

Una aproximación de redes híbridas a la tecnología de fibra óptica y cable coaxial

Ing. Raúl Eugenio Rodríguez Hernández, Jefe de Grupo E, Centro de Telecomunicaciones Principal Caibarién, ETECSA; Ing. Luis Armando Moreno Valiño, Especialista en Telecable Internacional, Gerencia de Servicios Técnicos Corporación CIMEX S.A., Villa Clara y MSc. Hiram del Castillo Sabido, Profesor de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Dpto. de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
raul.rodruiguezhernandez@etecsa.cu, armando.moreno@cimex.com.cu, hiramdl1948@uclv.edu.cu

Introducción

Las redes Híbridas de Fibra Óptica y Cable Coaxial (HFC), son aquellas que están compuestas por líneas de fibra óptica y cable coaxial, y conforman una red de transmisión de banda ancha.

La tecnología HFC hace referencia a cualquier configuración de red de fibra óptica y cable coaxial que puede ser

usada para redistribuir varios servicios de televisión digital [1]. Está integrada por elementos de redes y sistemas de transmisión que permiten realizar un aprovechamiento efectivo del ancho de banda disponible, se ha desarrollado por los operadores de televisión por cable, en su competencia con los operadores de telecomunicaciones, con el

objetivo de mejorar las características del medio de transmisión. Con la inclusión de la fibra óptica y de amplificadores mejorados en la red se logra obtener comunicación bidireccional, desde la cabecera hasta el usuario y viceversa, con la posibilidad de brindar servicios interactivos personalizados, altamente apreciados y demandados.

En Cuba, la operadora Telecable Internacional, encargada de ofertar las señales de televisión por cable, da los primeros pasos en la evolución de sus redes puras coaxiales a redes HFC con el consecuente aumento del valor agregado en la entrega del paquete de servicios de telecomunicaciones a sus clientes.

El presente artículo ofrece una aproximación al tema.

Componentes principales del sistema HFC

A finales de los años 80, empezaron a implementarse a nivel mundial las redes de televisión por cable (CATV) con la arquitectura HFC. La figura 1 muestra, de forma simplificada, los principales componentes de la misma.

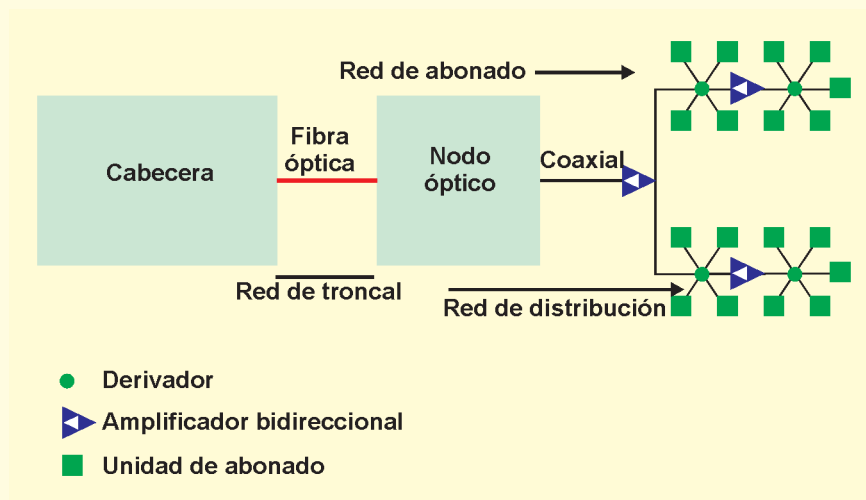


Figura 1 Estructura simplificada de una red HFC. (Fuente: elaboración propia).

Básicamente el sistema está compuesto por cuatro partes:

- ♦ Cabecera
- ♦ Red troncal
- ♦ Red de distribución
- ♦ Red de abonados o acometida

Cabecera

Se encarga de supervisar y monitorear la red, es el órgano central de administración del sistema y donde se realizan las funciones de tarificación y control de los servicios prestados [2].

En ella convergen las señales de televisión y radio obtenidas de diferentes sistemas de distribución como satélites, microondas, enlaces con otras cabeceras, estudios de televisión o generadas localmente. Otros tipos de informaciones a ser distribuidas por el sistema —voz y datos— son obtenidas mediante la conexión adecuada a la Red de Telefonía Pública Conmutada (RTCP) e Internet, mediante un proveedor de servicios, respectivamente.

