

Ramón Millán
Ingeniero de Telecomunicación



Shirin Esfandiari
Ingeniero de Telecomunicación



40 y 100 Gigabit Ethernet

Ethernet lleva más de 30 años demostrando su versatilidad y capacidad de adaptación a los nuevos requisitos de las redes de datos. Así fueron apareciendo Fast Ethernet, Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet. Ahora es el turno de 40 Gigabit Ethernet y 100 Gigabit Ethernet.

Ethernet nació como una tecnología para redes de área local, pero poco a poco, se ha ido “reinventando” para cubrir todo tipo de aplicaciones y redes. Su bajo coste, simplicidad, flexibilidad, fiabilidad e interoperabilidad, han llevado a que la mayoría del tráfico de Internet y de otras redes basadas en TCP/IP (*Internet Protocol/Transmission Control Protocol*),

sea encapsulado sobre Ethernet. La madurez y economías de escala, junto a su capacidad de evolución, han permitido a Ethernet retirar definitivamente a ATM y SDH/SONET de la “guerra” por la convergencia. Evidentemente, Ethernet también ha tenido que evolucionar mucho respecto a sus especificaciones originales, para poder adaptarse a una gran diversidad de servicios en tiempo real.

cia de alternativas a 10 Gigabit Ethernet, las empresas y operadoras deben emplear varias interfaces 10 Gbps para satisfacer sus necesidades de ancho de banda. Cada salto en 10 Gbps de ancho de banda trae consigo *switches* o *routers* adicionales o bien nuevas interfaces, lo cual resulta bastante caro. Estos saltos, para soportarse sobre una única fibra, requieren de equipos CWDM

o DWDM adicionales. En el caso de emplear varias fibras, se reduce la eficiencia debido al balanceo continuo de paquetes sobre diferentes interfaces. Por lo tanto, son necesarias interfaces Ethernet de mayor velocidad.

En Junio de este año, si no hay contratiempos, serán ratificados los estándares IEEE 802.3ab, en los que se lleva trabajando desde 2006, definiendo dos nuevas velocidades de Ethernet: 40 Gbps y 100 Gbps. 40 Gigabit Ethernet será empleado principalmente para redes de almacenamiento, conectividad de servidores, cluster de computación de alto rendimiento, servidores *blade*, etc. Por otro lado, 100 Gigabit Ethernet será empleado en la red de *switching*, *routing* y agregación en centros de datos,

redes metropolitanas y troncales de los operadores y grandes empresas, etc. Como viene ocurriendo con todos sus predecesores, 802.3ab será compatible con la enorme base instalada de equipos Ethernet.

Evolución de Ethernet

Desde sus inicios, la red Ethernet ha venido evolucionando para dotarse de más capacidad, seguridad, fiabilidad, calidad de servicio, protección, facilidades de operación y mantenimiento, etc. Esta evolución la ha hecho dejando prácticamente inalteradas las especificaciones no físicas, de manera que sea compatible con los estándares anteriores, lo que ha sido parte de su gran éxito, ya que de esta manera la mayor parte del equipamiento y, consecuentemente, la inversión realizada, seguía siendo válida.

Ethernet fue concebida a finales de la década de los 70 por DEC, Intel y Xerox, como una tecnología de redes de área local o LAN (*Local Area Networks*) a una velocidad de 10 Mbps. En 1980 apareció la versión 1, seguida por la versión 2 en 1982 y ya, en 1983, se convirtió en la norma IEEE 802.3, siendo adoptada por ISO como ISO 8802.3. En muy poco tiempo, Ethernet se convirtió en la tecnología LAN más extendida.

Fast Ethernet apareció en 1995, alcanzando una velocidad de 100

“Es decir, el principal reto de la nueva generación de Ethernet eran los 100 Gbps, una velocidad que hasta ese momento no existía en el mercado”



Figura 1: Estandarización de nueva generación de Ethernet.

Mbps, mejorando notablemente las prestaciones de capacidad e interconexión de Ethernet. Después en 1998 llegó Gigabit Ethernet, que empezó a ser utilizado en los centros de datos y las redes troncales y empresariales y que, actualmente, está llegando incluso a los hogares. En el año 2002 se aprobó el nuevo estándar 10 Gigabit Ethernet o IEEE 802.3ae, muy utilizado actualmente en las redes troncales. El mayor cambio en 10 Gigabit Ethernet es que se ha eliminado el protocolo de acceso al medio CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), ya que se implementa tan sólo en dúplex (la transmisión y recepción de datos se realizan por cables distintos), con el fin de no empeorar las longitudes de los segmentos en los que se utiliza este protocolo. Por otro lado, el medio físico empleado es, por lo general, la fibra óptica.

