

Ramón Millán  
Ingeniero de Telecomunicación



## NG-PON (Next Generation Passive Optical Network)

Los nuevos servicios de telecomunicaciones (televisión y vídeo bajo demanda de alta definición en 3D, comunicaciones unificadas y videoconferencia, juegos en red, “cloud computing”, etc.) demandan redes de telecomunicación más avanzadas que las actuales. Por otro lado, se estima que habrá más de 50 mil millones de dispositivos conectados a Internet. Así, se espera que los requerimientos de ancho de banda en la parte de acceso y troncal de las redes continúen creciendo de forma exponencial durante los próximos años.

La fibra óptica es el catalizador imprescindible para mejorar no sólo el ancho de banda, también el alcance, calidad, robustez, fiabilidad, tiempo de respuesta y eficiencia operativa y energética de las redes de acceso de telecomunicaciones tradicionales basadas en el par de cobre. Hoy en día, los operadores de telecomunicaciones de muchos países, incluyendo a Telefónica en España, están lanzando ofertas residenciales de Triple Play por fibra óptica con anchos de banda con 100 Mbps y existen pilotos con 1 Gbps.

GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) [1], estandarizada en el año 2004 en la serie de recomendaciones ITU-T G.984 y con sistemas comerciales desde el año 2006, ha sido la tecnología elegida por la mayoría de los operadores para ofrecer servicios de banda ancha residencial sobre fibra óptica. Sin embargo, los despliegues de GPON no han cumplido las expectativas en muchos países, debido principalmente a la crisis eco-

nómica y a la falta de un marco regulatorio claro y estable que fomente la inversión.

Para que una tecnología de telecomunicaciones tenga éxito, debe adaptarse a los requerimientos futuros y ser compatible con sus tecnologías predecesoras. Por ejemplo, este ha sido el caso de ADSL, donde han ido apareciendo tecnologías compatibles hacia atrás pero que mejoraban las anteriores, como ADSL2, ADSL2+ o VDSL2 [2]. Del mismo modo, existen varias propuestas y caminos de evolución de GPON a las nuevas generaciones de tecnologías PON, conocidas por NG-PON (*Next Generation PON*). Los principales requisitos de las NG-PON son incrementar el ancho de banda y el alcance de GPON, reutilizando al máximo la red óptica pasiva instalada desde la central a los abonados u ODN (*Optical Distribution Network*), pues su coste supone alrededor 75-85% del coste de ofrecer banda ancha por fibra óptica a los usuarios.

Dentro de NG-PON se diferencia entre XG-PON (NG-PON1) y WDM-PON (NG-PON2). NG-PON1 trabaja sobre la ODN de GPON, mientras que NG-PON2 requerirá de ciertos cambios. Existe un gran interés en la industria en ambas tecnologías, si bien GPON será probablemente la tecnología de acceso predominante en los próximos 3-5 años para usuarios residenciales con FTTH (*Fiber-To-The-Home*). Durante ese período, XG-PON1 es una opción que probablemente sea empleada para usuarios residenciales con FTTB/C (*Fiber-To-The-Building/Curv*) [3] y XG-PON2 para empresas y la red de retorno móvil (*mobile backhaul*) o FTTC/CS (*Fiber-To-The-Tower/Cell Site*). Es decir, se espera que los despliegues de GPON coexistan con los de NG-PON, dependiendo la tecnología a elegir del presupuesto del operador, el retorno de la inversión y período de amortización esperado y de las aplicaciones que quieran ofrecer.

