligatoria)

* La velocità di cifra di ogni singolo canale indicate sono valutate con la modulazione a minor numero di livelli nel caso di canale a larghezza minima, e con quella a maggior numero di livelli per una larghezza di canale massima.

ATM - Asynchronous Transfer Mode
BPSK - Binary Phase Shift Keying
FDD - Frequency Division Duplexing
H-FDD - Half Duplex FDD
HUMAN - High speed Unlicensed MAN
MAN - Metropolitan Area Network

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access
QAM - Quadrature Amplitude Modulation
SC - Single Carrier
TDD - Time Division Duplexing

Tabla 3 Características principales de los sistemas con estándar IEEE 802.16/ETSI BRAN.

otros Sistemas de Antenas Adaptativas / *Adaptive Antenna Systems* (AAS)—, que permiten modificar electrónicamente la dirección de máxima ganancia de la antena capaces de dirigir el lóbulo principal en la dirección deseada, aquella hacia la que se pretende transmitir o de la cual se desea recibir. Además, sistemas más avanzados en las estaciones base pueden generar más lóbulos y dirigirlos en direcciones diferentes para permitir la recepción/transmisión al mismo tiempo desde/hacia diferentes terminales de cliente, con la minimización al mismo tiempo de las señales de interferencia.

Mecanismos diferentes en transmisiones y en recepciones pueden ser usados para aumentar la confiabilidad y las prestaciones del enlace de radio en presencia de canales con interferencia causada por re-

flexiones múltiples (*multipath*) como generalmente tiene lugar en ausencia de visibilidad entre la estación y el terminal. En la transmisión, el estándar IEEE 802.16-2004 prevé como opcional un mecanismo STC —*Space Time Coding*— que consiste en la emisión de señales oportunamente codificadas por parte de más antenas transmisoras de modo que su recepción, combinada a través de una o más antenas receptoras, ofrezca una ventaja respecto a los sistemas tradicionales con antena única.

En la recepción, los sistemas con diversidad combinan oportunamente las señales provenientes de más antenas receptoras —distan-ciadas de manera adecuada— de forma tal que minimicen el efecto de la propagación *multipath*.

Una de las características principales de los sistemas WiMAX es la

posibilidad de funcionar en condiciones de NLOS, gracias sobre todo al uso de la técnica OFDM.

Los errores de decodificación introducidos por la presencia de subportadoras excesivamente atenuadas, pueden ser eliminados con el uso de una Codificación de Corrección de Errores (FEC) y un mecanismo de ARQ —*Automatic Repeat reQuest*—. Este último permite que secuencias recibidas con errores no corregibles sean retransmitidas a través de una modulación más fuerte, evitando, por lo tanto, la intervención de mecanismo de retransmisión a niveles superiores (TCP), en general mucho más lentos.

Una característica común a todos los sistemas normalizados es la modulación adaptativa o, lo que es lo mismo, la capacidad de seleccionar a cada instante la modula-

ción con el mayor número de *bit* por símbolo que permita con las condiciones de propagación radioeléctrica y de interferencia entre la estación base y el terminal. La modulación adaptativa permite obtener mayor capacidad de transmisión en presencia de elevadas relaciones S/N y una comunicación de todos modos confiables; pero con una capacidad reducida cuando la relación S/N sea baja. La tabla 4 muestra algunos esquemas de modulación y codificación que se emplean en función de la relación S/N. La modulación con el mayor número de símbolos (64-QAM) requiere una relación S/N mayor para mantener el BER —es una probabilidad de *bit* con errores. El

Modulazione	Rate di Codifica	SNR (dB)
BPSK	1/2	6.4
QPSK	1/2	9.4
QPSK	3/4	11.2
16 QAM	1/2	16.4
16 QAM	3/4	18.2
64 QAM	2/3	22.7
64 QAM	3/4	24.7

BPSK - Binary Phase Shift Keying
QAM - Quadrature Amplitude Modulation
QPSK - Quadrature Phase Shift Keying
SNR - Signal to Noise Ratio

Tabla 4 Relación señal/ruido requerida en función de la modulación y tasa de codificación (12, tabla 266)

valor definido por el estándar IEEE es $BER = 1e^{-6}$, significa 1 bit con error por cada 1 000 000 bit transmitido— podrá ser usada para conexiones con terminales de cliente próximo al transmisor, mientras en los bordes del área cubierta por una estación de radio deberá ser usada la modulación más fuerte, aquella que tiene un menor número de símbolos y con un código más redundante —BPSK con FEC rango de código de un medio—.

La modulación con un número más alto de niveles permite transmitir un

número mayor de *bit* por cada símbolo. Se pasa a 1 bit por símbolo con la modulación BPSK a 6 bit por símbolo con la modulación 64-QAM. Paralelamente a los símbolos transmitidos en la unidad de tiempo —*symbol rate*—, la modulación con un número mayor de símbolos permite una cifra de velocidad mayor —*bit rate*— y, por lo tanto, un uso más eficiente de la banda disponible. La modulación adaptativa conduce a una cobertura de **cebolla** (Figura 5), en la cual el *bit rate* disponible para el cliente decrece al aumentar la distancia del terminal de la estación de radio base —un cliente próximo a la estación de radio base dispone de un *bit rate* seis

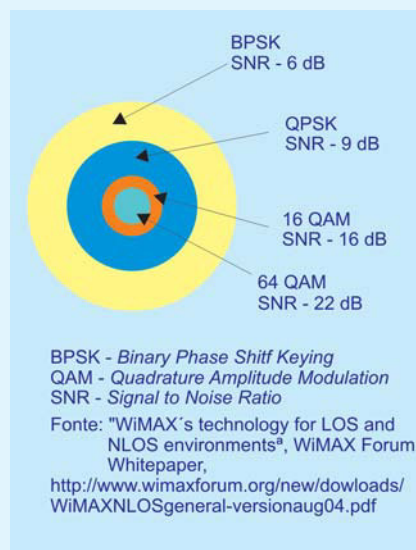


Figura 5 Radio de cobertura en función del esquema de modulación adoptado

veces mayor que un cliente al borde de la celda—.

