Consideraciones
para la selección de un producto
WiMAX móvil 802.16e

Por MSc. Alberto J. García García e Ing. Ebenezer Leyva Machín, Especialistas del Grupo I+D, Vicepresidencia de Desarrollo y Tecnología, ETECSA
alberto.garcia@etecsa.cu, ebenezer.leiva@etecsa.cu

I Introducción

La evolución que, en los últimos años, han experimentado las tecnologías inalámbricas de banda ancha y la necesidad de disponer de alternativas de transporte para entregar al usuario servicios de voz, datos y video han favorecido la adopción de WiMAX por operadores de telecomunicaciones del mundo.

La estrategia de los fabricantes ha estado dirigida a garantizar movilidad, semejante a una red celular; pero con capacidades de transmisión altas. Estas son las razones por las que ETECSA ha iniciado pruebas de WiMAX móvil.

El grupo de trabajo IEEE 802.16 ha desarrollado versiones de estándares en la interfaz de aire para WMAN—*Wireless Metropolitan Area Network*— enfocadas al control de acceso y la capa física. Mientras las versiones iniciales de 802.16a y 802.16d de 2004 se centraban en aplicaciones fijas, donde los únicos elementos son radiobases y terminales, las últimas versiones del 802.16 e de 2005, en conjunto con el Fórum WiMAX, incluyen un controlador y bloques funcionales en la sección de red para soportar movilidad.

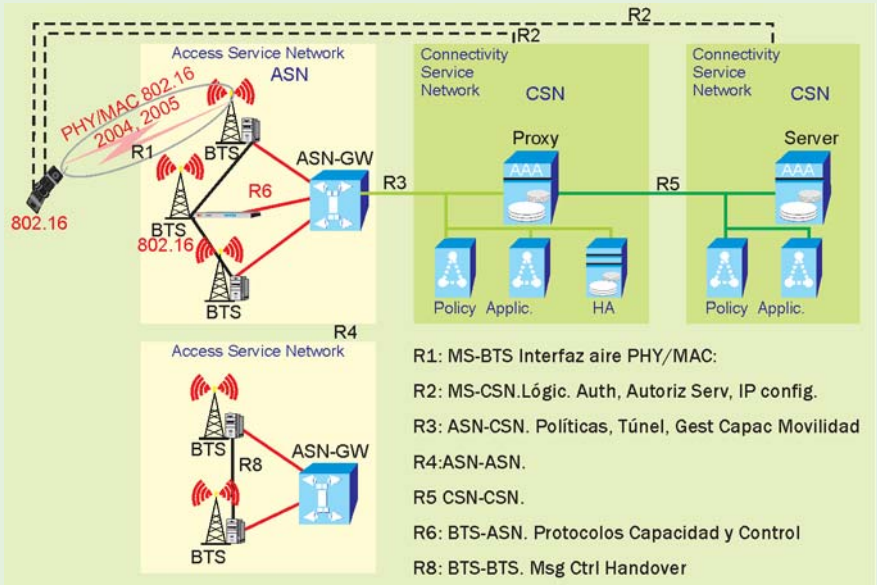


Figura 1 Modelo de referencia de WiMAX móvil. (Fuente: WiMAX Forum).

Las mejoras en WiMAX móvil incluyen un mayor uso de frecuencias portadoras OFDM —*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*—, de 256 en el sistema fijo, a 512 y 1024 en el móvil, en dependencia de la canalización —5 y 10 MHz respectivamente—. Las mejoras en la modulación son notables, mientras que WiMAX fijo usa modulación OFDM, el móvil trabaja con OFDMA escalable —*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (SOFDMA)—, donde la banda de frecuencias se divide en subcanales de 48 portadoras y se le entrega al usuario la cantidad de subcanales que necesite de acuerdo con la aplicación, en vez de entregarles todas las portadoras, como lo hacía WiMAX fijo. En consecuencia, el sistema se hace más eficiente debido a que con dos subcanales por usuario es suficiente para ofrecer servicios de telefonía IP [1].

