

# “INTEGRACIÓN DE LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS ETHERNET (EPON/GPON) CON LA TECNOLOGÍA WiMAX”

Jorge Israel Logroño Gómez, Ing.  
María Soledad Jiménez, MSc.  
Escuela Politécnica Nacional

## RESUMEN

El presente proyecto está orientado al estudio de las redes EPON/GPON y su integración con la tecnología WiMAX. Este artículo inicia con un estudio de las características generales sobre la Convergencia Fijo-Móvil (CFM), sus razones en este proceso de continuo cambio en las telecomunicaciones y de manera general las características del desarrollo de la tecnología WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) como tecnología de acceso de banda ancha inalámbrica. Posteriormente se incluye un breve estudio de los estándares GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) basadas en la Recomendación G.984/1/2/3/4 y EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) basadas en la norma IEEE 802.3ah. Además, se aborda el análisis comparativo entre estos dos estándares. Finalmente se desarrolla el estudio de las posibles arquitecturas que podrán ser implementadas para la integración de las tecnologías de acceso de banda ancha GPON/EPON y WiMAX, y cómo éstas facilitarán llegar a una Convergencia Fijo-Móvil.

## I. INTRODUCCIÓN

Con el surgimiento de nuevas tecnologías de la Información y la Comunicación, han aparecido también diferentes servicios y productos que exigen mayor velocidad de comunicación, movilidad y seguridad. La introducción oportuna de los avances tecnológicos, permite encontrar en los mercados en competencia, alternativas de comunicación de bajo costo y de uso del público, en general para acceder a servicios que transportan cada vez más información. Sirve también para ir acortando la brecha digital que existe entre los que tienen acceso a la información y a las redes de comunicación, y los que no cuentan con ningún tipo de servicio, además ayudan a construir el camino para acceder a la sociedad de la información.

## II. CONVERGENCIA FIJO-MÓVIL (CFM), WiMAX (*WORLDWIDE FOR INTEROPERABILITY MICROWAVE ACCESS*) Y EL ESTÁNDAR IEEE802.16e

### CONVERGENCIA FIJO-MÓVIL

En los últimos años la convergencia se ha convertido en uno de los términos cada vez más utilizado en el vocabulario de la industria de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

La convergencia se hace presente en numerosas fusiones y adquisiciones, así como en las nuevas iniciativas emprendidas constantemente por varias empresas para crear y ofrecer nuevos servicios en esferas distintas de las de sus actividades tradicionales.

Dado lo difícil que es predecir el tipo y el ritmo de desarrollo de nuevos servicios y tecnologías, se debe evaluar cuidadosamente: las condiciones reglamentarias, el desvanecimiento gradual de la asociación entre servicio e infraestructura, los servicios económicos y la dinámica del mercado.

En este contexto, el marco reglamentario no debe obstaculizar ni detener el proceso evolutivo, la tecnología debe prestar las mayores facilidades sin que esto implique costos onerosos, y el mercado definitivamente será el que elija de entre una gamma de alternativas, la que más le convenga.

La convergencia fijo-móvil es un concepto introducido a finales de los años 90's, pero tiene mayor realce al momento debido a que en la mayor parte del mundo el número de teléfonos móviles supera al de clientes de telefonía fija.

La idea que plantea la convergencia fijo-móvil es que llegue un momento en que los usuarios tengan todos sus dispositivos comunicados y sincronizados entre sí, para acceder a información relacionada con el trabajo, disfrutar del ocio digital en cualquier momento y ajustándose al lugar o situación en la que se encuentren; y que todo esto les siga donde

vayan, sin que tengan que hacer nada para ello, de forma sencilla y automática

**WiMAX**, pertenece a la familia IEEE 802 de tecnologías inalámbricas. Mientras WLAN está ampliamente desplegada para proveer acceso a datos a alta velocidad en *hotSpots* y hogares con alcance limitados a unos 100 m, WiMAX ofrece real cobertura de área amplia para "*hotZones*" alcanzando varios kilómetros.