La modulación y el rango de codificación pueden diferir entre los dos sentidos de transmisión *downlink* y *uplink*, por ejemplo, para una potencia diferente de transmisores o una sensibilidad diferente de los receptores de la estación base y el terminal pueden, además, en cualquier conexión de la estación base/terminal variar en el tiempo en función de las condi-

ciones instantáneas del canal de radio.

La capacidad de los sistemas WiMAX depende del ancho del canal de radio, del tipo de modulación y de la codificación. Como ejemplo para los canales de 3,5 y 7 MHz —el estándar 802.16-2004 prevé anchura de canales entre 1,25 y 20 MHz— los valores de capacidad máxima bruta teóricamente que se obtienen están relacionados en la tabla 5. Si, en cambio, se tienen en cuenta los diferentes *overhead* presentes en la trama, de los tiempos de vigilancia, de los preámbulos, etc., la banda disponible a nivel por ejemplo de interfaz Ethernet de cliente se reduce —los valores netos se muestran en la tabla 5—. Los clientes que comunican al borde de la celda disponen sólo de cerca de 2 Mbit/s mientras, cuando la modulación sea 64-QAM prevista por los sistemas, para los clientes más próximos a la estación de radio base disponen de una capacidad máxima de 21 Mb/s para un canal de radio de 7 MHz. Sin embargo, es evidente que se trata de una banda dividida entre los clientes de un mismo sector que usan al mismo tiempo el canal de radio. Se nota también que la presencia de terminales que operan con modulación de un número reducido de niveles, representa una reducción de la capacidad del sector respecto a los valores máximos indicados en la tabla que, al requerir un mayor tiempo de transmisión para la misma cantidad de información respecto a los terminales que usan modulación con un número más elevado de niveles, sustraen recurso de radio a estos últimos —un sector de radio en el que el 50 % de los terminales usa la modulación 64-QAM 3/4 y el restante 50 % usa la modulación QPSK 1/2 tendría una capacidad total neta igual a 12,8 Mbit/s aproximadamente para canalización 7 MHz ó 6,4 Mbit/s para canalización 3,5 MHz—. Ade-

Capacità lorda per canale 3.5MHz [Mbit/s]	Capacità netta per canale 3.5 MHz [Mbit/s]	Capacità lorda per canale 7 MHz [Mbit/s]	Capacità netta per canale 7 MHz [Mbit/s]	Modulazione	Rate di codifica
1.5	1.2	2.9	2.3	BPSK	1/2
2.9	2.3	5.8	4.6	QPSK	1/2
4.4	3.5	8.7	7.0	QPSK	3/4
5.8	4.7	11.6	9.3	16-QAM	1/2
8.7	7	17.4	14.0	16-QAM	3/4
11.6	9.3	23.2	18.6	64-QAM	2/3
13.2	10.5	26.2	21.0	64-QAM	3/4

Nota: i valori indicati possono variare in funzione di alcuni parametri del livello MAC radio (per es. lunghezza di trama, del tempo di guardia,...).
Fonte: Siemens solution for WiMAX Broadband Access Technology, <http://www.grnet.gr/content/calendar/Siemens.pdf>

Tabla 5 Capacidad teórica máxima neta para la 3,5 y 7 MHz [12, Tabla B.29]

más, el *throughput* percibido por el cliente puede diferir del valor medio —capacidad total neta/número de clientes activos— por efecto de los perfiles de tráfico generados por los clientes —dependientes de los servicios usados, sobre algunos es aplicable un factor de ganancia de multiplexación estadístico—, de la distribución de los clientes en el sector de radio —proporciones de clientes que usan las diferentes modulaciones—, las prestaciones de la conexión de radio —errores causan retransmisiones y, por lo tanto, reducción del *throughput*—. Se nota, por último, que las prestaciones de un sistema WiMAX dependen fuertemente de las condiciones de propagación alejándose para enlaces LOS. Específicamente se atenúa muy rápido el paso de la propagación en un espacio libre —*outdoor*/exterior— al interior de los edificios —*indoor*/interior—. En el primer caso, se pueden alcanzar distancias de decenas de kilómetros en áreas suburbanas/rurales con buenas condiciones de propagación y con antenas muy dirigidas. En el segundo caso, las distancias podrían reducirse al máximo a pocos centenares de metros en áreas urbanas densas.

Un mecanismo de *sub-channeling* puede usarse para evitar que una potencia transmitida por el terminal reduzca la emitida por la

estación de base —para disminuir el costo o para respetar los límites normativos—, reduce excesivamente el alcance del sistema. La subcanalización consiste en usar sólo un subconjunto de las portadoras OFDM disponibles para concentrar mayor energía en igualdad de potencia total transmitida. Por el contrario, esto reduce la capacidad de transmisión al emplear un menor número de portadoras para transferir las informaciones. La tabla 6 muestra la capacidad que se obtiene por sectores para un canal de radio de 3,5 MHz de ancho de canal con dos modulaciones diferentes —QPSK y 64QAM— al variar el número de subcanales usados.

Un algoritmo de control automático de potencia opera de modo que la potencia recibida de la estación base se mantenga en un nivel casi

Numero di sottocanall	Capacità con modulazione QPSK FEC 1/2 [Mbit/s]	Capacità con modulazione 64-QAM FEC 3/4 [Mbit/s]
1/1	2.8	12.7
1/2	1.4	6.3
1/4	0.7	3.2
1/8	0.3	1.6
1/16	0.2	0.8

FEC - Forward Error Correction
QAM - Quadrature Amplitude Modulation
QPSK - Quadrature Phase Shift Keying

Tabla 6 Efecto del sub-canal en la capacidad para una cadena de 3,5 MHz

constante e igual para todos los terminales. Esto se obtiene mediante un mecanismo de medición de la potencia y de señalización bajo control de la estación base. De este modo, los terminales transmiten con la potencia mínima necesaria para un correcto reconocimiento de la señal por parte de la estación de base reduciendo el consumo —factor determinante fundamentalmente para terminales móviles— y las interferencias entre sectores de radio que trabajan en la misma frecuencia.