Red troncal

Representa el primer paso en la evolución de la primaria red CATV, todo coaxial, de los años 40, hacia la actual red HFC, donde se ha realizado la sustitución del antiguo troncal de cable coaxial por conexiones punto a punto de fibra óptica y la consecuente eliminación de las largas cascadas de amplificadores de Radio Frecuencia (RF). Además, conecta la cabecera con los nodos ópticos. Puede estar conformada por un par de fibras que soportan el canal descendente y el ascendente por separado en cada una de ellas o por una sola fibra empleando, entonces, la multiplexación por división en longitudes de onda —*Wavelength Division Multiplexing* (WDM)—.

Para aumentar la confiabilidad, esta red se implementa, generalmente, con una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une al grupo de nodos ópticos primarios.

El nodo óptico es el dispositivo que sirve de enlace entre la red primaria y la red de distribución. Tiene como función principal la conversión de la señal óptica a eléctrica (O/E) en el canal descendente y el proceso inverso (E/O) en el canal ascendente.

Red de distribución

Transporta las señales entre el nodo óptico y las proximidades del abonado. Es una red con estructura de árbol-ramas de cable coaxial. Soporta la información multiplexada en frecuencia en ambas direcciones y adapta el sistema de transporte a las características específicas del bucle de abonado.

Generalmente, el tipo de cable utilizado es el estándar RG 500 autosoportado. Las características de atenuación y respuesta en frecuencia del cable coaxial son compensadas en la red con la inclusión de amplificadores bidireccionales.

Red de abonados o acometida

Corresponde a la última milla, realiza la conexión entre los derivadores y la base de conexión de abonado. El tipo de cable coaxial más utilizado es el estándar RG 6 debido a que presenta mejores características físicas y mecánicas para su instalación dentro de los locales de los abonados.

Canales de transmisión

Para lograr el aprovechamiento de las transmisiones en ambas direcciones de la red se implementa el canal de retorno, conocido también como canal ascendente o *upstream* (US) haciendo uso de la zona baja del espectro de frecuencias. Para el canal de sentido contrario, descendente o *downstream* (DS) se emplea la gama consecutiva superior de frecuencias. La figura 2 muestra el espectro y empleo de ambos canales.

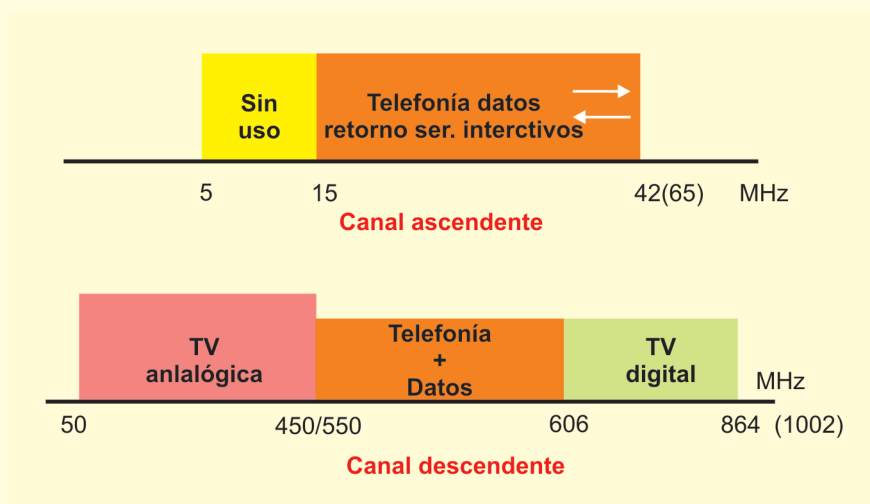


Figura 2 Distribución de frecuencias en ambos canales. (Fuente: elaboración propia).

El uso de las diferentes bandas de frecuencias, tanto para el canal descendente como para el de retorno, puede variar en dependencia de la región y el país en cuestión.