La disponibilidad de amplias bandas de frecuencia le da a la tecnología un alto grado de flexibilidad con respecto del espectro en el que la tecnología puede ser desplegada. WiMAX Forum (entidad encargada de la estandarización de esta tecnología) ha propuesto tres bandas de frecuencia para el despliegue del 802.16e en específico: 3.5 GHz, 2.5 GHz y 5.8 GHz, las primeras corresponden a bandas licenciadas; mientras que la última es no-licenciada en varios países del mundo. De esta forma, la flexibilidad que poseen los operadores va de la mano con el hecho de que pueden optar ya sea por el esquema de duplexación FDD o TDD según la banda de frecuencia en que operarán y/o los requerimientos de los servicios que se quieran prestar.

Otro aspecto de importancia en WiMAX es la solución que ofrece frente a los problemas de seguridad que las tecnologías WLAN anteriores no contemplaban.

**802.16e**, es una mejora de las capas MAC/PHY para soportar comunicaciones móviles reales a velocidades vehiculares, soportando *full handover*, es decir, que la sesión del usuario se mantiene a pesar de que éste se puede estar moviendo de una red a otra. Por último, hay una serie de aspectos que de cierta manera definen el futuro de esta tecnología, así como su campo de aplicación. Entre ellos se puede mencionar:

- La interoperabilidad en conjunto con la reducción de costos de los dispositivos de usuarios, debido al apoyo de los grandes fabricantes de semiconductores y de las industrias de telecomunicaciones, permitirán desarrollar un mercado.
- Naturaleza complementaria a las infraestructuras fijas y móviles existentes de WiMAX, permitirán extender los servicios de banda ancha a aquellos lugares donde sea difícil o poco rentable el despliegue de tecnologías fijas y ofrecer comunicaciones de mayor ancho

de banda a menores costos, respectivamente.

- La futura incorporación de WiMAX en ordenadores portátiles y PDAs hace que las aplicaciones objetivo sean las comunicaciones de datos en movilidad.

Todo lo anterior muestra la importancia de esta tecnología en el camino hacia 4G, que busca la convergencia fija/móvil.

**WiBRO** (*Wireless Broadband*), es una tecnología de Internet de banda ancha inalámbrica, que está siendo desarrollada por la industria de telecomunicaciones en Korea. Probablemente será incluido en el proyecto general de 802.16e (Otro perfil potencial de WiMAX). Es un sistema basado en TDD que opera en un canal de radio de 9 MHz a 2.3 GHz, con OFDMA como su tecnología de acceso. Soporta usuarios viajando a velocidades de hasta 120 km/h (anteriormente se publicitó que estaba limitado a 60 km/h) y velocidades máximas de usuario de 3 Mbps en el *downlink* (*uplink*= 1 Mbps) y 18 Mbps de rendimiento máximo (del sector) en el *downlink* (*uplink* = 6 Mbps). Con su potencial futura adopción dentro de la familia de perfiles de WiMAX, podría existir un deseo de introducir movilidad vehicular, o *handoffs* casi ininterrumpidos.

### III. GPON (GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK) Y EPON (ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK)

**EPON (Ethernet PON)** Fue definido en 2004 por el grupo EFM (*Ethernet First Mile*) del IEEE EPON, también llamado GEPON (*Gigabit Ethernet PON*), está desplegado ampliamente en Japón y proporciona tasas de datos simétricas de 1 Gbps en ambas direcciones US/DS (*Upstream/Downstream*).

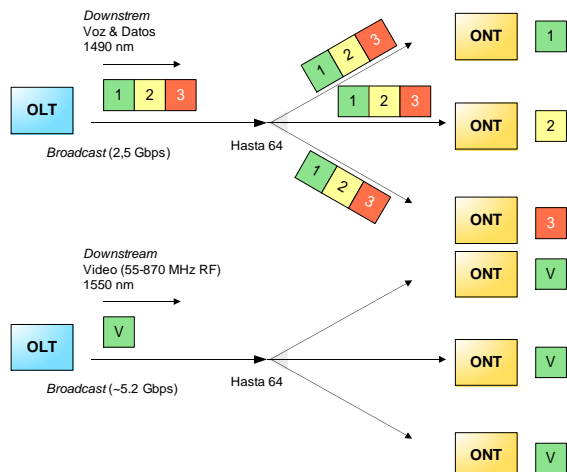
Una de las ventajas más importantes de EPON es el uso de protocolos de transporte Ethernet nativos. Ethernet asíncrono de bajo costo ha sido desplegado en las redes de datos extendidas por años y, hay economías de escala significantes asociadas con componentes GbE tales como interfaces ópticas. La naturaleza asíncrona de Ethernet permite que los equipos de red basados en Ethernet sean mucho más baratos en comparación con los equipos basados en ATM o SONET, cuya característica principal es el sincronismo.