Los sistemas basados en el estándar IEEE 802.16 usan **mecanismos de criptografía y autenticación** para preservar la seguridad de las comunicaciones. Específicamente, los paquetes que transportan los datos del cliente son criptografiados con el uso del algoritmo DES-CBC —*Digital Encryption Standard-Cyber Block Chaining*—. Además, el protocolo PKM —*Private Key Management*— es empleado para el procedimiento de autenticación y transferencia de las claves de criptografía entre estaciones base y terminales, la autenticación ocurre según un modelo basado en el uso de certificados digitales X.509 y de criptografía en clave pública RSA.

Los sistemas WiMAX efectúan la programación del tráfico sobre el tramo del *uplink* de tipo TDMA sobre la base de un mecanismo de

grant/request —otorga/pide— con un control centralizado en la estación de base. Esto permite suministrar **calidad diferenciada en el servicio** a varios flujos de tráfico, obtener una elevada eficiencia transmisora y, además, ofrecer la posibilidad de controlar los retrasos. Principalmente están definidas cuatro clases diferentes de servicio:

- ♦ *Unsolicited Grant Service* (UGS) para servicios en tiempo real caracterizados por paquetes de largo fijo y cadena periódica —por ejemplo, circuitos alquilados E1, flujos VoIP sin supresión de los silencios—.

- ♦ *Real Time Polling Service* (rtPS) para servicios en tiempo real caracterizados por paquetes de largo y periodicidad variable, por ejemplo, los servicios de video.

- ♦ *Non Real Time Polling Service* (nrtPS) para servicios que admiten los retardos, pero con banda mínima garantizada.

- ♦ *Best Effort* (BE) para servicios sin exigencia de banda mínima garantizada y retraso limitado.

Perfiles del sistema WiMAX

De lo expuesto se deduce que los estándares permiten un conjunto bastante amplio de opciones diferentes. La conformidad de un sistema a las normas IEEE 802.16 y/o ETSI BRAN no garantiza, por lo tanto, que dos sistemas producidos por constructores diferentes sean interoperables. Por ejemplo, un sistema TDD no puede operar con uno FDD. Uno de los objetivos principales del WiMAX Forum es precisamente la definición de un número limitado de perfiles de sistema necesarios para garantizar la interoperabilidad.

Los primeros doce perfiles WiMAX individualizados por el Fórum conciernen a los sistemas indicados en la tabla 7. Se trata de sistemas que prevén el empleo de la OFDM a 256 subportadoras —FTT a 256 puntos— acceso TDMA técnicas de *duplexing* ya sea TDD o FDD, banda de frecuencia 3,5 y 5 GHz.

Arquitectura de red WiMAX

Mientras los estándares IEEE 802.16 y ETSI BRAN están centrados en niveles de interfaz de radio,

Banda di frecuencia [GHz]	Duplexing	Canallzzazione [MHz]
3,4 - 3,6	TDD	3,5
	FDD	7
3,6 - 3,8	TDD	3,5
	FDD	7
5,4 - 5,7	TDD	5
	FDD	10
5,7 - 5,8	TDD	5
	FDD	10

Tabla 7 Perfiles de sistema del Fórum WiMAX para los servicios fijos/independientes

el WiMAX Forum se propone especificar la arquitectura de red global de WiMAX y los aspectos funcionales y de interoperación. Están en desarrollo las actividades y existen las primeras versiones de las especificaciones [14].

La arquitectura WiMAX se basa en los siguientes principios:

- ♦ Soporte de servicios generalizados con banda ancha fija, nómadas y móviles a velocidad vehicular.

- ♦ Adopción de un enfoque de red All-IP.

- ♦ Adopción de los estándares IEEE 802.16 / ETSI BRAN e IETF integrados donde sea necesario.

- ♦ Idoneidad para el despliegue ya sea limitada a gran escala, de ambientes rurales al urbano denso, con bandas de frecuencia que tengan licencias o no, con estructura de red jerárquica o *mesh*.

La versión actual de la arquitectura WiMAX Forum se basa en la *Convergence Sublayer Ethernet / IEEE 802.1Q* (VLAN). La arquitectura de red WiMAX Forum crea la posibilidad de *hand over* con velocidad limitada —<120km/h— también al usar el sistema WiMAX 2004 a través de IP Móvil. Además, el WiMAX Forum tiene el objetivo de definir la interoperabilidad y

el *hand over* también con otros sistemas —por ejemplo, WiFi, 3GPP, 3GPP2, DSL— para terminales multimodos y el *roaming* entre operadores de redes diferentes.

El modelo de red de referencia está representado en la figura 6. La ASN —*Access Service Network*— comprende las funcionalidades para establecer la conectividad a nivel de radio y a los niveles 2 y 3 —sólo de base, por ejemplo, funcionalidades del proxy— con los terminales fijos y móviles WiMAX—indicados respectivamente como SS y MSS—. La *Connectivity Service Network* (CSN) incluye todas las funciones de red de nivel 3 —asignaciones de las direcciones IP, AAA proxy o servidor, control de acceso, movilidad, *roaming*, etc.—. El *Network Access Provider* (NAP) suministra la infraestructura de acceso de radio WiMAX basada en una o más ASN a uno o más *Network Service Provider*. La interoperabilidad entre los sistemas de diferentes constructores para las especificaciones de Rel. 1 está prevista para la única interfaz lógica R1, R2, R3 y R4.

La integración de los sistemas IEEE 802.16-2004 en arquitecturas alámbricas de redes de acceso de banda ancha —típicamente DSL— puede ocurrir según diferentes modalidades. La más simple consiste en sustituir al acceso DSL, generalmente basado en modelos PPPoE ó IPoE, un acceso WiMAX fijo con una sola funcionalidad de *bridging Ethernet* como se muestra en la figura 7.

