

# La Fibra

Federico José Guillén Moñino

1.	Un poco de historia.....	3
2.	Un poco de tecnología. Origen de la fibra óptica.....	6
3.	La gran decisión.....	8
4.	El futuro .....	11

El término “La Fibra” ha pasado a ser parte de nuestro lenguaje habitual y aunque en muchos casos no se entienda muy bien todo lo que significa, lo que sí se sabe es todo lo que nos proporciona. Si preguntáramos a alguien que no estuviera relacionado con el sector de telecomunicaciones, probablemente nos diría que La Fibra “es lo que nos permite tener acceso a todos los servicios de comunicación en nuestro hogar. Desde películas y música en “streaming”, hasta videoconferencias personales, para docencia o de negocio, pasando por juegos, compras, reserva de entradas para eventos, acceso rápido a internet y todo lo que esté por venir”.

Precisamente ese “todo lo que esté por venir” es la parte más apasionante de esta tecnología y fue lo que Telefónica anticipó hace más de quince años para lanzarse a una inversión que en aquellos días no tenía, ni mucho menos, un caso de negocio claro.

Pero antes de hablar de lo que nos puede traer la fibra en un futuro, no muy lejano, me gustaría profundizar un poco en qué es la fibra, cómo y cuándo comenzaron los despliegues, por qué se eligió esta tecnología en lugar de otras y cómo contribuye la fibra al desarrollo de la sociedad en general a través de la digitalización de empresas y hogares.

## 1. Un poco de historia

El lector que tenga menos de treinta años probablemente ni siquiera reconocerá lo que voy a contar en los próximos párrafos, pero en la década de los 90, cuando los ordenadores personales empezaron a ser un artículo más o menos común en los hogares y comenzamos a descubrir los primeros servicios digitales, como el correo electrónico y el acceso a navegadores para buscar todo tipo de información en lo que empezó a llamarse la red de “Internet”, la forma de conectarse a ella era a través de un modem de acceso telefónico (en inglés “modem dial up”).

Un modem de acceso telefónico es un dispositivo, una placa dentro del ordenador o una caja externa conectada al mismo, que se enchufa a la línea del teléfono fijo y permite la conectividad con otro ordenador, punto a punto, o a través de un servidor de un proveedor de servicios Internet (ISP).

La velocidad de conexión máxima de esos primeros módems era de 1200 bps (bits por segundo). Eso es entre medio millón y un millón de veces menos, aproximadamente, que la velocidad que hoy tenemos con el servicio de fibra óptica. Hacer una actualización de software, jugar online o ver un video en “streaming” era absolutamente impensable con estas velocidades de transmisión.

De los 1200 bps se pasó a 2400 bps y progresivamente, en poco tiempo, se llegó a 56 Kbps.... Un servicio de fibra de 600Mbps es diez mil veces más rápido que aquel modem de 56Kbps.

A medida que los contenidos de la red fueron aumentando en cantidad y tamaño, incluso un modem 56K era absolutamente insuficiente. Descargar una página con contenido gráfico o un adjunto en un correo electrónico podía tomar varios minutos. En aquella

época descargar los correos electrónicos después de un periodo desconectado, era un proceso que podía durar muchos minutos, incluso más de una hora, dependiendo del tamaño de los archivos adjuntos y de la calidad de la línea de cobre a la que se conectaba el modem.

Pero el modem telefónico no sólo tenía el problema de la velocidad, sino que, cuando se utilizaba, la línea telefónica estaba ocupada y no se podían recibir ni hacer llamadas. Si alguien descolgaba el teléfono para hacer una llamada se cortaba la conexión y en muchos casos había que volver a comenzar la descarga. La solución era contratar una segunda línea para acceso de datos, por lo que proliferaron en todo el mundo en esa época, al igual que las líneas RDSI (dos canales de 64Kpbs y uno de 16Kbps).

Cuando al principio de la década del 2000 surgió el modem ADSL, inmediatamente los Proveedores de Servicios de Telecomunicaciones, comenzaron a sustituir los módems telefónicos, e incluso muchas de las líneas RDSI, por este nuevo tipo de modem.