EPON está basado en el estándar IEEE 802.3ah. También denominado EFM (*Ethernet*

in the First Mile). Algunas características de importancia son:

- Combina los protocolos de transporte Ethernet con topologías de redes PON punto a multipunto.
- Incluye mecanismos para la operación, administración y mantenimiento de redes.
- Soporta operación CoS (*Class of Service*) para transportes de datos sensibles al tiempo tales como video donde las tramas del video deben entregarse en secuencia y a tiempo para prevenir fallas visibles.
- Soporta TDM usando servicios de emulación de circuitos.

**GPON (Gigabit Passive Optical Network)**, El grupo FSAN inició un proceso para estandarizar las redes PON a fin de que operen a velocidades de datos superiores a 1 Gbps. Aparte de la necesidad de soportar tasas de datos más altos, el protocolo completo tuvo que ser abierto por la consideración ya expuesta, de manera que la solución fuera óptima y eficiente para el soporte de servicios múltiples, funcionalidad OAM (*Operation Administration and Maintenance*) y escalabilidad.



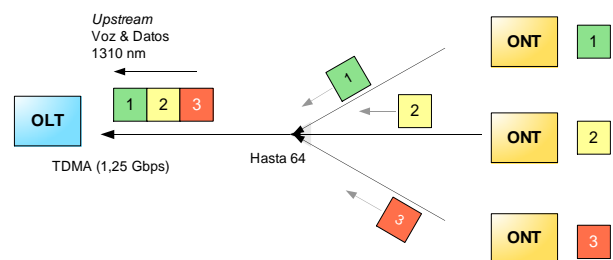
**Figura 1.** Sistema de acceso PON en sentido *downstream*

Como resultado, surgió GPON, que está basada en el estándar previo ITU-T BPON, pero tiene muchas similitudes con EPON. Introducida en el 2003 como ITU-T G.984, GPON usa una nueva capa de transporte nativa GEM (*G-PON encapsulation method*) que soporta protocolos de transporte "no-nativo" incluyendo ATM, Ethernet y TDM. La intención original era ampliar el soporte y la

aceptación del mercado mediante el soporte de múltiples protocolos, pero el efecto añadirá complejidad a aquellos sistemas que no requieren mantener protocolos adicionales. Una característica clave es la tasa de datos DS (*Downstream*) de 2.5 Gbps y la tasa de datos US (*Upstream*) de 1.25 Gbps, posibilitando transmisiones simétricas y asimétricas.

## FUNCIONAMIENTO DE UNA RED EPON/GPON

En la dirección *downstream* figura 1, desde la OLT a las ONUs, EPON/GPON se comporta como una red física de tramas Ethernet en *broadcast*, como se muestra en dicha figura. Una trama se transmite de la OLT a las ONUs en *broadcast*, como resultado directo de la naturaleza física de un *splitter* óptico. A la OLT, la etiqueta LLID (caso de EPON) o Port-ID (caso de GPON) está agregado en el preámbulo para cada trama, y se extrae y se filtra en la ONU en su subcapa de reconciliación. Así, cada ONU recibe todas las tramas transmitidas de la OLT, pero solo extrae sus propias tramas coincidentes a su LLID o Port-ID. La extracción de trama (filtrado) se basa solo en la LLID como la MAC de la ONU o el Port-ID como la GEM de la ONU en modo promiscuo y acepta todas las tramas. Dada la naturaleza *broadcast* en sentido *downstream* de la EPON/GPON, se requiere de un mecanismo de encriptación.