Para la interoperación con el 3GPP, el WiMAX Forum ha decidido basarse en las especificaciones 3GPP de interoperación de la WLAN con la red móvil, sustituyendo lo que se ha definido para la WLAN con un genérico *Wireless Access Network* que incluya la WLAN o el WiMAX. En la figura 8 se muestra la arquitectura de interoperación en la cual la interfaz Wu, Wa, Wb, Wp, Wi están definidas por el 3GPP, así como

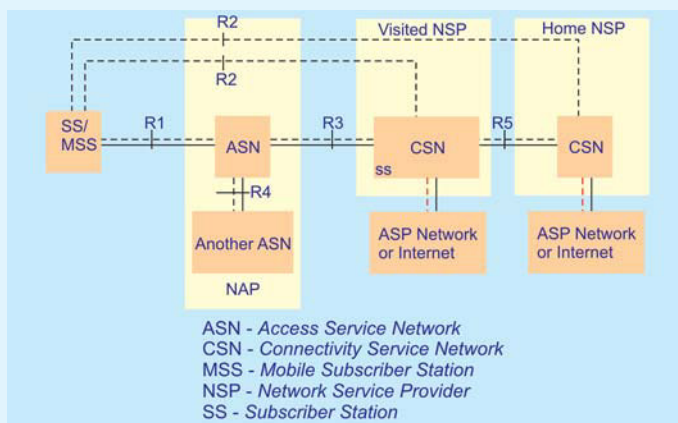


Figura 6 Modelo de Referencia de Red definido por el Fórum WiMAX

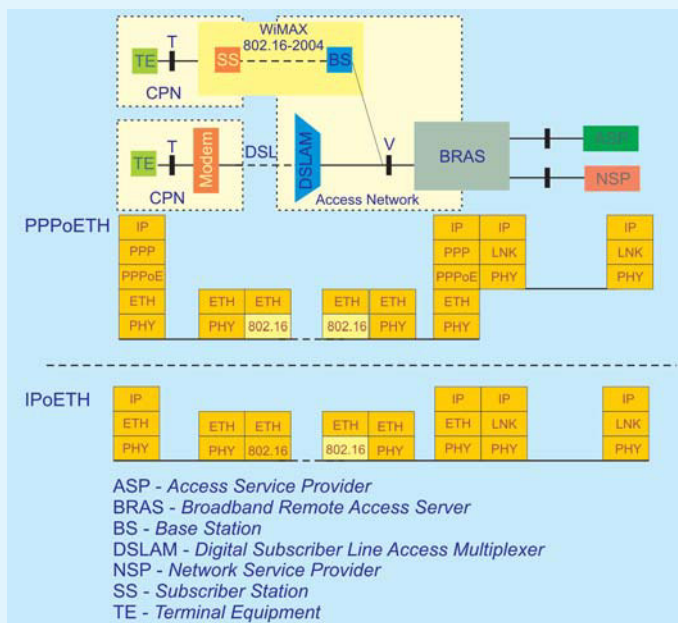


Figura 7 Integración de los accesos WiMAX para los servicios fijos en la arquitectura DSL

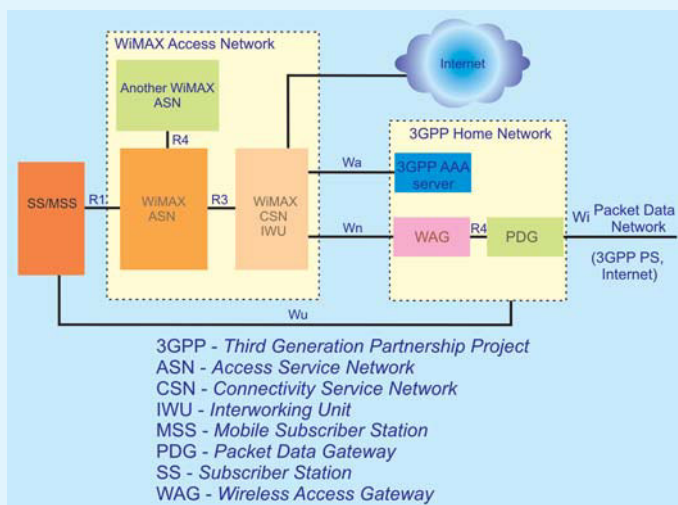


Figura 8 Arquitectura de trabajo en equipo WiMAX y 3GPP

el WAG —*Wireless Access Gateway*— que realiza funciones de control del servicio y el PDG —*Packet Data Gateway*— que realiza funciones de control y acceso a los servicios, asignación de direcciones IP, contabilidad, etc.

Los protagonistas: constructores, proveedor de servicios y redes, ensayo en el mundo

La actualidad de las TLC está prestando atención al WiMAX. Muchos actores sienten simplemente la exigencia de conocer mejor la nueva tecnología, para poder valorar si hay un modo de ubicarla en las estrategias propias. Otros, principalmente algunos fabricantes, ya han apostado sobre el WiMAX y se están empeñando para hacerle alcanzar un grado suficiente de madurez técnica y comercial. Entre todos se distingue el esfuerzo de Intel, que se ha trazado el ambicioso objetivo de recorrer con WiMAX lo que está haciendo con el WiFi: incorporarlo en los sistemas —no sólo a las PCs— que usarán las versiones futuras de la tecnología Intel Centrino. Intel está invirtiendo tanto en el desarrollo del *chip-set*, en las contribuciones técnicas y organizativas al WiMAX Forum, como en una orquestada operación de mercadotecnia a nivel internacional. Intel ha estipulado acuerdos de suministros con algunos de los fabricantes más activos de equipos BWA —Alvarion, Aperto, Aispan, etc.— y tiene acuerdos de desarrollo conjunto con algunos líderes internacionales de equipos de TLC —Alcatel, ZTE, Nokia—. Por otra parte, Intel no es la única que apuesta en el chip WiMAX. Son más de 50 los fabricantes de chip que participan en el WiMAX Forum, y algunos ya desarrollan componentes propios —por ejemplo, Fujitsu, Wavesat, Sequans, picoChip, etc.—.