Existen varios suministradores investigando y desarrollando sistemas NG-PON, siendo los claros líderes: Alcatel-Lucent, Ericsson y su joint-venture LG-Ericsson, Huawei y ZTE. Otros proveedores a destacar son Adtran, ADVA, Allied Data, Alphion, Calix, ECI, Enablece, Fujitsu, Hitachi, NEC, NSN, Motorola, Tellabs y Zhong. A día de hoy, se han realizado diversas pruebas piloto de XG-PON (Portugal Telecom, Verizon, etc.) e incluso existen pequeños despliegues comerciales de WDM-PON (Agder, UNET, Korea Telecom, etc.). Estas experiencias han demostrado que estas prometedoras tecnologías no están lo suficientemente maduras para despliegues residenciales masivos y que sus costes son muy superiores a GPON. Sin embargo, a medida que se

“GPON ha sido la tecnología elegida por la mayoría de los operadores para ofrecer servicios de banda ancha residencial sobre fibra óptica. Sin embargo, los despliegues de GPON no han cumplido las expectativas en muchos países, debido principalmente a la crisis económica y a la falta de un marco regulatorio claro”

reduzca el coste de los componentes ópticos y se avance en su interoperabilidad, estas tecnologías y en especial WDM-PON, ganarán atención entre los operadores, debido a sus notables ventajas respecto al resto de tecnologías PON, demostradas en distintos proyectos de investigación como GigaWAM, Sardana o Pieman.

## XG-PON

A medio plazo comenzará a desplegarse XG-PON (NG-PON1), que emplea de nuevo TDM (*Time Division Multiplexing*), pero una mayor velocidad de línea que GPON. Se distingue entre XG-PON1, que soporta 10 Gbps descendentes o de la central a los usuarios (*downstream*) y 2,5 Gbps ascendentes o de los usuarios a la central (*upstream*), y XG-PON2, que soporta 10 Gbps simétrico; frente a los 2,5 Gbps descendentes y 1,25 Gbps ascendentes que soporta GPON. Mientras XG-PON1 es la tecnología predilecta para ONT (*Optional Network Unit*) en FTTH, XG-PON2 lo es para MDU (*Multi-Dwelling Units*) en FTTB/C.

El estándar de XG-PON1, que está basado en los mismos principios que GPON (“broadcast” óptico descendente, TDMA ascendente, OMCI para el control y gestión de las ONU, etc.), se encuentra recogido en la serie de recomendaciones ITU-T G.987 y G.988, finalizadas en el año 2010. Además de los anchos de banda, XG-PON1 tiene otras diferencias respecto a GPON en cuanto a longitudes de onda, presupuestos de potencia óptica (29 dB, 31 dB y 33 y 35 dB) y nuevas mejoras en mecanismos de seguridad y métodos para el ahorro energético [4]. A diferencia de XG-PON1, los estándares de XG-PON-2 no están completamente terminados, debido a la complejidad de hacer un TDMA ascendente a 10 Gbps, y no se espera su finalización hasta el año 2012.

Existen varias arquitecturas de ODN que permiten conseguir la coexistencia entre GPON y XG-PON [5].

Para ello, la banda de longitudes de onda empleadas por XG-PON y definidas en la G.987.1, son distintas a las de GPON tanto en sentido ascendente como descendente, tal y como se muestra en la Tabla 1. El rango de longitudes de onda para servicios de broadcast de vídeo RF (1.480 – 1.560 nm), es heredado de GPON. En el lado de la OLT, los dos sistemas GPON y XG-PON son combinados con un filtro óptico de coexistencia (también conocido por “WDM1). Por otro lado, las ONU incorporan filtros de bloqueo de longitudes de onda o WBF (*Wavelength Blocking Filters*), tal y como se especifica en norma ITU-T G.984.5. Los despliegues de GPON que empleen estas ONU, les permitirá a los operadores migrar gradualmente a XG-PON (es decir, en base a clientes individuales), cambiando la ONT GPON del cliente por una XG-PON1 ONT sin interrumpir o afectar al servicio de los clientes no migrados.

Durante estos años también se han realizado notables mejoras al alcance en los sistemas GPON, que aunque aún no se han materializado en los despliegues de GPON, pero que estarán presentes en los futuros despliegues tanto de GPON como de XG-PON. El presupuesto óptico de 28 dB con tecnología GPON empleando óptica de clase B+ permite un alcance de 30 km cuando el factor de división está limitado a 1:16. Por lo general, los despliegues consideran un factor de división de 32-64 sobre 20 km. La óptica de clase C+ mucho más reciente, está basada en transmisores de mayor potencia y opcionalmente de receptores más sensibles; lo cual permite añadir otros 4 dB al presupuesto del enlace, consiguiendo así un mayor factor de división (*split ratio*) o más alcance. Con óptica de clase C+ se pueden alcanzar hasta 30 km con un factor de división de 64. Los extensores (*extenders*) GPON, con un regenerador PON o un amplificador óptico activo entre la OLT y el divisor (*splitter*), permiten soportar alcances de hasta 60 km con un factor de división de 128. Existen varias arquitecturas e interfaces definidos en la ITU-T G.984.6 para extensores GPON, siendo una opción muy interesante para dar