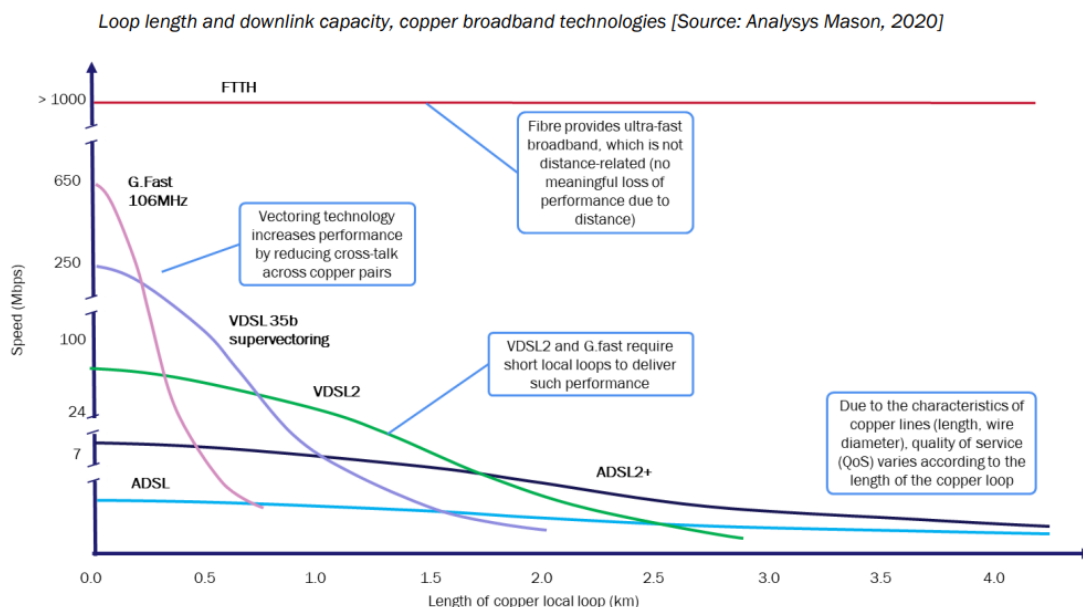
El módem ADSL tiene dos ventajas fundamentales respecto a los módems telefónicos, no bloquea la línea telefónica para hacer o recibir llamadas y las velocidades de transmisión se situaban alrededor de 1Mbps, en los primeros despliegues, y hasta 10Mbps cuando la tecnología fue evolucionando al poco tiempo. Supuso un avance impresionante en aquellos tiempos ya que se multiplicó por 100 la velocidad de transmisión y por lo tanto el ancho de banda del servicio ofertado. Se desplegaron millones de líneas ADSL en todo el mundo en los siguientes cinco o seis años.

El inconveniente del ADSL, la velocidad de transmisión decrece de forma muy rápida con la distancia desde la central. Esto obligaba a que el servicio ofertado fuera el máximo técnicamente posible para los clientes potenciales que estuvieran situados más lejos de la central, lo cual suponía un desaprovechamiento del potencial de la red en un alto porcentaje de esta.

Como siempre ocurre con la tecnología, cuando se produce un salto en las prestaciones se aceleran los servicios que se ofertan sobre esa tecnología. De repente se podían hacer cosas que con un módem telefónico eran absolutamente impensables. Los archivos adjuntos ya podían ser de varios Mega-bytes, las informaciones se descargaban de Internet en un tiempo razonable, se comenzaron a usar imágenes en las páginas web, las actualizaciones de los programas informáticos se empezaron a poder “descargar”, en lugar de instalar con un CD, los juegos interactivos empezaron a ser una realidad... y aparecieron los primeros servicios de Video a través de ADSL, como por ejemplo Imagenio, hoy Movistar +, en el caso de Telefónica.