Entre los constructores de sistemas muy activos están aquellos que,

sobrevivientes de desilusiones sufridas con la tecnología anterior BWA, ven el WiMAX como una oportunidad gracias a la estandarización, a las inversiones de los *chipmaker* y en el interés suscitado a nivel mundial. Se trata típicamente de empresas medianas/pequeñas —incluso *start-up*— especializadas en la banda ancha inalámbrica —y específicamente en el OFDM y en sus variantes— que desarrollan equipos de características diferentes y encaminados a diferentes segmentos de mercado; pero unidas en la decisión de perseguir la certificación del WiMAX Forum —incluso si no faltan quienes siguen diferentes vías alternativas como Flarion que propone un producto propio para la banda ancha inalámbrica móvil—. La relación de estas empresas —que incluyen, por ejemplo, Alvarion, NexNet, Proxim, Redline, SRTelecom, WiLAN, etc.— es grande y en evolución, una lista actualizada se encuentra en el interior de los miembros del WiMAX Forum.

No con mucha fuerza al principio —con algunas excepciones—, ahora incluso los mayores fabricantes de equipos de TLC prestan atención al WiMAX, muchos —como Alcatel, Marconi/Ericsson, Lucent, Siemens— han intentado acuerdos estipulados de OEM con fabricantes menos especializados —o con la compra de acciones directas—, algunos —como la misma Siemens, Huawei, ZTE— han decidido desarrollar una línea propia de productos en cualquier caso —por ejemplo, Motorola— y están haciendo evolucionar productos propios existentes. No pueden dejarse a un lado los fabricantes —como Samsung, LG— que desarrollan sistemas WiBro. WiBro es un juego de especificaciones desarrollado por los operadores y fabricantes coreanos, compatible con el IEEE 802.16e y candidato a ser uno de los perfiles del WiMAX nómada/móvil.

Entre las vivencias que van seguidas para interpretar la evolu-

ción del BWA, un puesto de relevancia le corresponde a aquellas relacionadas con la propiedad intelectual. Como ya se ha tratado, la OFDM y sus variantes parecen representar la tecnología esencial, ya sea para el WiMAX como para los sistemas propietarios alternativos —como el Flarion—, para la evolución de las redes de radio móviles —Cuarta Generación (4G)—. El control de las patentes relacionadas con el OFDM —las bases de datos especializadas incluirán algunas miles— aparece más distribuido respecto a cuánto se ha verificado por el CDMA —una tecnología esencial para los sistemas radio móviles tradicionales—, y podría conllevar a través de la aplicación de la modalidad de **cambio cruzado** de derechos esenciales, un efecto positivo de incidencia limitada sobre los costos de los equipos. También, en consideración del significativo papel desempeñado en el BWA por las empresas medianas/pequeñas, procesos de adquisición empresarial podrían determinar la formación de concentraciones importantes, en específico en el segmento nómada/móvil [15].

En lo que respecta a los protagonistas —WISP, operadores de entidades públicas— que suministran de diferentes maneras servicios a los clientes finales son distintos los modelos de negocios considerados. Entre las tres áreas principales de aplicación (Tabla 8) se encuentran: *Hot Zone/Zona Caliente* —público y privado—, Inalámbrico WAN —conexiones entre PTP y PMP—, Inalámbrico DSL —no se consideran las aplicaciones móviles para las cuales los escenarios no están definidos suficientemente—.

La oferta de Libera en el Reino Unido para un segmento de negocio y la oferta de Altitude en Francia para el segmento de consumidores, pueden ser considerados ejemplos paradigmáticos de modelos de negocios.

Libera es un OLO que ofrece servicios de acceso fijo de banda ancha inalámbrica y está posicionado en el segmento SME de la pequeña y mediana empresa. La oferta de Libera está presente en Bristol con una solución *Aperto Network pre-WiMAX* en la banda con licencia de los 5,8 GHz. Libera declara prever a fines de 2008 la cobertura de 50 ciudades pequeñas en el Reino Unido con la adquisición de 10 000 clientes del sector empresarial. La oferta actual prevé la velocidad de conexión de 2 a 50 Mbits/s en competencia con la oferta SDSL de conectividad de BT a las empresas. Incluso si la oferta habla de QoS garantizada y la mayor banda respecto a la oferta es similar a BT, el precio parece la dificultad principal de la oferta (Tabla 9).

Altitude Telecom opera en Francia como operador único de WLL con una licencia nacional de 3,5 GHz. Altitude inicialmente posicionada en el segmento SME, gracias también a los fondos públicos, ha redactado la oferta de banda ancha inalámbrica en las áreas rurales al segmento residencial y al de la administración pública local. Altitude Telecom está ya activa en algunas regiones como la Vedée —cubierta 100 % con sistemas pre-WiMAX—, Orne y Calvados, para las cuales ha logrado un acuerdo con Alvarion —suministro de 200 estaciones de base BreezeMAX y 1000 antenas exteriores por sedes de los clientes—. Altitude Telecom posiciona su servicio pre-WiMAX como una alternativa al servicio de conectividad DSL con el uso del acrónimo WDSL —*Wireless DSL*— (Tabla 10). Altitude Telecom, que había anunciado en abril de 2005 tener 350 clientes pre-WiMAX prevé migrar de modo gradual hacia CPE interior WiMAX —antena interna modalidad autoinstalada—. El modelo de negocio pronostica también el lanzamiento de servicios VoIP en WiMAX, ya sea para el segmento del sector empresarial o residencial, con la estimación específica de una