Canal ascendente

Las señales generadas principalmente por el equipo del lado del cliente —*Customer Premises Equipment* (CPE)— como telefonía, datos, solicitudes de video bajo demanda —*Video on Demand* (VoD)—, pago por visión —*pay per view* (PPV)—, etc., recorren la red de distribución en sentido ascendente, pasan por los amplificadores bidireccionales hasta llegar al nodo óptico donde convergen las señales de retorno de todos los abonados asociados al mismo, se convierten en señales ópticas en el láser del receptor óptico de retorno y transmitidas hacia la cabecera. El espectro de frecuencias, entre 5 y 65 MHz, es compartido por todos los usuarios servidos a través de un nodo óptico. Los retornos de los distintos nodos llegan a la cabecera por una fibra destinada sólo para ello o multiplexados a distintas longitudes de ondas con el empleo de la misma fibra del canal descendente. Existen otras señales propias del trabajo de la red como la sincronización, monitorización, gestión y administración, etc que no son generadas por los usuarios.

Canal descendente

Transporta las señales desde la cabecera hacia los usuarios.

El plan típico para una red de cable ubica los servicios analógicos —canales NTSC AM-VSB— en el rango de 54 a 450/550 MHz multiplexados en frecuencia; y los servicios digitales —canales multiplexados en QAM MPEG-2— en el rango de 450/550 a 864 MHz. La ubicación en el espectro de los diferentes servicios puede variar debido a que los canales analógicos y los canales digitales pueden ser colocados en cualquier lugar del rango de operaciones del canal descendente [3]. La banda hasta los 1002 MHz queda reservada para aplicaciones en desarrollo.

Estandarización

La integración de varios servicios como Internet de banda ancha, el servicio de telefonía IP y la televisión interactiva a través de una red HFC, requiere la utilización de una plataforma integrada y eficiente que permita gestionarlos de manera fácil y rentable para el operador de TV por cable. La bidireccionalidad de la red posibilita la interactividad del sistema, lo cual precisa que el equipamiento empleado tenga en cuenta el desarrollo de protocolos de Control de Acceso al Medio —*Media Access Control* (MAC)— para el tráfico compartido en el canal ascendente.

Varios esfuerzos se han realizado para la estandarización de los protocolos y el equipamiento empleados en la red. Tres son las principales aproximaciones a considerar:

El estándar IEEE 802.14

Realizado en 1998, gracias a la contribución de varias instituciones y compañías como IBM, AT&T, Columbia University y el NIST. Soporta servicios tanto de Ethernet como ATM.

El estándar DVBC – DAVIC

Su objetivo básico es la provisión de servicios interactivos orientados a IP en adición a la distribución de canales de televisión analógicos o digitales.

El proyecto DVB —*Digital Video Broadcasting*—, consorcio con más de 270 compañías de difusión, fabricación, operadores y reguladores de la red, especifica un estándar de transmisión propio para sistemas digitales de televisión por cable (DVB - C) que describe la modulación empleada, la codificación de canal y la estructura de tramas de los múltiples programas, basado en el estándar europeo ETS 300 429 de diciembre de 1994. El 18 de febrero de 2008 se anunció la segunda versión (DVB-C2), cuyo objetivo principal es aumentar la eficiencia del espectro de frecuencias utilizado, a fin de optimizar el rendimiento de la red HFC.

El estándar DOCSIS

Permite añadir transferencias de datos de alta velocidad a un sistema de televisión por cable. Muchos operadores de CATV lo emplean para proporcionar acceso a Internet sobre una infraestructura HFC existente. El estándar DOCSIS —*Data over Cable Service Interface Specification*—, es quizás el más importante dentro del ámbito de las redes de cable, prueba de ello es su aceptación como estándar por ITU, ETSI y SCTE [4].

En agosto de 2006, se publica la cuarta versión del estándar (DOCSIS 3.0) en la cual se emplean técnicas de combinación de canales —*channel bonding*— para incrementar de manera significativa las velocidades tanto en el

canal ascendente como en el descendente. Brinda, además, soporte para IPv4 e IPv6 indistintamente, desarrolla mecanismos asociados para la mejora de la calidad del servicio y perfecciona los mecanismos de seguridad en la red. Todas estas características mejoradas hacen que mediante DOCSIS 3.0 los operadores de televisión por cable puedan añadir los servicios de IP-VoD y servicios de multidifusión de IPTV a sus usuarios.

En Europa, paralelamente se ha desarrollado un estándar homólogo de DOCSIS que responde al nombre de euroDOCSIS cuya diferencia principal entre ambos radica en que el segundo toma como ancho de banda de canal 8MHz y la versión americana emplea 6MHz.