Para optimizar el uso de los recursos de radio en dependencia del tráfico, se han introducido formas de selección de frecuencias para organizar los subcanales, denominadas FUSC, PUSC y AMC —*Fully Used Subcannalization*, *Partial Used Subcannalization* , and *Adaptative Modulation and Coding*—. Unas son más eficientes que otras en función de la aplicación —voz, datos o video— y del perfil del terreno, ya sea una zona urbana o rural.

Para la red de acceso WiMAX móvil, constituida por el ASNGW —*Access Service Network Gateway* / Controlador de Radiobases— y las BTS—*Base Terminal Station* / Radiabase—, se han desarrollado tres perfiles: A, B y C, que comprenden funciones centralizadas o distribuidas entre estos dos elementos. Finalmente, los fabricantes han adoptado el perfil C —plataforma distribuida—, donde los recursos de radio están concentrados en la BTS, mientras que en el ASNGW radica el control.

2 Arquitectura de la red WiMAX

Los Terminales de Usuario o CPE —*Customer Premises Equipment*— pueden ser fijos o móviles, interiores y exteriores. Usan por lo general Protocolo de Inicio de Sesión —*Session Initiation Protocol* (SIP)— para el servicio de voz sobre IP a través de un puerto RJ11 con un teléfono convencional y permiten asociar por el puerto de datos (RJ45) una red de área local o un Dispositivo de Acceso Integrado —*Integrated Access Device* (IAD)—, que permite multiplicar los servicios de VoIP, desde 2 hasta 48 teléfonos.



Figura 2 Ejemplos de Terminales de Usuario (CPE). (Fuente: ZyXel)

Puede utilizarse una tarjeta PCMCIA WiMAX en la *laptop* para la transmisión de datos. Las ganancias de los CPE varían: PCMCIA: 2 dBi, CPE interior: 6 dBi y CPE exterior: 14 dBi, aproximadamente. Los CPE cumplen con la recomendación de seguridad UIT-T X-805 para establecer encriptación con EAP —*Extensible Authentication Protocol*— en la sección de radio, listas de acceso, IPsec y funcionalidades de servicio hacia la LAN —*Local Area Network*—, como DHCP —*Dynamic Host Configuration Protocol*— para asignar direcciones IP dinámicamente; NAT—*Network Address Translator*— para traducir direcciones privadas a públicas, etc.

La radiobase permite el acceso inalámbrico de banda ancha punto multipunto, organiza la trama, asigna los recursos de radio de acuerdo con los requerimientos de ancho de banda, crea los Flujos de Servicio —*Service Flows* (SF)— y los asocia a Identificadores de Conexión o CID —*Connection Identifier*— en la sección de radio y a túneles GRE —*Generic Routing Encapsulation*—en interfaz de red (R6) hacia el controlador ASNGW, para diferenciar conexiones por usuario y servicios. El controlador ASNGW es básicamente un enrutador, con múltiples funcionalidades: intercambia mensajes con las BTS dirigidos a los terminales, asigna direcciones IP, ya que puede trabajar como servidor DHCP, sirve como cliente AAA —*Authentication, Authorization and Account*— para intercambiar con el servidor AAA perfiles de usuarios que se descargan hacia el ASNGW, en combinación con las BTS crea los SF, encapsula la información en túneles GRE y gestiona los recursos de radio. Además, distribuye las claves de encriptación generadas en el AAA que garantiza la seguridad en la sección de radio. Coopera con otros ASNGW para asegurar el *handover* —es decir, el cambio automático de celda sin interrumpir la comunicación—, entre otras.

Hay algunos servidores asociados a la red WiMAX, como el AAA, el DHCP, el BRAS —*Broadband Remote Access Server*— y el servidor de gestión, que son necesarios para la operación del sistema:

Servidor AAA: mediante los procedimientos de autenticación permite al CPE la entrada a la red, autoriza al uso de recursos y posible facturación del servicio. En el AAA se almacenan perfiles de usuario que contienen la lista de servicios con sus correspondientes QoS —*Quality of Service*—. Cuando un Terminal accede a la red y es validado, estos datos son transferidos del AAA al ASNGW y de ahí a la BTS correspondiente. En caso de ausencia de AAA, se deben declarar en el ASNGW estos perfiles.