	Aree urbane Hot Zone	Applicazioni Wireless DSL	Connettività Wireless P2P/PMP	
	Hot-zones e reti municipali wireless	Accesso broadband in aree rurali	Accesso CDN-like	
Aree geografiche	Piccoli e grandi centri abitati	Aree rurali o non servite da ADSL	Aree metropolitane e rurali	
Mercato	Municipalità, residenziale/SOHO	Residenziale/SOHO	Business	
Soluzione d'accesso	Accesso WIFI e WiMAX per backhauling	WiMAX CPE in accesso	WiMAX CPE in accesso	
Spettro	Non licenziato	Licenziato	Licenziato	
Servizio fisso o nomadico	Servizio fisso e nomadico	Servizio fisso	Servizio fisso	
Players	TelCo, Enti pubblici, WISP	OLO, WISP, TelCo	TelCo, OLO	
Modello di business	Reti municipali wireless Offerta wholesale a ISP, servizi al cittadino	Mercato "sussidiato" per il digital divide	Offerte di connettività ai clienti business	

ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line
 CDN - Collegamenti Diretti Nazionali
 CPE - Customer Premises Equipment
 DSL - Digital Subscriber Line
 ISP - Internet Service Provider
 OLO - Other Licensed Operator
 P2P - Point to Point
 PMP - Point to Multi Point
 SOHO - Small Office Home Office
 WISP - Wireless Internet Service Provider

Tabla 8 Integración de los accesos WiMAX para los servicios fijos en la arquitectura DSL

Segmento mercato	SOHO e SME
Servizi offerti	Connettività e accesso veloce a Internet
Lancio del servizio	Febbraio 2005
Capacità di banda fornita	simmetrica (SDSL-like) da 2 a 50 Mbit/s
Disponibilità del servizio	Bristol (UK)
Principing dell'offerta connettività di Libera	Accesso 2 Mbit/s: £300 canone mensile £495 per l'installazione
Principing offerta di riferimento di BT: connessione SDSL	Accesso 2 Mbit/s: £345 canone mensile £595 per l'installazione

SDSL - Symmetric Digital Subscriber Line
 SME - Small Medium Enterprise
 SOHO - Small Office Home Office

Tabla 9 Principales características del servicio comercial de Libera

reducción cerca del 50 % del costo de las facturas para el segmento de negocios.

En Austria la subasta para la banda de 3,5 GHz se efectuó en octubre de 2004. Las frecuencias asignadas disponen un plan de *roll-out* para cada región con una penalidad hasta de 1 millón de euros por no alcanzar los niveles de cobertura acordados. En la subasta participaron: Telekom Austria —representante de la red fija—, UPC Telekabel —el mayor operador del cable—, WiMAX Telecom —un recién llegado—, Teleport —una empresa local—. Los anuncios de los planes de inversión por parte de los operadores llevaron a individualizar diferentes estrategias de *roll-out* del servicio. WiMAX Telecom quiere efectuar un

Capacità di accesso	1 Mbit/s
Canone mensile	- Solo accesso dati 1 Mbit/s data -39 euro/mese -Offerta "Double play": accesso 1 Mbit/s +VoIP -45 euro/mese
Soluzione CPE	Antenna Outdoor installata da partner Altitude, e CPE indoor

CPE - Customer Premises Equipment

Tabla 10 Esquema de la oferta Altitude Telecom para los clientes residenciales

expansión a nivel nacional desde la mitad del año 2005. UPC anunció que WiMAX será usado en *white spots* donde no existe aún alguna infraestructura de cable o acceso DSL.

Telkom Austria sigue, en cambio, una estrategia de desarrollo del servicio enfocada a las principales

áreas urbanas donde se concentra la población de Austria. Con tal objetivo, Telekom prevé valerse de más suministradores, ha adquirido en la subasta 5 bandas de frecuencias en el campo de los 3,5 GHz —una para cada región en la cual está dividida Austria por el regulador—.

En Francia la reglamentación pronostica las bandas siguientes para lo inalámbrico:

- ♦ 2,4 GHz —sin licencia— aplicaciones WLAN.
- ♦ 3,5 GHz —con licencia— aplicaciones WLL.
- ♦ 3,7 GHz está en curso de examen por parte del regulador.
- ♦ 5,150 – 5,130 GHz exclusivamente para acceso WLAN interior.

El operador Altitude obtuvo antes de la consulta pública WiMAX de ART una licencia nacional —15 MHz *duplex*— y ya ofrece servicios BWA con sistema preWiMAX. ART promovió un experimento en la banda de frecuencia 3,5 GHz con la puesta a disposición de un espectro más amplio del que estaba previsto en un primer momento: 30 MHz en 3,4 – 3,6 GHz y otros 30 MHz en la banda 3,6 – 3,8 GHz. Las frecuencias disponibles fueron subastadas sobre la base de ser regionales o nacionales. France Telecom condujo un experimento en tres ciudades —Amilly, Lehon, La Salvetat— con la evaluación de equipos de tres suministradores. La prueba en Lehon (Aperto) ya fue puesta en marcha y comprende el uso de WiMAX como *backhauling* de *hot-spot* WiFi. En Amilly —Redline Communications— se conectaron 12 empresas clientes, mientras en Le Salvetat (Alvarion) el experimento involucra 32 clientes residenciales. El servicio ofrecido mediante pago es similar al acceso ADSL. Se prevé en el curso del experimento (Figura 9) un mejoramiento en todas las localidades a 4 Mbits/s.

En Inglaterra la mayor parte del espectro ya está asignada y en la banda 3,4 – 3,5 GHz existen operadores a nivel nacional:

- ♦ 2,4 GHz sin licencia WiFi
- ♦ 3,4 GHz licencia nacional asignada al operador PCCW
- ♦ 3,5 GHz licencia nacional asignada al operador Pirax