Pero, como también siempre ocurre, la nueva tecnología se queda corta pronto, los servicios asociados a estos despliegues de banda ancha con ADSL empezaron a requerir cada vez más capacidad, por ejemplo, con la televisión HDTV. La longitud del bucle empezó a ser un limitante muy importante, a pesar de que la tecnología continuó evolucionando y cada vez se producían módems con mayor velocidad de transmisión a medida que avanzaba la tecnología, desde ADSL hasta g.Fast, pasando por ADSL2, ADSL2+, VDSL, VDSL2, Vectoring,..... Algunas de estas tecnologías proporcionan más

de 100Mbps, aunque la distancia hasta la central se convertía en un factor limitante cada vez mayor.



En este punto, mediados/finales de la década del 2000, dependiendo de los países, se plantearon tres opciones:

- Acortar el bucle. Para ello, la solución consistía en "acercar" los equipos de central ADSL/VDSL (DSLAM) al abonado reduciendo el bucle a un kilómetro y medio o menos, mediante un gabinete de exteriores instalado en la calle o en algún edificio pequeño propiedad del operador, conectado con una fibra punto a punto desde la central de conmutación. Esta solución se implementó en muchos países, porque tiene la ventaja evidente de reducir el tiempo de despliegue a la vez que acelera el retorno de la inversión, siempre con la idea de finalmente reinvertir en Fibra hasta el hogar. Sin embargo, también tiene dos inconvenientes importantes: el consumo de energía en el gabinete y el mantenimiento de la planta externa.
- Utilizar tecnología Coaxial. Los operadores de TV por Cable en Estados Unidos, y a continuación en otras partes del mundo, comenzaron a desplegar una tecnología equivalente al ADSL llamada Cable-modem basada un estándar denominado Docsis. Se alcanzaban velocidades de transmisión equivalentes, o superiores al ADSL, pero el inconveniente es que el número de abonados por grupo de usuario era limitado para no afectar al rendimiento y que la velocidad "upstream" (desde el abonado hacia la central) es menor y dependiendo de los servicios puede llegar a ser un limitante insalvable.
- Utilizar una nueva tecnología denominada PON (Passive Optical Network), que consiste en sustituir el bucle de cobre por Fibra Óptica.... Cada fibra que sale de la central se ramifica en un "splitter" (distribuidor pasivo óptico) del que salen dos, cuatro, ocho fibras. Con un par de "splitters" se accede a 16, 32, 64,... abonados. La primera tecnología PON que se estandarizó se denomina GPON

cuya capacidad es 2,5Gbps downstream (hacia el abonado) y 1,25Gbps upstream (desde el abonado). Como el “splitter” es un elemento pasivo que no requiere alimentación eléctrica las ventajas de ahorro en gastos operacionales, OPEX, en comparación con una solución de cobre, donde hay que poner un gabinete que requiere alimentación, son enormes.

Había que tomar una decisión. Pero antes hagamos un poco de historia para entender mejor la importancia que tuvo la industrialización de los sistemas de transmisión por fibra y las innovaciones que llevaron a hacerlo posible.

## 2. Un poco de tecnología. Origen de la fibra óptica

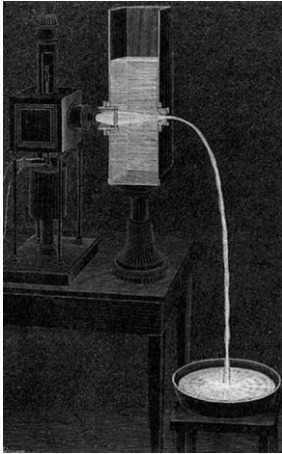
“Estudios teóricos y experimentales indican que una fibra de cristal con un diámetro de  $\lambda_0$  y un recubrimiento con total de  $100 \lambda_0$  representa una guía onda practica con un importante potencial de ser un nuevo medio de comunicación. El índice de refracción del núcleo tiene que ser alrededor de un 1% mayor que el del revestimiento. ... Esta forma de guía onda tiene una capacidad de información superior a 1G baudio por segundo. Es completamente flexible y admite unas tolerancias mecánicas del 10% que pueden ser alcanzadas fácilmente en la práctica”

Estas son las palabras que aparecen en las conclusiones del artículo escrito por K. C. Kao, y G. A. Hockham publicado en julio de 1966 y que se considera el origen del uso práctico de la fibra óptica para sistemas de comunicaciones.