**Figura 2.** Sistema de acceso PON en sentido *upstream*

En la dirección *upstream* figura 2, se requiere de un protocolo de acceso múltiple, ya que la EPON/GPON opera como una red multipunto a punto. Debido a la naturaleza direccional del *splitter*, cada ONU se comunica directamente a la OLT, y no a otras ONUs. Sin embargo, las ONUs comparten la fibra troncal en sentido *upstream*, y las señales de datos de las ONUs simultáneamente colisionarían sin ser de la red gestionada. Las redes EPON/GPON son redes gestionadas, sin colisiones en operación normal.

#### IV. INTEGRACIÓN DE EPON/GPON-WIMAX

Para la integración de EPON/GPON y WiMAX, existen varias arquitecturas que se encuentran en procesos de desarrollo y que están brindando mayores ventajas a la integración. Se consideran potencialmente cuatro arquitecturas:

- 1) Arquitecturas independientes.
- 2) Arquitecturas híbridas con modo operacional jerárquico/directo.
- 3) Arquitecturas orientadas a conexión unificadas.
- 4) Arquitecturas de Microonda sobre Fibra (MoF, *Microwave Over Fiber*).

Las redes ópticas inalámbricas híbridas propuestas en varios artículos pueden esencialmente ser clasificadas como un caso especial, más no confundidas erróneamente con: la arquitectura de Microonda sobre fibra (MoF) y la arquitectura híbrida bajo modos operacionales directos.

En base a dicha arquitectura integrada básica, se toman en cuenta varios asuntos operacionales importantes como:

- 1) Direccionamiento y reenvío de paquetes IP sobre el sistema integrado.
- 2) Asignación de ancho de banda y soporte de calidad de servicio para servicios de usuario
- 3) Operación de *handover* para usuarios móviles

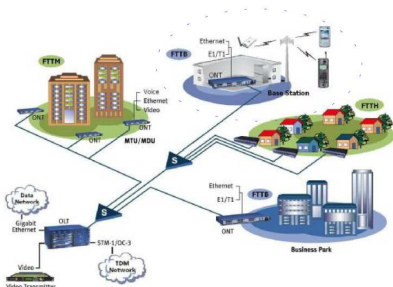


Figura 3. Arquitectura independiente

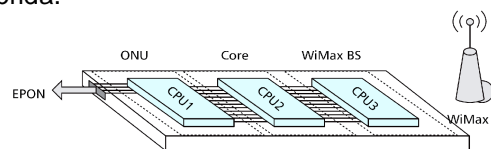
#### ARQUITECTURAS INDEPENDIENTES

Es la forma más simple de integrar una red alámbrica con una inalámbrica ya que las redes EPON/GPON se las emplea como *backhaul* de la red WiMAX (ver figura 3), si bien cumple con varios tipos de convergencia, existe un desaprovechamiento en la asignación del ancho de banda de todo el sistema y los procesos de *handover* requieren de un dispositivo adicional para llevarlos a

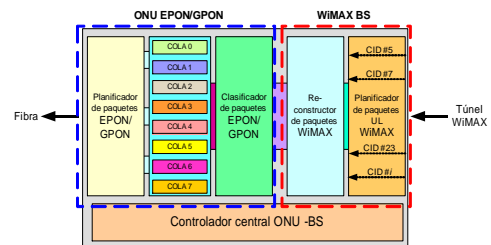
cabo. Debido a la independencia de las redes la calidad de servicio extremo a extremo desperdicia el gran ancho de banda que se ofrece en la integración.

#### ARQUITECTURAS HÍBRIDAS

La arquitectura híbrida es aquella que integra en una sola plataforma tanto en hardware como en software a las redes EPON/GPON con WiMAX, es decir que en una ONU (*Optical Network Unit*)/ONT (*Optical Network Terminal*) se integra con una estación BS WiMAX (ONU-BS). Esta arquitectura se beneficia con la reducción del costo del equipo (al ser uno sólo), al igual que posee una completa asignación de ancho de banda para toda la red integrada, con respecto a la arquitectura anterior mejora el *throughput* y la QoS. La desventaja es que no se encuentra estandarizada. La figura 4, muestran la unión en *hardware* y *software* de la arquitectura híbrida.