En 2010 se aprobará el IEEE 802.3ba, desde el que se llevaba trabajando desde 2006 y cuyo primer borrador apareció a finales de 2008. Este estándar da un paso más en las velocidades de Ethernet, dando lugar a dos velocidades: 40 Gbps que estará destinada a las aplicaciones de centro de proceso de datos y servidores, y las de 100 Gbps para la interconexión en las redes troncales. De este modo, 40

Gigabit Ethernet y 100 Gigabit Ethernet incrementará aún más el actual mercado de Ethernet.

► Características técnicas de 100 GbE

Hasta ahora, estos crecimientos en capacidad en Ethernet se han producido gracias a técnicas de multiplexación en el tiempo, es decir, se agregaban flujos de paquetes a velocidades más bajas y se transmitían por una interfaz a una velocidad más elevada. Los 40 Gbps es una interfaz que existe desde hace unos años en el mercado, aunque no sobre Ethernet. Es decir, el principal reto de la nueva generación de Ethernet eran los 100 Gbps, una velocidad que hasta ese momento no existía en el mercado. Para ambas velocidades, la nueva generación de Ethernet emplea una transmisión de datos paralela; es decir, múltiples señales a menor velocidad viajando sobre varias fibras paralelas o bien sobre diferentes longitudes de onda. Esto ha sido posible gracias a los avances en las tecnologías de circuitos integrados SERDES y CMOS.

Los principales objetivos que se pretendían cubrir con la nueva generación de Ethernet eran:

- Soportar sólo el modo de funcionamiento full-duplex
- Mantener el formato de trama Ethernet/802.3 empleando el MAC de 802.3
- Soportar una tasa de error o BER (*Bit Error Rate*) igual o mejor a 10^{-12} en la interfaz de capa física o MAC
- Soportar la tasa de datos MAC de 40 Gbps y de 100 Gbps sobre diversos medios físicos: *backplanes* de cobre de los equipos, cableado de cobre y fibras ópticas multimodo o MMF (*Multi-Mode Fiber*) y monomodo o SMF (*Single-Mode Fiber*)
- Proporcionar un soporte adecuado de la red de transporte óptico u OTN (*Optical Transport Network*)

La razón de especificar dos velocidades de control de acceso al medio o MAC (*Medium Access Control*), con los correspondientes interfaces físicos, permite satisfacer con mayor eficiencia en rendimiento y costes los requisitos de distintas aplicaciones, pues a mayor velocidad, los equipos son más caros y consumen más energía. Además, tal y como se puede observar en la Tabla 1, el estándar ha definido distintas especificaciones de interfaces físicas o PMD (*Physical Media Dependent*) dependiendo del tipo de aplicación a cubrir. Por ejemplo, para aplicaciones asociadas a centros de computación, las soluciones de la capa física cubrirán distancias cortas, de hasta unos 100 metros. Para aplicaciones de agregación de red, las distancias a cubrir son superiores, requiriendo de interfaces transmitiendo a más potencia y más caras y complejas. Las interfaces que estarán disponibles en un primer momento serán las de fibra y posteriormente lo harán las de cobre, debido a su mayor dificultad en soportar altas tasas de transmisión de datos.

100GbE sobre redes ópticas DWDM

Los avances en las tecnologías WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) permiten transportar varias señales de 2,5 Gbps, 10 Gbps o 40 Gbps sobre una única fibra óptica monomodo. Los actuales sistemas DWDM (*Dense WDM*) soportan hasta 160 longitudes de onda separadas por 50 GHz (0,4 nm), basadas en el grid ITU-T G.692. Para aprovechar al máximo la infraestructura de comunicaciones (amplificadores ópticos, multiplexores, compensadores de dispersión, etc.), interesa que cada una de las señales a multiplexar en el dominio óptico, soporten la máxima velocidad posible.