Un sistema consta básicamente de un CMTS —*Cable Modem Termination System*— ubicado en la cabecera y un módem de cable —*Cable Modem (CM)*— en el CPE, comunicados a través de la red HFC, como se observa en la figura 3.

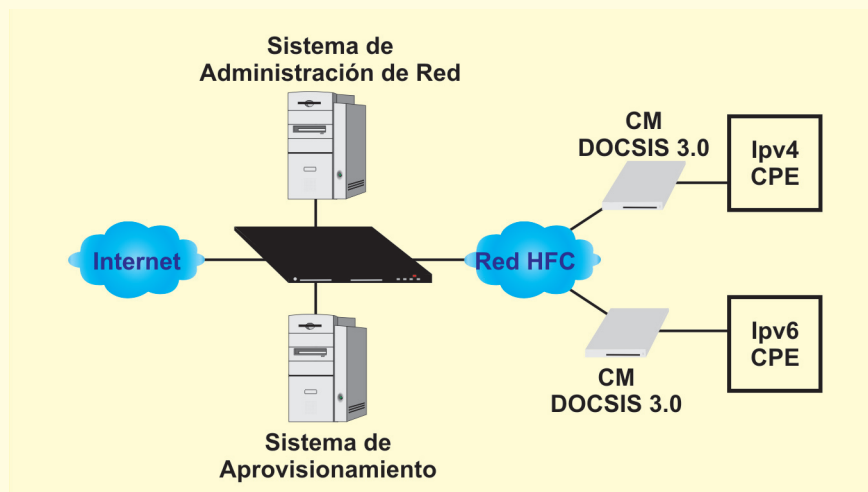


Figura 3 Red DOCSIS 3.0. (Fuente: elaboración propia).

A su vez, el CMTS está conectado al Sistema de Administración de la Red y al Sistema de Aprovisionamiento.

El CMTS habilita la comunicación con los módems de cable de los abonados. Al usar la facilidad de combinación de canales lograda con DOCSIS 3.0 se obtienen capacidades de 800 Mbps —con la unión de 16 canales— en el canal descendente y con la misma cantidad de canales, 480 Mbps en el ascendente [5].

Un módem de cable es un tipo especial de módem, diseñado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable.

Servicios

La tecnología HFC es capaz de ofrecer eficientemente a sus usuarios, a través de un operador único de cable, los servicios de voz, datos y acceso a Internet y video, constituidos en un paquete de servicios conocido como triple play que, actualmente, constituye un requisito básico a nivel mundial para poder competir en el mercado de las telecomunicaciones.

Servicio de voz

El servicio de voz suele caracterizarse por tener un ancho de banda bastante reducido. Dentro de los elementos que forman parte de la arquitectura para brindar el servicio de telefonía se encuentran los siguientes:

- CMTS
- MTA
- CM
- Gateway

- ♦CMTS: Es el responsable del acceso a los servicios de datos de alta velocidad, así como a los recursos de la red, los cuales serán reservados únicamente cuando exista una petición de servicio. El CMTS determina las políticas y los mensajes para que se produzcan los eventos dentro de la red.

- ♦MTA —*Multimedia Adaptator Terminal*—: Ubicado en los predios del usuario. Es un adaptador que permite convertir la voz en paquetes IP y viceversa.

- ♦CM: En este caso, realiza las funciones de un servidor de dirección de llamadas, mantiene y maneja el estado de la llamada para los servicios de VoIP —*Voice over IP*—.

- ♦Gateway: Se encarga de interconectar la red RTCP y la red HFC del operador de cable. Cumple las funciones de señalización, control, interfaz con la red RTCP y conversión IP a una numeración telefónica para los abonados conectados.

Servicio de datos y acceso a Internet

Este es un servicio que tradicionalmente ha sido ofrecido por los operadores de telecomunicaciones. Para los operadores de cable constituye el segundo servicio en importancia, después de los de distribución de video, por su alta demanda actual, con atención especial en su suministro a los usuarios.

Para proporcionar el servicio de Internet de banda ancha, el operador conecta su cabecera a Internet mediante enlaces de datos de alta capacidad de un ISP —*Internet Service Provider*—.