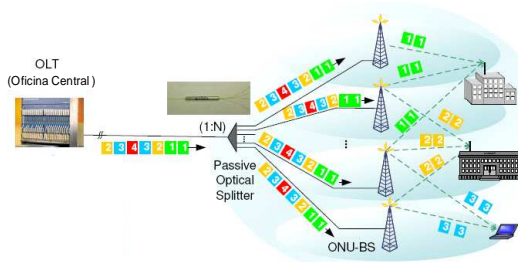
a)



b)

Figura 4. Módulos funcionales y arquitectura de la ONU-BS: a) diseño de *hardware*, b) módulos funcionales

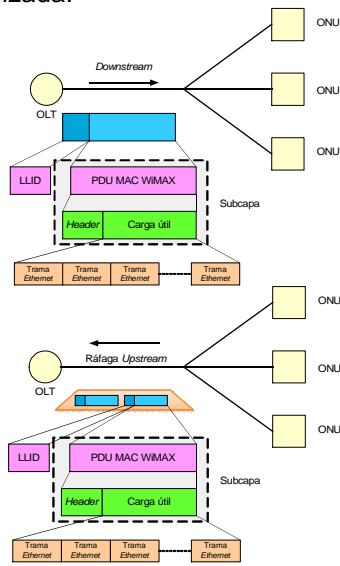
La figura 5, muestra a una EPON/GPON, la cual se encuentra compuesta por un Terminal de línea óptica central (OLT) y múltiples Unidades de red óptica (ONUs) conectadas a la OLT a través de fibras en una topología árbol. Una ONU EPON/GPON y una estación base (BS) WiMAX están integradas como un solo equipo. Además del notable ahorro en el costo del *hardware*, tal integración logra un nivel plano de control e integración *seamless* entre los sistemas EPON/GPON y WiMAX, donde los mensajes de control y señalización directamente se intercambian entre la OLT y los usuarios finales, ej., Las estaciones suscriptoras (SSs) podrían ser estaciones fijas o estaciones móviles (MSs).



**Figura 5.** Arquitectura híbrida (ONU-BS)

**ARQUITECTURAS ORIENTADAS A CONEXIÓN UNIFICADAS**

En términos generales las principales operaciones de los dos tipos de redes (G/EPON y WiMAX) son muy similares, particularmente en el aspecto de la asignación de ancho de banda. Utiliza una misma plataforma ONU-BS que la arquitectura híbrida. La diferencia preferentemente es en el transporte de tramas Ethernet en ráfagas US (*upstream*) y DS (*downstream*) de G/EPON, las PDUs de la MAC WiMAX reemplazan las tramas Ethernet, dichas tramas Ethernet por tanto se encapsulan como datos del cliente en las PDUs MAC WiMAX como se aprecia en la figura 6. Al igual que las arquitecturas anteriormente citadas, no se encuentra estandarizada.

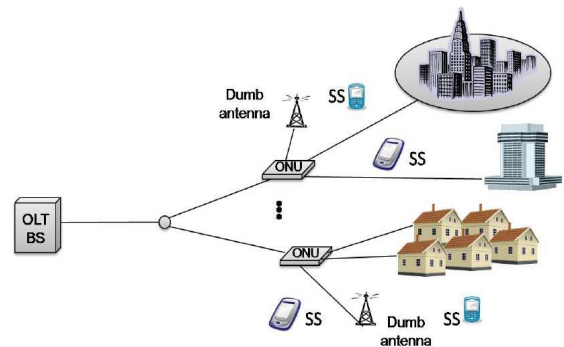


**Figura 6.** Capa MAC WiMAX a G/EPON, en sentido US y DS

**ARQUITECTURAS DE MICROONDA SOBRE FIBRA (MOF, MICROWAVE OVER FIBER)**

El concepto de esta arquitectura radica en la integración de las funciones de una estación base BS WiMAX y la OLT. Cada extremo remoto está compuesto por una unidad ONU y una antena no inteligente (*dumb*). La unidad