Cada señal a transportar es encapsulada en una trama ITU-T G.709 o “digital wrapper” de la red de transporte óptico u OTN (*Optical Transport Network*). Tenemos así las siguientes unidades de multiplexación ópticas u ODU (*Optical Data Unit*): ODU1 para 2,5 Gbps, ODU2 para 10 Gbps y ODU3 para 40 Gbps. La ODU2 constituyó el punto de convergencia de SDH/SONET (STM-64/OC-192) y de 10 Gigabit Ethernet. La ODU3 podrá ser utilizada también con 40 Gigabit Ethernet y la nueva ODU4 con 100 Gigabit Ethernet. La velocidad de línea del contenedor óptico u OTU (*Optical Transport Unit*) de la OTU3 es de unos 43 Gbps y la de la OTU4 de unos 112 Gbps, debido a la codificación 64B/66B y al entramado OTN y la cabecera para corrección de errores o FEC (*Forward Error Correction*). El OTU4 podrá transportar una señal de 100 Gbps o bien nueve señales de 10 Gbps.

Los retos para conseguir 100 GbE eran muchos, como por ejemplo: el control de la potencia y disipación de calor, la disponibilidad de chips más rápidos en el interior de los

Medio físico	40 GbE	100 GbE
Backplane 1 m	40GBase-CR4	X
Cobre 10 m	40GBase-CR4	100GBase-CR10
Fibra óptica MMF OMC3 ($\lambda = 850$ nm) 100 m	40GBase-SR4 Empieza 4 fibras OM3 paralelas en cada dirección. Cada una soporta 10 Gbps (con la codificación 64B/66B, resulta en una velocidad de línea de 10,3125 Gbps).	100GBase-SR10 Empieza 10 fibras OM3 paralelas en cada dirección. Cada una soporta 10 Gbps (con la codificación 64B/66B, resulta en una velocidad de línea de 10,3125 Gbps).
Fibra óptica SMF ($\lambda = 1.310$ nm) 10 km	40GBase-LR4 Empieza una fibra SMF en cada dirección. Cada una soporta CWDM con $\lambda = 1.270, 1.290, 1.310$ y 1.330 nm (basado en el grid ITU-T G.694.2). Cada λ soporta 10 Gbps (con una codificación 64B/66B, resulta en una velocidad de línea de 10,3125 Gbps).	100GBase-LR4 Empieza una fibra SMF en cada dirección. Cada una soporta DWDM con $\lambda = 1.295, 1.300, 1.305$ y 1.310 nm (basado en el grid ITU-T G.694.1). Cada λ soporta 25 Gbps (con la codificación 64B/66B, resulta en una velocidad de línea 28,78125 Gbps).
Fibra óptica SMF ($\lambda = 1.310$ nm) 40 km	X	100GBase-ER4 Sigue los mismos principios indicados para 100GBase-LR4. Para alcanzar 40 km se emplea tecnología SOA (Semiconductor Optical Amplifier).

Tabla 1: Especificaciones de la capa física del IEEE 802.3ba.

equipos, el control de la dispersión de polarización de modo y cromática que afecta mucho más a mayores tasas de bit, etc. Las interfaces indicadas en la Tabla 1 no serán utilizadas en los transpondedores de los sistemas DWDM, pues se trabaja en la tercera ventana de comunicaciones ópticas ($\lambda = 1.550$ nm) y se deben emplear tecnologías más avanzadas: modulaciones espectralmente más eficientes y que soportan mayores distancias de transmisión (como QDPSK o DQPSK), receptores de detección coherente y con compensación electrónica de la distorsión, múltiples portadoras (mediante SCM u OFDM), etc.

La introducción de 100 GbE sobre rutas DWDM ha sido probada por varios operadores. Por ejemplo, Telefónica de España realizó exitosamente un piloto el pasado

Diciembre de 2009 sobre rutas DWDM de ALU, Ericsson y Huawei, empleando un canal de 100 Gbps coexistiendo con canales de 10 Gbps y 40 Gbps, y superando los 1.000 km cruzando múltiples OLA (*Optical Line Amplifier*) y ROADM (*Reconfigurable Optical Add and Drop Multiplexer*). Es decir, la tecnología 100 Gbps permitirá satisfacer las necesidades de ancho de banda sin afectar al diseño y arquitectura de la mayoría de las redes DWDM, reduciendo notablemente el coste por bit transmitido. Debe tenerse en cuenta que la transmisión a 100 Gbps es más susceptible a problemas de transmisión y tiene unos requisitos de calidad de la fibra y de diseño del enlace más exigentes que los 40 Gbps. Sin embargo, por lo general, para migrar una ruta de 40 Gbps a 100 Gbps basta, con introducir los nuevos transpondedores. ☺