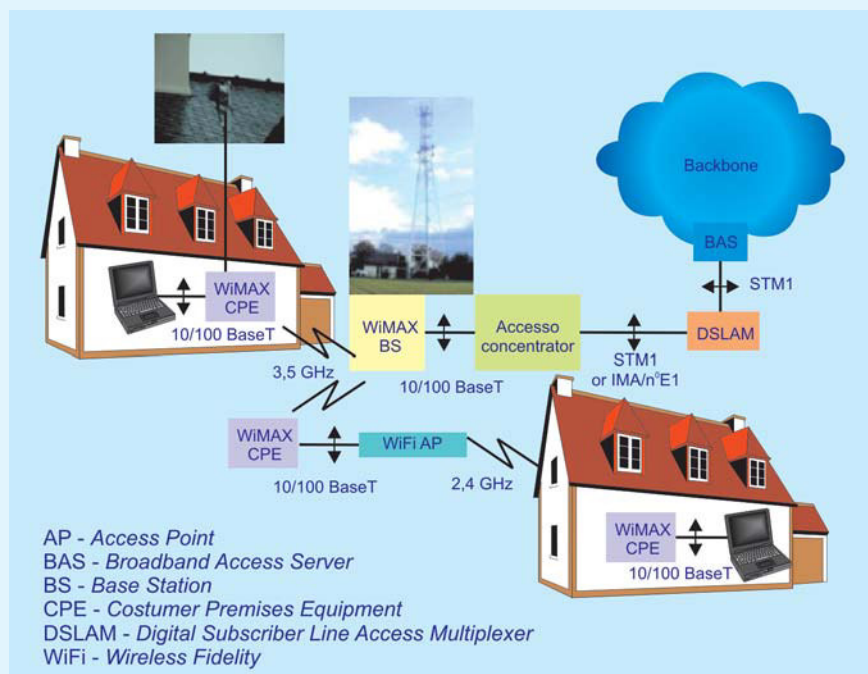


Figura 9 Esquema de FT R&D de la experimentación WiMAX

- ♦ 5,8 GHz sin licencia WiFi – 802.11a
- ♦ 10 GHz varias licencias locales

Oftcom está considerando como candidatas para la licencia WiMAX las bandas 2,010 – 2,025 GHz, 2,500 – 2,690 GHz, 3,6 – 4,2 GHz. La banda 5,8 GHz puede ser usada sólo para conexiones PTP sin protección contra las molestias y, por lo tanto, sin SLA. También en el Reino Unido los operadores se dividen entre aquellos que tienen como objetivo el mercado de las áreas rurales no servidas por banda ancha —como están haciendo Telabria y en alguna medida BT con su reciente prueba piloto en áreas rurales de Escocia, Gales e Irlanda del Norte— y aquellos como Libera que se centra al sector empresarial —con el objetivo de cubrir el 75 % de los clientes de negocios en Inglaterra— con una oferta de capacidad a bajo costo, alternativa para los circuitos alquilados. Entre ambos, los modelos de negocios pueden usar equipos en bandas sin licencia: en áreas rurales gracias a la poca interferencia y congestión en la planificación de las frecuencias, mientras en el caso de negocios gracias a la posibilidad de instalar antenas exteriores para obtener el LOS —*Line of Sight*—. Para las áreas urbanas o suburbanas las bandas licenciadas son fundamentales frente a los riesgos de interferencia y, por lo tanto, crece el interés para las bandas en licencia en la banda 3,4 – 3,5 GHz. Pipex detiene la licencia nacional en el espectro de los 3,5 GHz; pero hasta el momento, ha usado poco esta posibilidad y ha dejado al operador PCCW —participa el Reino Unido Broadband— el papel de operador de referencia para los servicios de banda ancha inalámbrica asignado con su banda 3,4 GHz a nivel nacional. El panorama se completa con la oferta de otros servicios parecidos en diferentes bandas de frecuencia para el segmento del sector empresarial y SOHO, donde operan otras empresas que usan el espectro sin licencia a 5 GHz como Telabria que ha

comenzado a desarrollar su red WiMAX para el suministro de servicios de datos y voz para los segmentos residenciales y empresariales en la región del *South East England*.

En España se produjo el crecimiento de intereses en la banda ancha inalámbrica: Iberbanda, una recién aparecida en el año 2000 para suministrar capacidad de banda ancha en las áreas rurales, opera con una licencia nacional que usa sistemas de radio de 3,5 GHz con canales simétricos 20 + 20 MHz, 3,440-3,460 GHz y 3,540- 3,560 GHz. Durante el período 2000-2003 empleó sistemas LMDS 3,5 GHz con un objetivo de mercado de negocios con una oferta de datos y voz. La disponibilidad de productos pre-WiMAX trajo consigo que Iberbanda cambiara su estrategia y desde el año 2004, además de las áreas rurales, comenzó a suministrar el servicio en las áreas no cubierta por el acceso ADSL. El desarrollo con sistemas pre-WiMAX cubre el 25 % del territorio español —Andalucía, Murcia, Cataluña— y se comienza a planificar la cobertura en las áreas urbanas consideradas mayormente remunerativas. El objetivo es alcanzable en el año 2006 hasta para el 68 % de la población española.

En Japón, Yozan, un operador activo en el área metropolitana de Tokio, logró un acuerdo con Airspan para el suministro de BS y CPE por una cifra que gira en torno a los 12 millones de dólares. Yozan prevé desarrollar una red WiMAX en toda la ciudad de Tokio con el uso aproximadamente de 600 estaciones de base para el suministro de conectividad IP y de servicios de voz, video y datos de banda ancha. La expansión deberá estar caracterizada por una canalización de 30 Mbit/s en un radio de 500 metros. El lanzamiento del servicio comercial está previsto para di-

ciembre de 2005 con ofertas de datos y VoIP. En el futuro el servicio deberá extenderse e incluir video y áreas suburbanas. El operador está, además, en la fase de negociación con el regulador para obtener la posibilidad de extender a continuación el servicio de movilidad.

En Corea el MIC —Ministerio de Información y Comunicaciones— ha asignado tres licencias para el WiBro a Korea Telecom, SK Telecom y Hanaro Telecom —a continuación retirado—. El inicio del servicio comercial está previsto para mediados de 2006, el costo del servicio —1 Mbit/s— será de cerca de 30 dólares al mes.