ONU es la responsable de la comunicación de datos de la red G/EPON y la antena *dumb* responsable sólo de la regulación de las señales de radio WiMAX. Las señales ópticas y de radio WiMAX son multiplexadas y moduladas sobre una portadora óptica común y transmitidas por un nodo central *upstream*. En el sentido *upstream*, para distinguir el tráfico enviado de diferentes antenas *dumb* al nodo central, la señal de WiMAX debe enviarse por diferentes frecuencias subportadoras ópticas. El nodo central está compuesto por dos módulos principales, una OLT y la BS WiMAX. Cuando la señal óptica ingresa al nodo central, ésta se divide en dos porciones, una señal EPON y un grupo de señales subportadoras ópticas WiMAX. La señal G/EPON se reenvía a la OLT para un mayor procesamiento. Las señales ópticas WiMAX son demultiplexadas en múltiples señales independientes, tal como las señales enviadas por cada SS, y por tanto cada una reenviada a la BS WiMAX para su procesamiento. La mayor ventaja de esta arquitectura es la simplificación de las operaciones de *handover* para los usuarios móviles. Como la subportadora óptica y la subportadora de radiofrecuencia están estrechamente relacionadas, una potencial ventaja de ésta arquitectura será la flexibilidad en la asignación de recursos si las subportadoras anteriormente citadas pueden asignarse dinámicamente por la OLT/BS. Sin embargo, el nodo central puede llegar a ser un cuello de botella del sistema ya que necesita procesar todos los paquetes desde un gran número de SSs.



**Figura 7.** Arquitectura de integración Microonda sobre fibra para G/EPON y WiMAX

Al examinar las cuatro arquitecturas anteriormente citadas, la más simple es la arquitectura independiente ya que no necesita modificar sus componentes actuales; sin embargo, solo se la puede tratar como una solución temporal ya que su rendimiento no será suficiente para el uso de

implementaciones futuras. Aunque la arquitectura de microonda sobre fibra MoF posee un nivel superior, se encuentra con grandes desafíos en relación a sus características físicas: diafonía (*crosstalk*), interferencia, efectos no lineales, etc., pero nace una nueva opción que elimina dichos efectos no lineales si se utilizan sistemas PON basados en WDM como solución a dichos problemas.

## ASIGNACIÓN DE ANCHO DE BANDA Y SOPORTE DE QoS

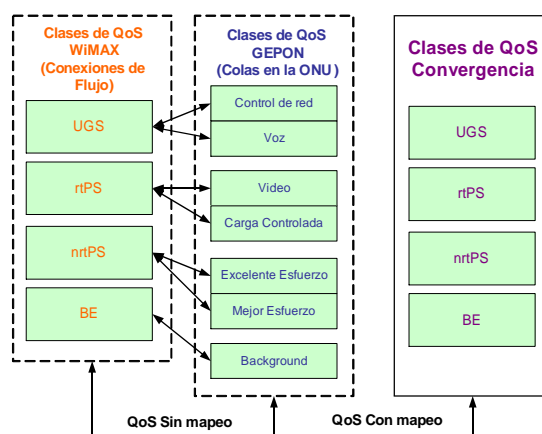
Es un asunto desafiante para EPON y WiMAX, la asignación de ancho de banda eficaz en dirección *upstream* a los usuarios. Las redes EPON y WiMAX emplean un mecanismo genérico de sondeo/demanda/concesión; es decir, que una estación central (OLT o BS WiMAX) sondea a una estación remota (ONU o SS) para demandas de ancho de banda, luego la estación remota responde a dichas solicitudes, y finalmente, la estación central concede ancho de banda a las estaciones remotas. La información de control de sondeo/demanda/concesión usualmente se intercambia mediante un canal de control dedicado o por paquete de datos *piggybacking*.

Las concesiones de ancho de banda no demandadas pueden hacerse también periódicamente para soportar servicios sensibles al retardo o para sondear cada estación remota y permitir enviar una demanda.