Para lograr una transmisión eficiente de los datos a través de las redes de cable fueron diseñados, específicamente, el CMTS y los CM, los cuales constituyen los dispositivos más importantes que se manejan dentro del acceso a Internet en las redes de cable, así como la implementación y el desarrollo de DOCSIS. Esta configuración básica se muestra en la figura 3.

Video

La distribución del contenido de video ha constituido el objetivo principal de la tecnología HFC desde sus inicios.



Figura 4 Modalidades de distribución de video. (Fuente: elaboración propia).

La figura 4 muestra las diferentes modalidades de distribución de video.

♦**Difusión:** Las señales son moduladas con diferentes portadoras y enviadas a todos los suscriptores simultáneamente, es un método efectivo para que gran número de usuarios paralelamente a la vez observen la programación. Dentro de la difusión de video se distinguen dos categorías:

Analógico: Es el método tradicional de transmisión de canales de programación que dio origen al surgimiento de las redes CATV. Los canales disponibles son continuamente enviados sobre la red en canales separados, alrededor de 78 programas pueden ser difundidos. En nuestra región —norma americana— cada canal tiene 6 MHz de ancho de banda, con un espectro de frecuencias similar al NTSC, las señales de video son moduladas en Banda Lateral Vestigial y las de audio con modulación de frecuencias (FM). En esta modalidad, el usuario permanece prácticamente como un elemento pasivo ante la programación difundida por el operador.

Digital: Con los progresos en la implementación de la codificación, la compresión de imágenes y la modulación QAM—*Quadrature Amplitude Modulation*— de diferentes niveles pueden implementarse sistemas de transmisión de señales de video puramente digitales con el aprovechamiento de la ventaja de menor ancho de banda requerido, tanto para las transmisiones como para su almacenamiento donde se mantienen la calidad de la señal, y se logra la ubicación de múltiples programas digitales en el mismo ancho de banda utilizado para su similar analógico. Otra ventaja es el uso de una potencia de transmisión menor.

♦**IPTV —Internet Protocol Television—:** Es TV transportada sobre protocolo IP, no necesariamente Internet, por el contrario, sobre redes IP que pueden implementar calidad de servicio. IPTV constituye una tecnología de TV interactiva que puede igualar o mejorar la calidad de la distribución de señales digitales de video que hoy implementan la DTV —Televisión Digital—, ya sea en su versión terrestre, en CATV —Televisión por Cable— y satelital [6].

Con IPTV ya no se transmite la misma programación para todos los usuarios, se ofrece por solicitud, es decir, IPTV permite la personalización de contenidos para cada usuario, los cuales pueden seleccionarse desde la Guía Electrónica de Programa. La programación en vivo la realiza el sistema mediante el empleo de un flujo de programación de multidifusión y que estará disponible sólo para aquellos usuarios asociados al grupo de multidifusión correspondiente.

Otra de las virtudes de la televisión IP es que el suscriptor, al usar la modalidad del servicio de VoD podrá manipular la programación no sólo para almacenarla y verla cuando lo desee, sino además, podrá hacer pausa, adelantarla, regresarla o saltar a otra parte del programa como si fuera la reproducción de un CD. En este caso el sistema IPTV provee al usuario con un flujo de programación de unidifusión, único y específico para él.

Para visualizar los contenidos, en los predios del usuario tiene que ser ubicado un *Set-top Box* con características avanzadas llamado *IP Set-top Box*. Se han desarrollado dispositivos integrales que permiten al usuario ver la TV en todas sus

variantes: analógica, digital e IPTV y disfrutar del servicio de acceso de datos y telefonía indistintamente.

Implementación de una red HFC en la cayería norte central de Cuba

Actualmente, en Cuba, se ofrecen los servicios de televisión por cable a determinadas instalaciones y a las entidades del sector turístico, sólo con contenido de señales analógicas sobre redes que comienzan a evolucionar paulatinamente hacia las redes híbridas de fibra óptica-cable coaxial.

En la cayería norte de la provincia Villa Clara existe un polo turístico en franco desarrollo, por lo que se persigue mejorar el servicio que se presta en cuanto a tipo, capacidad y alcance de las redes de televisión por cable.