Este estudio y los que siguieron, le valieron a K.C. Kao para conseguir el premio Nobel de Física en 2009. Este premio fue compartido con Willard S. Boyle y George E. Smith por la invención del CCD, invención que abrió la puerta a la digitalización de las fotos y los videos que inundan hoy las comunicaciones digitales en el mundo. Podría decirse que el premio Nobel de 2009 reconoce las contribuciones esenciales para el nuevo mundo de las telecomunicaciones.

Solo cuatro años después de la publicación de aquellos trabajos de K.C. Kao, los ingenieros de Corning fueron capaces de producir una fibra óptica con características de transmisión de propagación de la luz con 20 dB/km de atenuación como había predicho K.C. Kao.

Pero, para ser justos con la historia, la idea de las comunicaciones ópticas por un medio distinto del aire se remonta a un siglo antes del artículo de K.C. Kao.



En 1842, cien años antes, Daniel Colladon describió por primera vez lo que él llamó Fuente de luz o tubería de luz en su artículo titulado “Sobre las reflexiones de un rayo de luz en el interior de una corriente líquida parabólica”. El artículo mostraba que la luz se propagaba siguiendo la trayectoria parabólica de un flujo de agua que salía de un depósito. La ilustración adjunta es de un artículo posterior, 1884, de Colladon. En la ilustración se aprecia que la luz ilumina perfectamente el chorro de agua que emana de una apertura realizada en el depósito.

La propagación de la luz dentro de la corriente de agua se debe al efecto de la reflexión de los rayos de luz ocasionada en la superficie de contacto de dos medios de distinto índice de refracción (el agua y el aire en este caso). La luz se transmite por una fibra de la misma forma.

Las comunicaciones ópticas en una fibra se basan en las reflexiones de los rayos de luz dentro de una fibra de silicio envuelta en una cobertura y cuyas diferencias de índices de refracción hacen que la mayor parte de la luz vaya reflejándose en su propagación a lo largo de la misma.

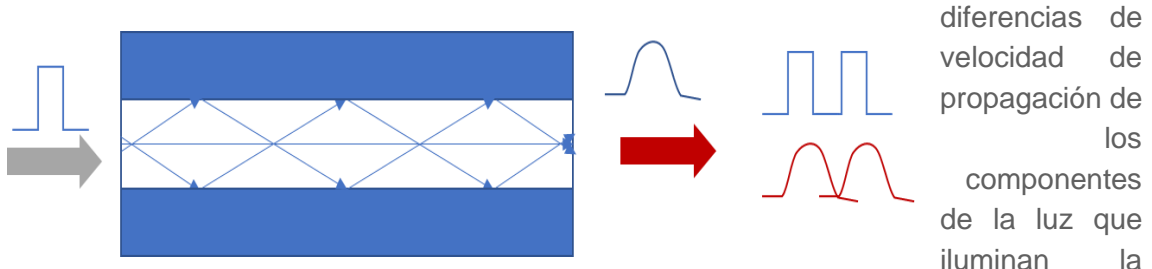


Las dimensiones típicas de una fibra son de 10 a 50 micras para el núcleo y de 150 micras incluyendo la cobertura. (el grafico muestra el principio. Extraído del documento justificativo del premio Nobel de Física).

Además de exponer las capacidades de transmisión de esta guía de ondas ópticas, K.C.Kao también detalló las limitaciones debido a impurezas de los materiales, defectos de fabricación y la propia naturaleza del material de la fibra de cristal.

Existen dos características claves que definen el rendimiento de las fibras ópticas para transmisión, 1) pérdidas de eficiencia por dispersión y 2) perdidas por atenuación.