Servidor DHCP: se utiliza para asignar direcciones IP de forma dinámica a las BTS a los CPE. El ASNGW tiene esta función incorporada, pero la ventaja de disponer de estos servidores independientes es que se puede manejar mayor cantidad de usuarios simultáneamente y, por lo tanto, de conexiones.

Servidor de Gestión: encargado de la supervisión de radiobases y ASNGW. Ejecuta tareas de tráfico y mediciones de comportamiento del sistema, así como la detección de fallas.

3 Estructura de trama

La trama de WiMAX móvil está formada por 47 símbolos OFDM que se transmiten en 5 ms. Cada uno de estos símbolos está compuesto por 512 ó 1024 portadoras según sea la canalización, de 5 ó 10 MHz.

El tiempo de trama se divide en dos partes, una para el tráfico de la red a los usuarios (*downlink*), y otra para el tráfico de los usuarios hacia la red (uplink), esto es Duplexación por División en Tiempo —*Time Division Duplexing* (TDD)—. Ambas, están

separadas por intervalos de tiempo, denominados *gaps*: el TTG —*Transmit-to-receive Transmission Gap*— entre *downlink/uplink*, y el RTG —*Receive-to-transmit Transmission Gap*— entre tramas consecutivas. Su objetivo es garantizar que la propagación llegue hasta el CPE más alejado de la BTS, antes de que este comience a transmitir y, de esa manera, evitar interferencias.

El preámbulo se transmite en radiodifusión para sincronizar a todos los CPE, posteriormente se transmite un mapa con la definición de los tiempos en que va a recibir y transmitir cada CPE, y este debe llegar a todos, de modo que se envía en la modulación más robusta —*Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)—. El Encabezado de Control de Trama —*Frame Control Header* (FCH)—, informa a los CPE sobre los esquemas de codificación usados en los subcanales y la longitud de los mensajes DL map y UL map.

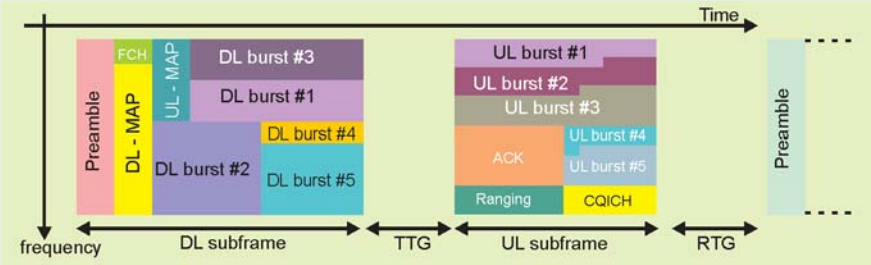


Figura 3 Estructura de trama de WiMAX móvil. (Fuente: Telecom Italia).

A continuación se transmiten bloques de datos en ráfagas, denominados *burst* —ráfagas de datos o bloques de datos—. Cada ráfaga diferente corresponde a información para entregar a un grupo de CPE con igual tipo de modulación. El tiempo de duración de la ráfaga y la cantidad de subcanales que ocupa depende del ancho de banda asignado a cada usuario. Estas ráfagas se transmiten utilizando uno de los tipos de permutaciones o combinaciones de frecuencia configurados en el sistema —FUSC, PUSC o AMC— en el sentido de *downlink*.

WiMAX móvil utiliza modulación y codificación adaptativa para aprovechar al máximo las condiciones del canal de radio. Se censa la Relación S/N —*Signal to Noise Ratio*—, se realiza una estimación del canal de radio, se realimenta al controlador que cambiará el esquema de codificación o modulación en función de esta información, ordenando al CPE el cambio del nivel de potencia para que lleguen todos los CPE con niveles similares al receptor de la radiobase; de este modo, se evita interferencia. Mediante esta combinación se garantiza una tasa de transmisión alta cuando son buenas las condiciones del canal de radio. Este proceso se denomina *ranging* y se complementa con señales CQICH —*Channel Quality Indication Channel*—, que realimentan a la BTS sobre el estado del canal.