En América del Norte se evidencia un elevado interés hacia el WiMAX. El crecimiento de las pequeñas y medianas empresas que operan como suministradores de tecnología ó WISP BWA está estimulado por la presencia de segmentos de mercado en el ámbito urbano donde coincide un cierto interés en la oferta de redes alternativas que puedan suministrar a las empresas un *back-up* —diversidad en el acceso— o un acceso a bajo costo para los servicios de utilidad pública y de superación del *digital divide*. También para el acceso a los niveles más débiles de la población. Los grandes operadores, en cambio, han puesto a funcionar algunos experimentos en áreas en las que el nivel de penetración de la banda ancha es escaso y donde el nivel de competencia no es elevado, por lo tanto, pueden alcanzarse posiciones dominantes en el mercado. Estos operadores, entre los cuales están: Nextel, QWest, Covad, Bellsouth, AT&T, Verizon, Sprint, han activado o prevén experimentos en la banda 2,5 GHz y 5,8 GHz. Específicamente Verizon creó una versión Avenue controlada que tiene como misión la oferta de soluciones BWA. Desde el punto de vista tecnológico, se percibe una fuerte tendencia de desarrollo hacia WiMAX en todas las variantes fijas y nómadas que puede encontrar aplicación, ya sea para el acceso o para el *backhauling* según el contexto. Al mismo tiempo se produce al fenómeno de proliferación de las llamadas redes alámbricas de ciudad que, gracias a la solución WiFi Mesh, ofrecen una cobertura metropolitana que aparece como la evolución del modelo WiFi *hot-spot*.

En Italia, el Ministerio de las Comunicaciones promovió, con el apoyo de la Fundación Ugo Bordón, un experimento técnico [16] con el propósito de conocer sobre la potencialidad efectiva y los límites de la tecnología WiMAX. El experimento, que pronostica el uso de porciones específicas de la banda 3,5 GHz —generalmente usada por el Ministerio de Defensa—, contempla en este momento más de 50 sitios de pruebas técnicas con aparatos de constructores diferentes y con la participación de diferentes sujetos entre los cuales está Telecom Italia.

Conclusiones

El acceso inalámbrico de banda ancha está destinado a jugar un papel creciente en las redes de TLC como consecuencia de la evolución de la demanda del mercado hacia la banda ancha y hacia la ubicuidad en el acceso a los servicios. Diferentes factores no hacen obvia la selección que debería ser hecha por los suministradores de redes y servicios de TLC: el escenario regulador, el formarse en torno a los estándares específicos, de áreas de consenso suficientemente amplio para volver económicamente práctica la difusión de aparatos de red adecuados y de terminales interoperables, la capacidad de los nuevos servicios de satisfacer las necesidades reales de los diferentes segmentos de los clientes finales.

Muchos son los aspectos sobre los cuales es necesario aumentar el nivel de conocimiento y de madurez a fin de evitar errores de valoración grandes.

En el plan de la evolución de las tecnologías, el sector del BWA está claramente en movimiento, y frente a los objetivos más ambiciosos, es razonable esperar que, en lo que respecta a las aplicaciones **fijas**, en los próximos años será posible verificar en la práctica las características de los primeros sistemas **certificados**, mientras para la aplicación **móvil** será necesario más tiempo para disponer de elementos de valoración objetivos sobre la potencialidad real de las soluciones actualmente en fase de definición, en específico, en el grupo IEEE 802 y en el WiMAX Forum. Por otra parte, se tiene en cuenta que algunos operadores y fabricantes coreanos se han anticipado respecto a la definición de los estándares con el objetivo de ofrecer, desde el año 2006, servicios móviles de banda ancha con una solución, el WiBro, propuesto recientemente como uno de los posibles perfiles móviles del WiMAX.

En conjunto, las dimensiones de los negocios asociados al sector vuelven oportuno, para las empresas claves en el negocio, un monitoreo atento a los pasos de consolidación de las opciones tecnológicas, sin perder de vista que el escenario en el cual serán colocadas las valoraciones es aquel de la convergencia fijo-móvil, donde se establecerá la competencia en los próximos años. 

Traducción: Lic. Joaquín A. Ferrer Álvarez

Bibliografía

- [1] http://www.wimaxforum.org/news/press_releases/WiMAX_Plenary_and_Summit_Release_Final_2_.pdf
- [2] <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/> [3] <http://www.WiMAXtrends.com/resources.htm>
- [4] http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX_Forum_Regulatory_Whitepaper_v08092004.pdf
- [5] www.WiMAXforum.org
- [6] D. Ceccarelli, G. Ceconi, A. Ciarniello, S. Marino, D. Roffinella, P. Senesi: "Convergenza fisso-mobile: architetturee tecnologie", Notiziario Tecnico, Anno 14 n° 1, Giugno 2005
- [7] http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXThe_Business_Case-Rev3.pdf
- [8] <http://www.broadband-wireless.org/home.htm>
- [9] <http://www.ieee802.org/16>
- [10] C. Guerrini, A. Pace: "HSDPA: la nuova generazione dell'UMTS", Notiziario Tecnico, Anno 13 n° 1, Giugno 2004
- [11] <http://www.ieee802.org/20/>
- [12] IEEE Std 802.16-2004, "IEEE Std for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems {Revision of IEEE Std 802.16 (including IEEE Std 802.16-2001, IEEE Std 802.16c-2002, and IEEE Std 802.16a-2003)}", 01/10/04
- [13] IEEE Std 802.16e-2005, "Amendment to IEEEStandard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems-Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands"
- [14] WiMAX End-to-End Network Systems Architecture - Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points, draft del 15.09.2005
- [15] <http://www.dailywireless.org/modules.php?name=News&file=article&sid=4532>
- [16] <http://wimax.fub.it/>
- [17] S.B. Weinstein, P.M. Ebert, "Data Trasmission by Frequency-Division Multiplexing using the Discrete Fourier Trasform", IEEE Transaction on Communication Technology, Vol. COM-19, n° 5, ottobre 1971, pp. 628-663.

Nota editorial: se ha decidido hacer una excepción en relación con las normas para la bibliografía de nuestra revista, y se mantiene cómo fue utiliza en el artículo original.