En base a un mecanismo genérico sondeo/demanda/concesión, EPON/GPON y WiMAX comparten muchas similitudes en asignación de ancho de banda y soporte de QoS. Primero, la EPON/GPON por un lado demanda ancho de banda por el principio básico de prioridad de cola y por otro asigna ancho de banda sobre una base por ONU. En un ancho de banda concedido, cada ONU efectúa decisiones locales para asignar el ancho de banda y planificar paquetes de transmisión para cada cola de prioridad. WiMAX solicita ancho de banda en un principio básico por conexión, pero asigna ancho de banda en una base por SS. Al ser concedido el ancho de banda, cada SS efectúa decisiones locales para asignar el ancho de banda y planificar los paquetes de transmisión para cada conexión de servicio. Segundo, ambas EPON y WiMAX soportan dos tipos de modos de asignación de ancho de banda: no solicitado (*unsolicited*) y bajo

demanda (*upon request*). Esto indica una similitud en el soporte de servicios con diferentes niveles de QoS, incluyendo servicios sensibles al retardo, servicios garantizados de banda ancha, y servicios de mejor esfuerzo. Tercero, ambas EPON y WiMAX clasifican tráfico de datos en un modo de servicios diferenciados (*DiffServ*); EPON tiene hasta ocho colas de prioridad diferentes en cada ONU, mientras WiMAX clasifica el tráfico de datos en cinco niveles de QoS dirigidos desde el servicio no solicitado de concesión (UGS) hasta servicios de mejor esfuerzo (BE). Ver figura 7.

La similitud anteriormente señalada facilita la integración de asignación de ancho de banda y soporte de QoS en las arquitecturas de acceso integradas (sin incluir la arquitectura independiente). Primero, la integración de asignación de ancho de banda dinámica puede presentarse en arquitecturas integradas basadas en el mecanismo sondeo/demanda/concesión.



**Figura 8.** Mapeo de QoS entre flujos WiMAX y colas de prioridad G/EPON

En el lado EPON/GPON, una ONU entiende completamente la información de concesión de ancho de banda de una BS WiMAX, lo cual ayuda a demandar más eficientemente ancho de banda de una OLT. En el lado WiMAX, una vez que a una ONU se le concede ancho de banda, la BS WiMAX entiende completamente cuánto ancho de banda puede asignar para cada tipo de servicio, y así poder hacer una asignación de ancho de banda óptima entre todos los flujos de servicios. Segundo, para permitir una integración más apta, se requiere un mecanismo de mapeo eficiente entre las colas de prioridad de EPON y la conexión de servicios WiMAX. Específicamente, el mapeo (figura 8), necesita conocer qué flujo WiMAX

debería ser almacenado en qué prioridad de cola EPON al correspondiente QoS.

EPON soporta QoS en un modo *DiffServ*, bajo el cual los paquetes están clasificados y almacenados en diferentes colas de prioridad. En contraste, aunque los servicios de WiMAX se han clasificados para soportar diferentes niveles de QoS, WiMAX es una tecnología orientada a conexión, lo cual esencialmente sigue un esquema de servicios integrados (*IntServ*). Así, para la integración, un problema interesante es cómo realizar una conversión eficiente entre servicio *DiffServ* e *IntServ*. Además, también es atractivo ver cómo la calidad de servicio QoS extremo a extremo puede soportarse después de que estos dos sistemas estén integrados.

En relación a las arquitecturas híbridas y orientadas a conexión, en las cuales la ONU/ONT de la red G/EPON logra converger con las estación base SS de WiMAX, existen algunos estudios preliminares particularmente enfocados en la asignación del ancho de banda. Se ha propuesto una arquitectura (figura 9) que integra aún mas la ONU-BS en relación a la planificación y asignación del ancho de banda y, el mapeo de la QoS; es decir que al tráfico entrante y saliente generado ya sea por las eSS, wSS o la OLT ingresaría a un clasificador de servicios e identificador de tráfico en la ONU-BS, el cual está interrelacionado con la CPU y el módulo de encapsulación del formato de datos. La CPU se encargará del tratamiento del tráfico con la ayuda de otros módulos para la asignación precisa del ancho de banda, el reenvío y planificación de paquetes; y finalmente un módulo que monitoree el tráfico de llegada.