4 Consideraciones para la selección de productos WiMAX móvil

Uno de los aspectos más importantes es determinar el alcance y la capacidad máxima de transmisión en cada sector de radio (*throughput*). La forma en que el fabricante implementa la asignación de los intervalos de tiempo y frecuencias determina el rendimiento del sistema. Este proceso lo lleva a cabo el programador o *scheduler*, justo antes de elaborar la trama WiMAX, y no está estandarizado ni por el Fórum WiMAX ni por el estándar 802.16e-2005 [2].

4.1 Selección del tipo de programador

Los fabricantes desarrollan el *scheduler* basado en dos ideas: maximizar la capacidad y garantizar equidad en la transmisión a todos los usuarios. Existen varios métodos, los más utilizados son:

Round Robin: asegura un tiempo igual de transmisión a todos los usuarios, independiente de la condición de radio. No es muy eficiente porque si el usuario no tiene la mejor condición de radio se le asignan recursos de todas formas. No hay realimentación sobre las condiciones del canal de radio al transmisor. Es apropiado para zonas rurales despejadas.

Proportional Fair: asigna un tiempo proporcional a la condición de radio instantánea, generando un valor de prioridad sobre los usuarios. Tiene mejor desempeño que el Round Robin aunque es más complejo. Es adecuado para ambientes urbanos de alta densidad de población porque mantiene un número alto de usuarios con los valores mayores de razón de transmisión mínima.

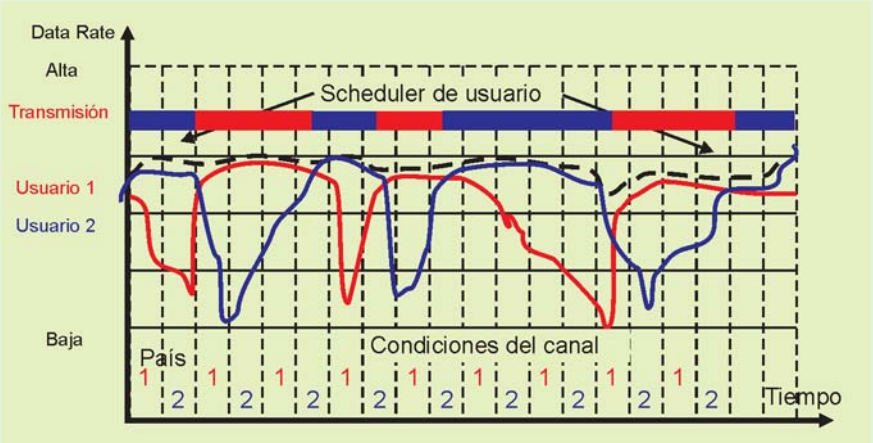


Figura 4 Funcionamiento del *scheduler* con Proportional Fair. (Fuente: Telecom Italia).

Max CINR —*Carrier-Interference and Noise Ratio*—: se sirve al usuario con la mejor condición de radio instantánea. Es injusto porque los CPE más cercanos a la BTS tendrán mayor tiempo de transmisión y mayor capacidad.

4.2 Utilización de técnicas multiantenas

Se utilizan múltiples antenas, tanto en transmisión como en recepción, para aumentar capacidad, cobertura, o ambas. Hay tres formas de utilización:

Beamforming: consistente en usar arreglos de antenas a $\lambda/2$, correlacionando las señales de esta forma. Mediante el procesamiento digital de señales se controla la direccionalidad o sensitividad del patrón de radiación, enviando más información por la antena con mejores características de radio respecto al CPE, lo que logra incrementar capacidad y cobertura.