| Tecnología | Dirección  | Rango de longitudes de onda | Tasa de bit   |
|------------|------------|-----------------------------|---------------|
| GPON       | Downstream | 1.480-1.500 nm              | 2,5 Gbps      |
|            | Upstream   | 1.260-1.360 nm              | 1,2 Gbps      |
| XG-PON     | Downstream | 1.575-1581 nm               | 10 Gbps       |
|            | Upstream   | 1.260-1.280 nm              | 2,5 o 10 Gbps |

Tabla 1. Bandas empleadas por GPON y XG-PON.

banda ancha fija en zonas rurales o remotas, minimizando así el número de centrales del operador.

XG-PON1 es la continuación natural en la evolución de las tecnologías PON y aunque los estándares ya están listos y se han realizados pilotos de sistemas pre-comerciales cumpliendo estas normas, los despliegues comerciales no comenzarán hasta 2012, debido a que el coste de esta tecnología es superior a GPON (especialmente en el caso de XG-PON2, cuyos despliegues se esperan que sean muy reducidos), la interoperabilidad es menor debido a su menor tiempo de depuración de los estándares, su consumo energético es sensiblemente mayor y las necesidades de ancho de banda a corto y medio plazo pueden ser cubiertas con GPON. Sin embargo, GPON y XG-PON coexistirán durante varios años, gracias al proceso de migración gradual definido por la ITU-T.

## WDM-PON

A más largo plazo se desplegará WDM-PON, que emplea WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), es decir, a cada ONU (*Optical Network Unit*) llega una longitud de onda ( $\lambda$ ). En NG-PON2 también se está investigando en nuevos formatos de modulación como OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) o CDM (*Code Division Multiplexing*), en 40G TDM-PON, en TDM-WDM-PON híbrido, etc.; sin embargo, WDM-PON es la tecnología más prometedora a corto plazo.

Las tecnologías requeridas para WDM-PON están disponibles hoy en día y existen ya pequeños despliegues comerciales por parte de LG-Ericsson empleando sistemas propietarios. Por ello, es necesario avanzar en la estandarización y conseguir una reducción de costes de los componentes ópticos para ser consideradas aptas para despliegues masivos. El grupo NGA2 del FSAN ya ha comenzado el proceso de estandarización de WDM-PON, si bien no se cree que hasta 2013 cuando esté completamente estandarizada y hasta 2014-2015 optimizada en costes para comenzar con despliegues comerciales masivos.

WDM-PON es realmente bastante más sencillo que el resto de tecnologías PON, debido a que aunque se conserve a nivel físico la misma arquitectura punto a multipunto de TDM-PON, a nivel virtual cada ONU (*Optical Network Unit*) tiene una  $\lambda$  dedicada. Así, podemos ver de forma lógica

“ Las tecnologías requeridas para WDM-PON están disponibles hoy en día. Es necesario avanzar en la estandarización y conseguir una reducción de costes de los componentes ópticos para ser consideradas aptas para despliegues masivos ”

cada  $\lambda$  como un canal punto a punto, que podrá transportar velocidades dedicadas y simétricas a cada usuario, que van desde los 100 Mbps hasta los 10 Gbps. Para la transmisión sobre una única fibra sin interferencias se utilizan bandas de  $\lambda$ s distintas en sentido ascendente y descendente. El WDM-PON, la  $\lambda$  ascendente y descendente pueden ser únicas para el abonado o cliente empresarial FTTH sobre una ONT (*Optical Network Terminal*), pero también pueden ser compartidas por varios abonados FTTB/C a través de una MDU (*Multi-Dwelling Unit*).