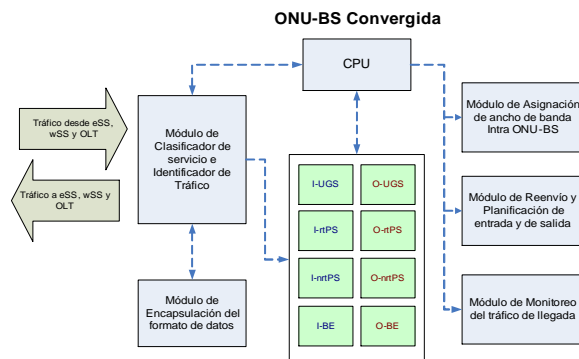


Figura 9. Arquitectura ONU-BS Integrada.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

✓ En este artículo se plantearon cuatro arquitecturas para la integración de EPON/GPON y WiMAX. Se determinó que la integración EPON/GPON y WiMAX es una solución atractiva a realizar la esperada Convergencia Fijo-Móvil (CFM) que provee algunas características interesantes:

- La integración permite estrategias para asignación de ancho de banda y planificación de paquetes que ayudan a lograr mejores capacidades de utilización del sistema y soporte de calidad de servicio QoS.
- La integración puede simplificar las operaciones de la red (ejemplo, la operación de *handover*).
- La integración permite a una sola red óptica pasiva simultáneamente transportar dos tipos diferentes de redes de acceso, y proveer ambos servicios alámbricos e inalámbricos de acceso de banda ancha.
- Finalmente, la integración de EPON/GPON y WiMAX espera ahorrar en el diseño y los costos operacionales para redes de acceso de banda ancha de nueva generación.

✓ Las actuales arquitecturas consideran sólo a los sistemas fundamentales EPON/GPON y WiMAX. A futuro, aún para accesos de ancho de banda superiores, las arquitecturas pueden ser extendidas para utilizar tecnologías más avanzadas, tales como sistemas WDM en PON, y sistemas de antenas adaptivas y de múltiples entradas/múltiples salidas MIMO en WiMAX.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **IEEE Std 802.16-2004**, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.
2. **IEEE Communications Magazine** Vol. 45, N° 2, 8, 9, 10, 11, 12; Vol. 46, N° 1, 2, 2007-2008.
3. **IEEE 802.3ah (2004)**, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and

*Physical Layer Specifications – Amendment: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks.*

4. **ITU-T/G.984.1/2/3/4/5/6** “Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON).
5. **ILYAS, Mohammad, MOUFTAH, Hussein,** *The Handbook of Optical Communication Network*, CRC Press, New York, 2003.
6. **IEEE 802.16** Working Group on *Broadband Wireless Access Standards, “Developing the IEEE 802.16 WirelessMAN® Standard for Wireless Metropolitan Area Networks”*, May 2005.
7. **LOPEZ, Karen,** Comparativa de tecnologías emergentes de acceso a redes móviles y fijas, Universidad de Chile, 2007
8. **BROWNSON, Obele** and Kang Minho, “Fixed Mobile Convergence: A Self-Aware QoS Architecture for Converging WiMAX and GEAPON Access Networks”, IEEE NGMAST 2008.
9. Bin Lin, Pin-Han, Xuemin (Sherman) Shen, and Frank Chih-Wei Su, “Network Planning for Next-Generation Metropolitan-Area Broadband Access under EPON-WiMAX Integration”, Institute for Information Industry (III), Taiwan, 2008.
10. **PENG, I-Hsuan,** *Study of Effective Resource Allocation Schemes in WDM Networks*, Communication Engineering, 2008.

## VII. BIOGRAFÍA

### Ing. Jorge Israel Logroño Gómez



Nació en Quito, 18 de diciembre de 1984. Obtuvo su título de Bachiller en Humanidades Modernas Especialización Físico Matemático en el Colegio Experimental “Juan Pío Montúfar”. Sus estudios

Superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en octubre del 2008.

Desde enero de 2009 a la fecha como Ingeniero de Pre y Post Venta en TOTALTEK S.A., encargado del desarrollo e integración de soluciones en el área de *networking* y telecomunicaciones en general incluyendo las fases de preparación, planeación, diseño, implementación, operación y optimización.

### MSc. María Soledad Jiménez

Obtuvo el título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en marzo de 1988. Realizó sus estudios de postgrado en la Universidad de Texas & Arlington, donde obtuvo el título de *Master of Science in Electrical Engineering* en mayo de 1994. Se desempeña como profesora principal a tiempo completo del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la EPN. Dicta cátedras a nivel de pregrado y postgrado en las áreas de telecomunicaciones y afines.