Multiplexación espacial: se transmiten flujos en paralelo sobre varias antenas, que deben estar separadas alrededor de 10 λ, multiplicando la capacidad por cada una de ellas. No es adecuado para escenarios rurales montañosos.

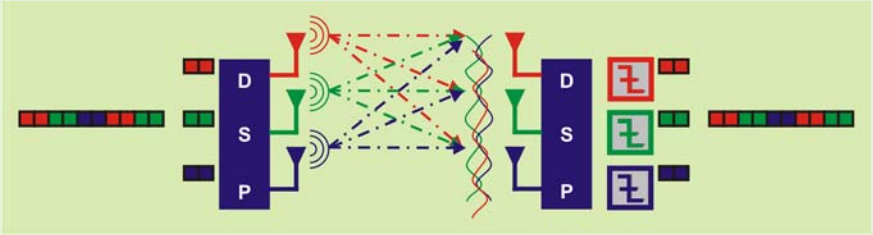


Figura 5 Multiplexación espacial. (Fuente: Telecom Italia).

Codificación Espacio-Tiempo —*Space-Time Coding* (STC)—: se transmite el mismo flujo sobre dos antenas, pero se codifican con algoritmo de Alamuti; por una, se emite la información; y por la otra, su complemento. Esto incrementa la robustez o el alcance.

Al evaluar el desempeño de un sistema es importante probar cuanto mejora el sistema con la activación y desactivación de múltiples antenas.

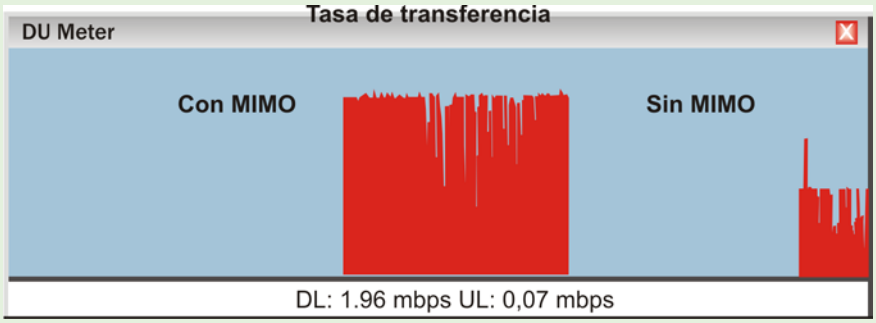


Figura 6 Diferencias en la tasa de transferencia con la utilización de múltiples antenas. (Fuente: Mediciones en Prueba de Campo).

4.3 Utilización de control automático de potencia

Permite a los CPE utilizar la potencia óptima durante su transmisión en subida, disminuyendo la interferencia total del sistema y manteniendo la calidad del enlace. Aunque hay dos métodos bien definidos para ejecutarla, control automático a lazo abierto y cerrado, la implementación de esta funcionalidad es específica del proveedor, y no está declarada como estándar.

4.4 Seleccionar la ubicación del elemento de conmutación de llamadas locales de la red WiMAX

El estándar no define como obligatorio que el ASNGW debe conmutar el tráfico de VoIP local, proveniente de CPE asociados a las BTS. Normalmente este tráfico se debe chequear antes de que ingrese a la red para prevenir ataques. Esto lo hace un Controlador de Borde de Sesión —*Session Border Controller* (SBC)—, que es un *firewall* de estado. Este puede ubicarse junto al ASNGW o en la red IP-MPLS. En este último caso, el SBC sirve, además, para verificar el tráfico proveniente de una zona insegura, como sería el proveniente de IAD. Ahora bien, si el ASNGW se encuentra distante del enrutador de borde de la red IP-MPLS, se consumirían recursos en la red de transporte entre estos puntos, por ejemplo, en la red SDH, para efectuar llamadas locales dentro de la red WiMAX. Entonces hay que valorar qué es más importante, si el empleo de los recursos de transmisión o la seguridad en el segmento WiMAX.