Las **pérdidas por dispersión** son debidas al ensanchamiento de los pulsos transmitidos a medida que la luz se propaga por la fibra. Este ensanchamiento se ocasiona por las



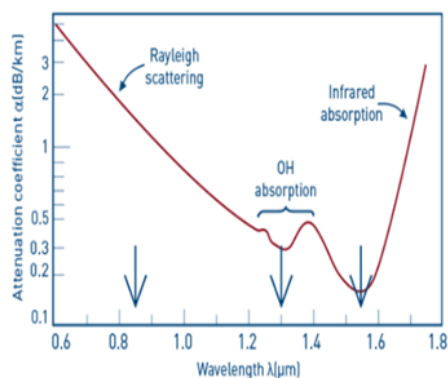
diferencias de velocidad de propagación de los componentes de la luz que iluminan la fibra. Estos componentes pueden ser, bien los modos electromagnéticos que se propagan existen fibras multimodo y fibras monomodo, bien las diferentes longitudes de onda que se propagan (dispersión cromática).

En ambos casos, el efecto es que los pulsos transmitidos a la entrada de la fibra se ensanchan y hacen que la velocidad de transmisión se tenga que reducir para evitar la interferencia entre símbolos que aumenta el nivel de errores en la señal recibida.

Para eliminar la dispersión multimodal se usan fibras monomodo, de núcleo mucho más pequeño.

La dispersión cromática se puede corregir o limitar con elección apropiada de la fuente de luz que sean de mayor pureza, como un diodo láser en lugar de un diodo LED, con elección de longitudes de onda en la que la dispersión no existe o es pequeña o con la introducción de mecanismos de corrección de la dispersión.

Las **pérdidas por atenuación** en la fibra dependen de la longitud de onda de la luz. El gráfico adjunto, extraído del documento justificativo del premio Nobel de Física de K.C. Kao, muestra dicha variación. Dependiendo de la longitud de onda, las pérdidas son debidas a efectos diferentes intrínsecos con los materiales de la fibra.



Las longitudes de onda elegidas para la transmisión en acceso son las que se corresponden a las ventanas de menos atenuación en el entorno de 1300 nm y 1550 nm.

Desde los 20 dB/km de atenuación que Corning consiguió en 1970 se ha llegado hoy a atenuaciones en el rango de 0,14 dB/Km abriendo la puerta a comunicaciones de muy larga distancia usando fibra óptica.

En el dominio del acceso, la tecnología comercial actual ofrece velocidades de 10Gbps y 25 Gbps a distancias entre 20 km y 60 km y con planes de ofrecer 50 Gbps y 100 Gbps en 5 años.

### 3. La gran decisión

Desde el punto de vista puramente tecnológico, la decisión cobre/coaxial o fibra es obvia: Fibra. Es una tecnología que proporciona mayor ancho de banda que cualquiera de las otras dos; que puede ofertar servicios simétricos, imprescindibles para servicios como la videoconferencia; que se puede actualizar en capacidad de transmisión con nuevas versiones de la misma tecnología casi hasta el infinito; que contribuye a los objetivos de sostenibilidad, ESG, de los operadores debido a la reducción consumo eléctrico en uno o dos órdenes de magnitud respecto a una red de cobre o coaxial y que en definitiva, una vez instalada, protege la inversión realizada durante muchos años.

Pero desde el punto de vista económico no está tan claro, al menos a corto plazo. Un despliegue de fibra requiere reemplazar todo el cobre, y la obra civil es cara y compleja, por lo que se requiere mucho capital y tiempo antes de que se comience a recuperar la