Para lograrlo, la operadora Telecable Internacional ejecuta un proyecto por etapas a partir del año 2008 con el objetivo de tener una infraestructura que permita, según los requerimientos del cliente, lograr la conectividad desde la cabecera central óptica única ubicada en el moderno Centro de Comunicaciones construido para tal efecto, hasta todas las habitaciones y los lugares específicos de los hoteles e instalaciones de apoyo. En este sentido, la perspectiva futura es implementar una plataforma que, al contar con el equipamiento adecuado tanto en la cabecera como en los CPE, permita ofrecer los siguientes servicios de telecomunicaciones:

- ♦ Canales de Televisión Analógicos.
- ♦ Canales de Televisión Digitales.
- ♦ Conexión a Internet.

A la vez que se crean las premisas para ofertar en un estadio superior los servicios de VoIP, IPTV y HDTV —*High Definition Television*—. De esta forma, se suministraría un paquete de comunicaciones consecuente con el desarrollo internacional en esta esfera y su creciente demanda por parte de los clientes.

En Cayo Santa María, la red HFC cubrirá con fibra óptica la totalidad de los

hoteles y los establecimientos extra-hoteleros que por su función lo necesiten, hasta cada una de las instalaciones donde se ubicarán los nodos ópticos, con la variante de usar dos fibras, una para el canal descendente y la otra para el canal ascendente. Desde este punto hasta la toma del abonado, se implementa una red coaxial bidireccional que permite la interactividad total del enlace.

Debido a la distribución geográfica del polo turístico, no es factible una distribución redundante pues, generalmente, las vías de acceso son únicas, lo que imposibilita la creación de anillos de fibra óptica.

En la construcción de futuras instalaciones se deberá analizar, sobre la base de la relación costo-beneficio, el empleo de la fibra óptica hasta el usuario. Implementarlas en este momento, elevaría los costos de instalación sin lograr la contrapartida de incrementar las prestaciones que puedan ofrecerse a los usuarios. Los objetivos son recorrer con fibra óptica las largas distancias que existen entre la cabecera y las intermediaciones de los usuarios, hasta los edificios principales, lo que contribuye a disminuir la atenuación y aumentar el ancho de banda, a la vez que se reducen los costos por concepto de derivaciones intermedias; y realizar la distribución interior de las instalaciones con coaxial, que facilita la conectividad de muchos abonados con costos relativamente bajos. Además, la utilización del cable coaxial en interiores es más factible pues su atenuación en distancias relativamente cortas no se aprecia y puede suplirse con la utilización de amplificadores bidireccionales, siempre que se cumplan adecuadamente los parámetros de calidad de la señal que rigen este tipo de transmisión.

Futuro de las redes HFC

Una red totalmente óptica representa, como medio de transmisión, la solución óptima. La tendencia vigente en la red de cables es extender, cada vez más, el tramo correspondiente a la fibra óptica, de forma que esta se acerque lo más

posible a los entornos de los usuarios. Su limitación radica en los costos elevados del equipamiento final.

En relación con las redes HFC, existen varios factores que las hacen perdurable en el tiempo; la versión DOCSIS 3.0 aún no ha sido asumida totalmente por los operadores, su establecimiento es una tarea del presente y del futuro inmediato. En la práctica ya se obtienen velocidades de transmisión superiores a las alcanzadas con otras tecnologías de acceso de banda ancha por cables. Varias son las acciones que se desarrollan y perfeccionan para continuar con el aumento del desempeño de la red híbrida:

- ♦ Utilización de técnicas DWDM—*Dense Wavelength Division Multiplexing*— en las fibras ópticas.
- ♦ Implementación de los CMTS modulares (M CMTS).
- ♦ Implementación del servicio IPTV.
- ♦ Implementación del servicio HDTV.
- ♦ Su utilización como soporte para servicios móviles.

Esto garantiza una posición ventajosa a las redes HFC en cuanto a su existencia y vida útil futura. Las figuras 5 y 6 lo corroboran a partir de la referencia solamente al servicio de IPTV.

El nuevo pronóstico indica que el número global de suscriptores IPTV crecerá de 41,2 millones al final de 2010 a 101,7 millones en el 2014, con una razón de crecimiento anual del 25,3 % [7].

El mercado global IPTV es de 17,5 billones de USD en el 2010 con un pronóstico de crecimiento de 46 billones de USD para el 2014 con una razón de crecimiento anual del 27 % [7].

En el caso de Cuba, representan una posible solución para el acceso a los servicios de banda ancha de forma masiva en todas las esferas del país.