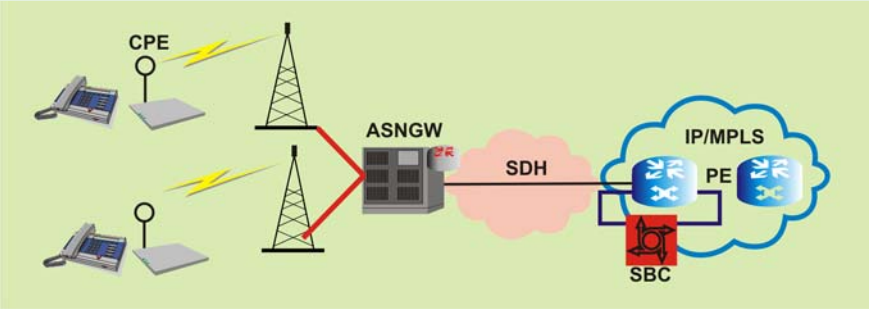


Figura 7 Conmutación de llamadas locales. (Fuente: elaboración propia).

4.5 Verificar interoperabilidad de WiMAX con la red de telecomunicaciones

Para verificar esta interoperabilidad debe realizarse un conjunto de pruebas en las secciones de radio y de red que incluye: cobertura, capacidad de radio en función de cada modulación, en sitios con línea de vista y sin ella, medición de los tiempos de respuesta de los terminales WiMAX en cuanto a registro, entrada y salida de la red, y asignación de direcciones IP, gestión de la QoS, cambio de diferentes tarjetas activas y de respaldo en el controlador de radiobases, marcado de paquetes, prioridades de los mismos, así como pruebas de VLAN —*Virtual Local Area Network*—, VPN —*Virtual Private Network*—, aplicaciones y servicios [3].

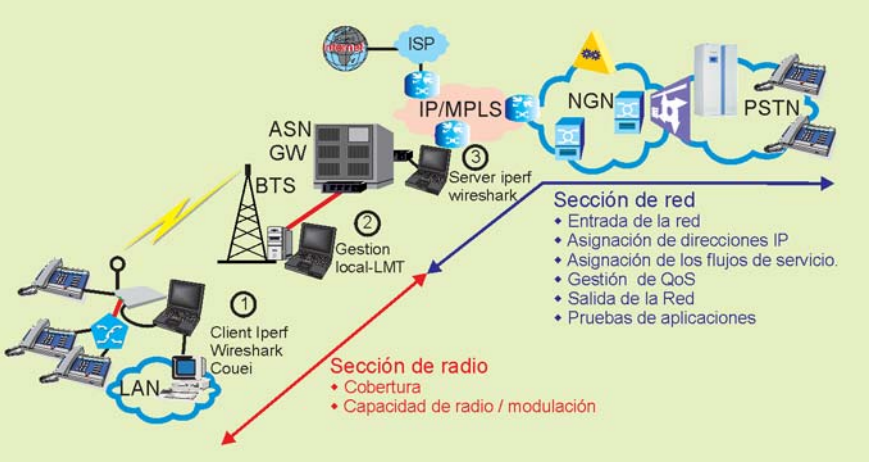


Figura 8 WiMAX en la red de telecomunicaciones. (Fuente: elaboración propia).

Estas pruebas se realizan ubicando computadoras en diferentes puntos de la red con software generadores de tráfico como el IxChariot o Iperf, y se capturan paquetes en otros puntos, con software que escuchan en la red, como Wireshark o Ethereal, mientras se prueba voz, datos y video. En este proceso debe asegurarse lo siguiente:

- Que se configuren adecuadamente en los CPE los aspectos de seguridad declarados en la Recomendación X-805 UIT-T de 2003 y en el estándar IEEE 802.16. Para esto, el tráfico de VoIP debe ser analizado por los SBC antes de transitar por el *backbone* IP/MPLS.
- Que la QoS extremo a extremo se encuentre dentro de los parámetros establecidos, en especial, la variación de la demora, la demora promedio y la pérdida de paquetes.
- Que los servicios de telefonía IP, básicos y suplementarios, funcionen con características compatibles con NGN y PSTN.
- Que puedan hacerse transmisiones de fax y de módems de la banda vocal por el canal telefónico.
- Que se garanticen los servicios correspondientes a estaciones públicas con tarjeta propia, y que los procedimientos de gestión de públicas se hagan de forma transparente.
- Que los reportes de facturación del servicio de telefonía IP de la red WiMAX, a través de los servidores de la red NGN, se identifiquen correctamente.
- Que los controles de ancho de banda declarados en la red IP/MPLS y en el SBC se ajusten al ancho de banda consumido en la red WiMAX como medida de protección.

ETECSA ha decidido comenzar a realizar pruebas de este estándar con equipamiento de diferentes proveedores, algunos ya validados por el segundo proceso de certificación del Fórum WiMAX de octubre de 2008, y se encuentra en fase de evaluación de resultados parciales.

Cuando las pruebas culminen para los proveedores seleccionados, se dispondrán de datos y mediciones que permitirán valorar en qué zonas es más efectivo desplegar un sistema, realizar un análisis costo-beneficio en relación con otras tecnologías en el sector de acceso, etc. Se requiere de experiencia, coordinación entre el personal de los diferentes segmentos de red y de nuevos conocimientos para enfrentar esta tecnología y hacerla funcionar adecuadamente en la red.

Antes de proyectar la implementación de WiMAX, independientemente de los resultados técnicos que ofrezcan las pruebas de campo, es necesario prestar atención a numerosos aspectos, tales como:

- Emitir las regulaciones de frecuencias que se requieran para permitir la explotación de una red WiMAX en la banda de 2,5 GHz.
- Realizar un estudio de los diferentes casos y escenarios que respalden la factibilidad económica de soluciones WiMAX.

- Analizar los niveles correspondientes de las políticas de comercialización del servicio, teniendo en cuenta que el costo por línea se incrementa notablemente al incluir el costo del equipo terminal, mientras que sin considerarlo oscila entre valores razonables comparados con el de otras tecnologías. Debe alcanzarse un equilibrio entre soluciones de carácter social y posibles soluciones comerciales residenciales, por ejemplo, para el acceso a la Red Cuba.
- Coordinar aspectos organizativos internos de la Empresa en cuanto a la provisión, operación, mantenimiento y gestión de los servicios.

5 Conclusiones

El estándar IEEE 802.16e-2005 se encuentra en constante evolución para mejorar su desempeño en los sectores de radio y red. Los aspectos de estandarización en los bloques funcionales e interfaces no están resueltos aún, lo que obliga a ser cuidadoso con la selección del equipamiento, especialmente con las versiones de software.

Para valorar un producto deben considerarse los aspectos tratados anteriormente, las recomendaciones del proveedor y el escenario en particular, aún cuando el sistema haya pasado con éxito las pruebas de campo.

Los sistemas WiMAX candidatos a proyectarse sobre la red deben servir como soporte de transmisión transparente para servicios de telecomunicaciones, independientemente del proveedor del núcleo de red de próxima generación existente en el país.

El acceso inalámbrico para servicios de voz y datos en nuestro país no debe sustituir, en ninguna medida, las soluciones por fibra o cobre, sino constituir una capacidad adicional de despliegue de accesos y servicios que integre y enriquezca la cartera de soluciones técnicas de acceso de ETECSA, y contribuya a elevar los índices de penetración de los servicios de voz y datos de nuestro país.

6 Referencias bibliográficas

[1] Andrews, Jeffrey G., Ghosh, Arunabha and Muhamed, Rias. *Fundamentals of Wimax: Understanding Broadband Wireless Networkin.* USA: Prentice Hall, 2007.

[2] IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/ Cor1, 2005. (Amendment and Corrigendum to IEEE Std 802.16-2004) - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum.

[3] "Overview of the WIMAX Radio Access Technology", Gruppo Telecom Italia, Mobile WIMAX Worshop, 2008.