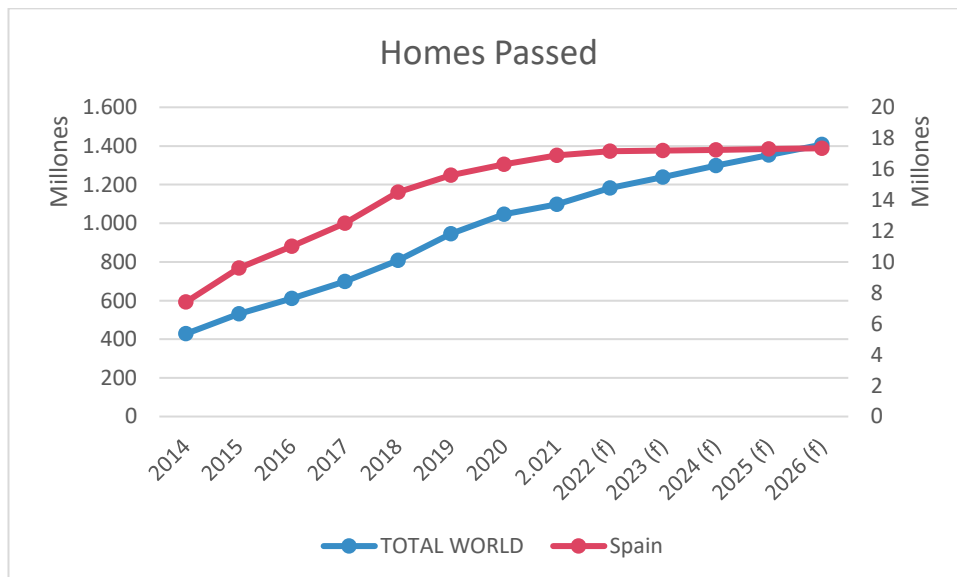
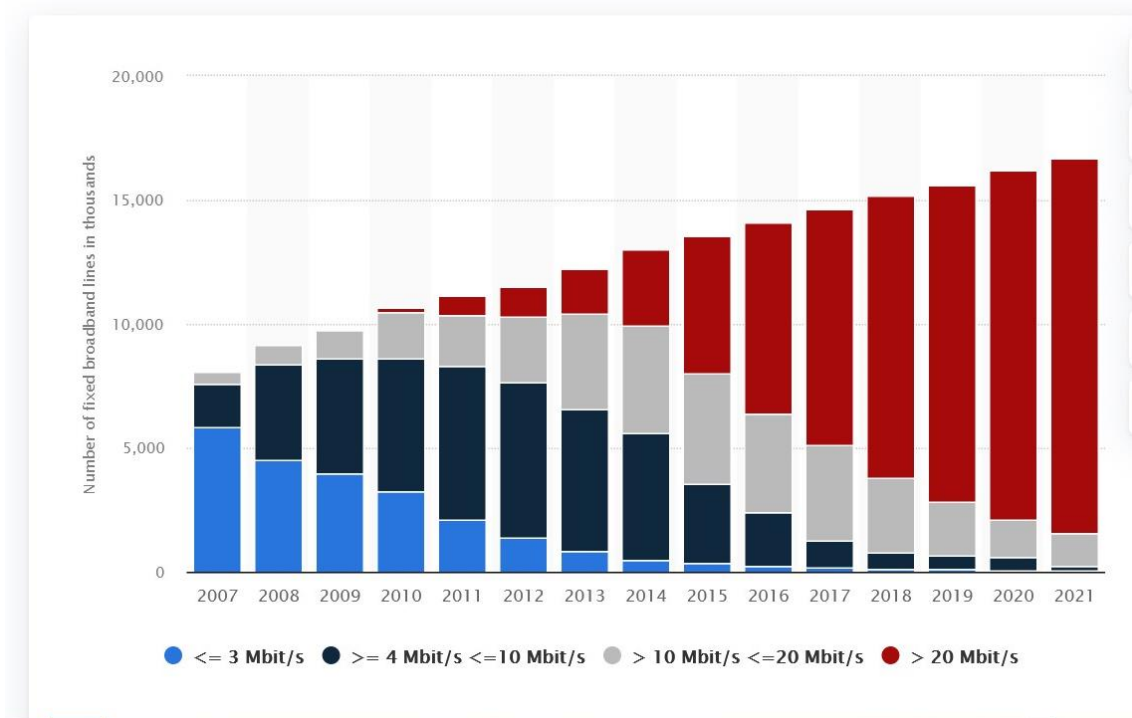
inversión a un ritmo razonable. El coste por usuario se dispara y los tiempos de amortización pueden llegar a ser de siete años, o mayores. Además, para tener éxito comercial, hay que tener una cobertura suficientemente amplia en muy poco tiempo, de forma que los usuarios que soliciten el servicio puedan ser atendidos en un tiempo razonable. Todos los operadores eran conscientes de que el objetivo final era Fibra hasta el hogar (FTTH), pero muchos decidieron hacerlo en dos pasos: primero acercar la fibra hasta unos 0,5-1 Km del abonado y posteriormente sustituir los últimos tramos de cobre con Fibra. El flujo de caja y la inversión requerida inicialmente era mucho menor, pero las ventajas de tener una red capaz de soportar cualquier servicio requerido por el mercado no serían palpables hasta que todo el cobre se reemplazara por Fibra.