La utilización de WDM-PON en la red de acceso ofrece grandes beneficios respecto a las técnicas TDM-PON:

- ▶ Puesto que no hay compartición en el tiempo de la  $\lambda$ , es mucho más sencillo ofrecer altos anchos de banda garantizados distintos, simétricos o asimétricos, dedicados y sin ningún tipo de contención, a cada abonado.
- ▶ Alta escalabilidad en ancho de banda debido a la transparencia de la tasa binaria y a la facilidad en añadir o quitar canales.
- ▶ Mayores distancias y factores de división, debido a las menores pérdidas ópticas.
- ▶ Gestión y operación y mantenimiento de la red más sencillo.
- ▶ Mayor seguridad, debido a la separación del tráfico entre abonados.
- ▶ Mayor facilidad para crear redes ópticas abiertas con “unbundling” de  $\lambda$ s, lo cual permite la compartición de la misma red de acceso física por varios operadores tal y como ocurre en las actuales redes xDSL sobre cobre.
- ▶ Menor latencia, lo cual es junto a elevados anchos de banda muy importante para aplicaciones como el “mobile backhaul” de LTE y también mejorará la experiencia de usuario en juegos online, servicios “cloud computing” y comunicaciones unificadas, etc.

En WDM-PON, la ODN de las tecnologías TDM-PON no se mantiene intacta y, al menos, es necesario cambiar el divisor/combinador (*splitter*) empleado por GPON y XG-PON, por un multiplexor/demultiplexor de longitudes de onda o AWG (*Arrayed Wavelength Grating*). Al igual que el divisor, el AWG es un componente pasivo que puede operar en un amplio rango de temperaturas, lo cual los hace susceptibles de ser integrados en cabinas a pie de calle fuera de las centrales de las operadoras. Mientras que de la central a los usuarios el divisor replica la señal óptica en

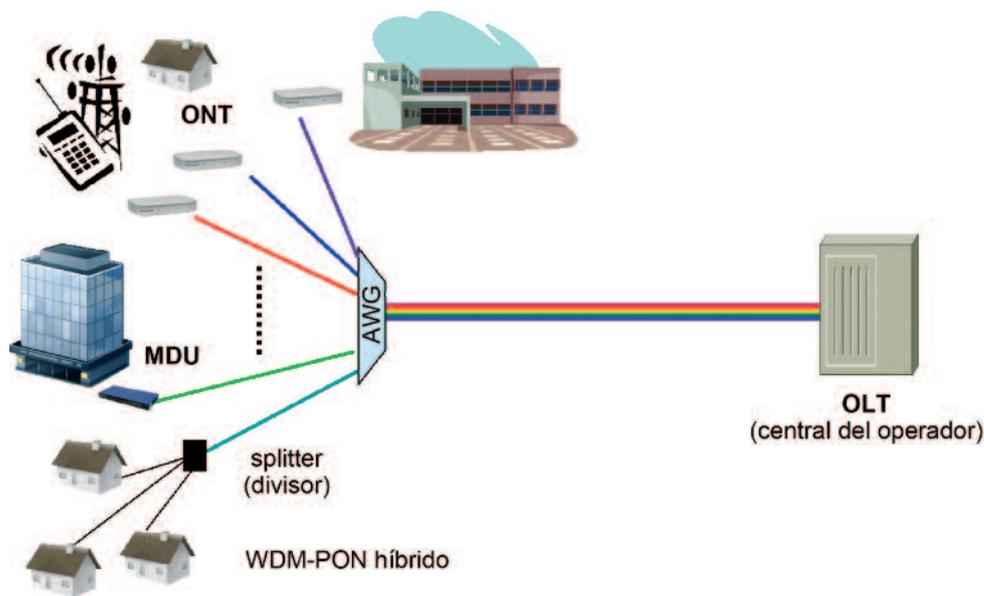


Figura 1: Arquitectura de WDM-PON.

todas sus salidas, dividiendo la potencia entre todas ellas; el AWG dirige cada longitud de onda a su correspondiente ONU con unas pérdidas muy bajas. Por ejemplo, mientras un divisor 1:64 introduce unas pérdidas de unos 20 dB, un AWG sólo introduce unos 8 dB. De este modo, el presupuesto óptico extra puede ser empleado para reducir las especificaciones y, por lo tanto, el coste de los componentes ópticos; o bien para incrementar el factor de división (*split ratio*) o la distancia. Así, WDM-PON puede soportar distancias de hasta 85 km si necesidad de extensores, pudiendo los operadores consolidar el equipamiento activo necesario en la red de acceso y reducir sensiblemente el número de centrales.