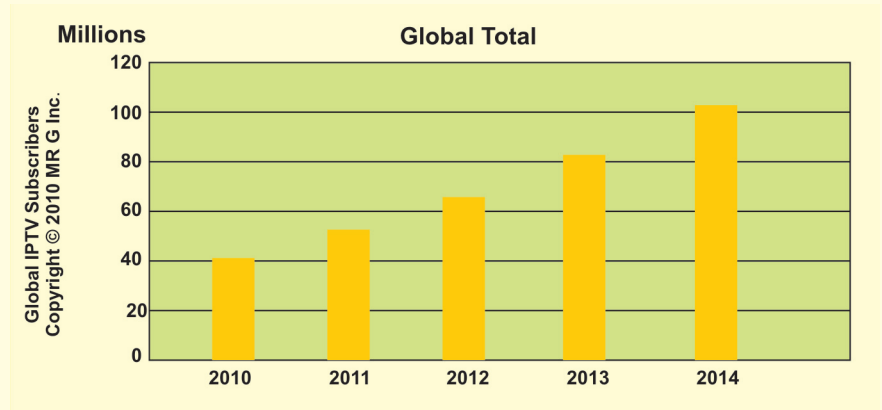


Figura 5 Pronóstico global de suscriptores IPTV. (Fuente: Copyright © 2010 MRG, Inc. [7]).



Figura 6 Pronóstico global de los ingresos de los servicios IPTV. (Fuente: Copyright © 2010 MRG, Inc. [7]).

Conclusiones

Las redes HFC proporcionan un medio de acceso de banda ancha adecuado para suministrar simultáneamente los servicios de *Triple Play* altamente aceptados y demandados a nivel mundial y mantienen la distribución ancestral del video analógico. El estándar DOCSIS 3.0 representa la tecnología adecuada para la implementación de los mismos. Al tener en cuenta su evolución, desempeño y factibilidad económica es correcto pensar que las redes HFC existentes en Cuba podrían ir desplegándose y explotándose en la medida en que se incrementen los servicios de estas plataformas integradoras para solucionar la conectividad de banda ancha a nivel de usuario, según los intereses de las partes involucradas, y en lo cual el sector turístico es un ejemplo. La empresa operadora Telecable Internacional ha asumido este empeño y tiene ante sí un gran reto: continuar con el despliegue de las redes y la explotación de las plataformas de servicios avanzadas. Un aspecto importante a considerar es el marco regulatorio que rige la creación, provisión, transportación, tarificación, comercialización, facturación, etc., de los servicios convergentes en la red, así como la existencia y las relaciones entre los diferentes operadores y organismos nacionales relacionados con el tema, aspecto este en el que se trabaja; pero que aún no está definido totalmente en Cuba. ■

Referencias bibliográficas

- [1] O'Driscoll, G. *Next Generation IPTV Services and Technologies*. EE.UU: John Wiley & Sons Inc, 2008.
- [2] Villarreal Espinosa, Mauro G. *Análisis de la integración de redes HFC con tecnologías inalámbricas, bajo el estándar DOCSIS*. 2006, p. 120 <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/handle/123456789/1085> (acceso marzo, 2009).
- [3] SCTE. *Digital Cable Network Interface Standard*, 2004. 2004. http://www.scte.org/documents/pdf/standards/ANSI_SCTE%2040%202004.pdf. (acceso mayo, 2009).
- [4] Villarreal Espinosa, Mauro G. *Estándar DOCSIS y su aplicación dentro de las redes HFC, regulación en Ecuador*. En "Análisis de la integración de redes HFC con tecnologías inalámbricas, bajo el estándar DOCSIS 2006". Tesis de Pregrado, escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Ecuador, Quito, nov. 2006. <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1085/4/T10894CAP2.pdf>. (acceso: marzo, 2009).
- [5] Casa System, I. *Casa Systems C2200 CMTS (Pre-DOCSIS 3.0 Release)*. 2009 http://www.casa-systems.com/c2200_datasheet.pdf. (acceso junio, 2009).
- [6] S-A. "Convergencia hacia la televisión sobre IP". 2008 <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/handle/123456789/526>. (acceso mayo, 2009).
- [7] MRG, I. *IPTV Global Forecast –2010 to 2014*. Semiannual IPTV Global Forecast Report 2010 <http://www.mrgco.com/iptv/gf0610.html> (acceso abril, 2010).