Telefónica, en una decisión visionaria en la época, decidió apostar por FTTH alrededor de 2007, y no fue el primer operador en el mundo en hacerlo, pero sí uno de los primeros y posiblemente el primero en Europa en tomar la decisión y comenzar con despliegues de un volumen considerable.

Aquella decisión, arriesgada entonces, se demostró más tarde ser la correcta y se hizo especialmente patente en 2020, cuando por culpa de la pandemia prácticamente todo el mundo tuvo que vivir meses encerrados en casa, teletrabajando. ¿Qué hubiera sido de la economía mundial de no ser porque operadores como Telefónica, años antes, decidieron invertir y crear una red FTTH que cubriera las necesidades de comunicación de la mayoría de los hogares? Aparte de la dimensión económica, conviene no infravalorar el tremendo impacto social que una buena red de fibra tuvo durante los días del confinamiento, proporcionando herramientas de teletrabajo, pero también de entretenimiento y comunicación, por video, que sin duda fueron de gran ayuda para sobrellevar aquellos momentos tan difíciles. Gracias a aquella decisión, y al hecho de que otros operadores tuvieron que imitar a Telefónica para poder competir, J.M. Álvarez Pallete (CEO de Telefónica) en 2020 pudo decir: "España tiene más líneas FTTH que Alemania, Italia, Francia y UK juntos".

Como se puede observar en los dos gráficos siguientes, el despliegue de fibra en España es hoy motivo de caso de estudio por su efectividad. El país pasó de una cobertura de FTTH del 0% en 2009 al 85% en 2019, la segunda penetración de fibra más alta de Europa después de Portugal. Durante ese periodo, el ancho de banda ofrecido a los clientes finales creció de forma exponencial y se llegó a una cobertura casi universal en diez años, muy por encima de la media comparando con otros países.

## Total amount of fixed broadband lines in Spain from 2007 (in 1,000s)



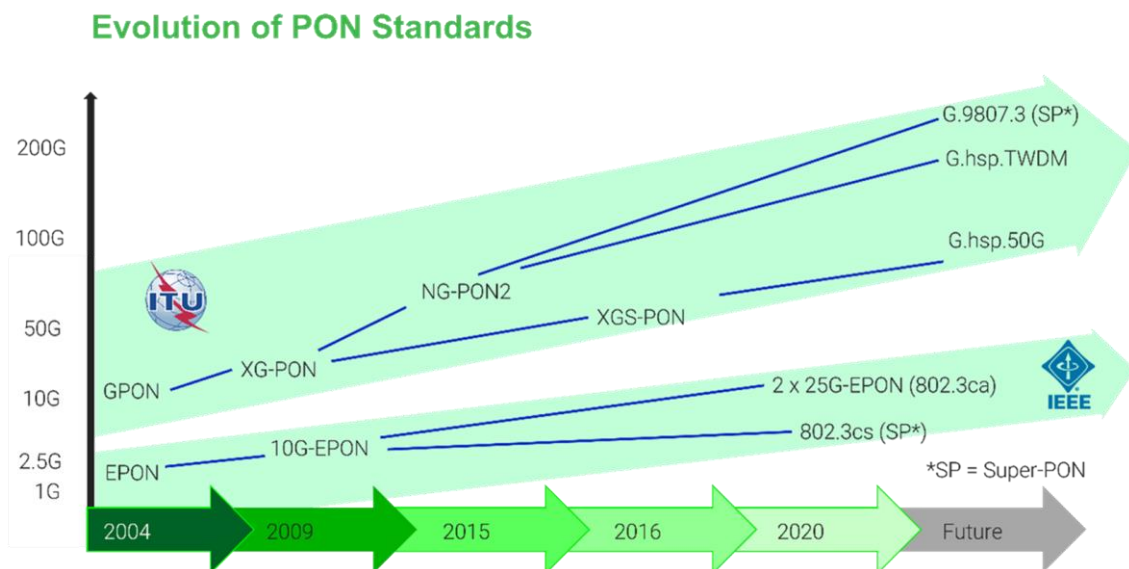
Durante la pandemia del COVID19, los operadores en todo el mundo que todavía no habían decidido desplegar FTTH y seguían ofreciendo servicio de Banda Ancha con Cobre o cable Coaxial, comenzaron a invertir en FTTH tan rápido como sus estados financieros les permitían. Ya no había duda. Para poder competir en el mercado, había que tener una buena red de Fibra complementada con una buena red 5G/4G para cubrir los servicios en movilidad. Fibra y móvil (5G) no compiten entre sí, se complementan, y los operadores más exitosos alrededor del mundo son aquellos que, como Telefónica, “fusionaron” ambos en una oferta comercial competitiva, complementada con la oferta de contenidos y de otros servicios.