El principal reto de WDM-PON es cómo hacer que una misma ONU pueda trabajar en distintas  $\lambda$  (*colorless ONU*). La necesidad de que las ONU sean capaces de ser sintonizadas en cualquier  $\lambda$  es completamente imprescindible para mejorar la eficiencia en fabricación y logística, así como reducir los costes y complejidad de instalación y soporte posterior. Existen diversas tecnologías de WDM-PON para conseguir "colorless ONU", dependiendo de cómo se fija la  $\lambda$  ascendente (la que transmite la ONU) [6]:

- **Preselección remota.** Es la solución empleada por LG-Ericsson. Una fuente de luz de banda ancha o BLS (*Broadband Light Source*) es generada remotamente en la OLT y filtrada por el AWG, llegando una determinada  $\lambda$  a la ONU, donde alimenta a un dispositivo modulador (RSOA, REAM, IL-FPLD). Es la tecnología más madura y económica y permite hasta 32 ONU per PON (es decir, un factor de división de 32), distancias de hasta 40 km y velocidades de hasta 1 Gbps.

- **Reutilización.** Una parte de la energía de cada  $\lambda$  descendente es reutilizada para modular la  $\lambda$  ascendente, lo cual elimina los costes asociados al BLS y mejora la calidad de la portadora y la eficiencia espectral. Esta tecnología necesita aún de mayor investigación y permitirá hasta 96 ONU por PON, distancias de hasta 50 km y velocidades de hasta 2,5 Gbps.

**Sintonización.** Es la tecnología empleada en los sistemas DWDM de larga distancia y metropolitanos actuales, pero es muy cara por el momento para el acceso. En este caso, la  $\lambda$  ascendente es generada localmente en la ONU. Es la tecnología con mayor rendimiento: permite hasta 96 ONU per PON, distancias de hasta 85 km y capacidades de hasta 10 Gbps. ☺

#### Bibliografía

- [1] "¿Qué es... GPON (*Gigabit Passive Optical Network*)". Ramón Jesús Millán Tejedor, BIT nº 166, COIT & AEIT, Diciembre 2007, pág. 63-67. [[www.coit.es/publicaciones/bit/bit166/63-67.pdf](http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit166/63-67.pdf)].
- [2] "¿Qué es el ADSL, ADSL2, ADSL2+ y VDSL2?". Ramón Jesús Millán Tejedor, Monografías.com, nº 62, 2007. [<http://www.ramonmillan.com/tutoriales/vdsl2.php>].
- [3] "FTTB & VDSL2... el cobre tiene vida para rato". Ramón Jesús Millán Tejedor, Boletín DINTEL de Seguridad y Tecnologías de la Información, 24 Marzo 2009. [[www.ramonmillan.com/documentos/fttbvds2.pdf](http://www.ramonmillan.com/documentos/fttbvds2.pdf)].
- [4] "Technology to the rescue of next-generation 10G PON networks". Allard van der Horst, Lighthwave, Abril 2010, pág. 17-21. [<http://online.qmags.com/LW0410/Default.aspx>].
- [5] "Shaping the future of broadband via next-generation fixed access networks". Michael Gronovius, Lighthwave, Septiembre/Octubre 2011, pág. 17-22. [<http://online.qmags.com/LW0911/Default.aspx>].
- [6] "Ensuring the future of your fiber access". Ericsson Paper, Mayo 2011. [[archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=44/28701-FGD101040&Lang=EN&HighestFree=Y](http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=44/28701-FGD101040&Lang=EN&HighestFree=Y)].