## 4. El futuro

¿Qué más puede ofrecer La Fibra a futuro? La buena noticia es que las posibilidades que ofrece esta tecnología son prácticamente infinitas. Una vez que se ha realizado la inversión en la red pasiva, fibra y splitters, y se tiene una cobertura de hogares cercana al 100% la tecnología continuará evolucionando permitiendo actualizaciones de la red para incrementar el ancho de banda y reducir la latencia a medida que los servicios lo requieran.

Actualmente la mayoría de las redes FTTH utilizan GPON (2,5Gbps downstream / 1,25 GBps upstream), pero ya se ha llegado al punto en el que se instalan en el mundo más líneas nuevas XGS-PON (10Gbps/10Gbps) que líneas GPON. ¡Sobre la misma fibra ya instalada! La tecnología 25GPON ya se está empezando a desplegar en algunos países y en pocos años se pasará a 50GPON o incluso 100GPON, tecnologías que actualmente ya se han probado en pruebas piloto.

Como se aprecia en la siguiente figura, los organismos de estandarización, ITU e IEEE mantienen un esfuerzo continuado para seguir aumentando la velocidad que la fibra puede ofrecer en el acceso a los hogares, y por extensión a las empresas, y para la conexión de estaciones base, incluyendo las futuras que se desplieguen siguiendo estándar 6G. Esa es una de las mayores ventajas de la fibra: una vez instalada, no existen barreras tecnológicas cercanas que impidan pensar en velocidades aún mayores. Como decía en las primeras líneas, la fibra soportará lo que esté por venir.



Me gustaría concluir con una reflexión sobre lo que nos depara el futuro. En los últimos tiempos se habla mucho del Metaverso. Realmente nadie sabe hoy qué será finalmente el Metaverso, o mejor dicho, qué aplicaciones del Metaverso tendrán éxito en primer lugar y en qué sectores. Realidad virtual, realidad aumentada, fusión mundo físico y virtual con los Digital-Twin, ... pueden tener infinidad de casos prácticos de uso en la

industria, las empresas, el entretenimiento, salud, la educación,. En cierto sentido estamos viviendo hoy una situación parecida a la que vivimos a finales de los años 90, cuando se comenzó a hablar de Internet, y nadie podía siquiera imaginar lo que realmente sería luego. En el fondo, no importa qué será exactamente el Metaverso, porque eso dependerá del éxito comercial de cada una de las aplicaciones en el tiempo, pero lo que está claro es que sólo será posible con redes de Fibra de altas prestaciones (y 5G, 6G y lo que esté por venir) que sean capaces de proporcionar el ancho de banda, la latencia necesaria para que esas aplicaciones sean factibles y económicamente viables. En mi opinión, el Metaverso se materializará antes en aquellos países cuyas redes proporcionen las capacidades y la cobertura necesarias, por lo que Telefónica está situada en una posición de privilegio para ser pionera una vez más.



[www.telefonica.com](http://www.telefonica.com)