

EFEMÉRIDES

50 AÑOS DE LA INVENCION Y EVOLUCION DE LA FIBRA OPTICA

¿Quién no ha recibido una llamada de su compañía telefónica ofreciendo el cambio del cableado de cobre por fibra óptica? Hoy nos parece algo cotidiano y nuestros hijos adolescentes ni siquiera nos preguntan *¿qué es la fibra óptica?* porque ya lo saben. En España, Telefónica comenzó en 2007 a hacer instalaciones de prueba en Madrid en lo que se conoce como 'la última milla', que es el tramo de cableado desde el último punto de control del operador hasta el usuario. La sustitución de cobre por fibra óptica en la última milla se denomina FTTH (*Fiber-To-The-Home*) y está ensanchando las puertas de nuestros hogares para permitir la entrada a todas las nuevas tecnologías xDSL.

Sin embargo, la fibra óptica no es un invento tan reciente como nos pueda parecer. Como todo lo bueno, ha tenido su proceso de maduración hasta llegar a su estado actual.

La rapidez de las comunicaciones empleando la luz se conoce desde la antigüedad, las señales luminosas entre torres o los faros en las costas son prácticas milenarias. La primera vez que se confinó la luz en un medio curvo fue en la década de 1840. A cargo de este descubrimiento estuvo Jean-Daniell Colladon, que en la universidad de Ginebra demostró cómo guiar la luz a lo largo de un chorro de agua aprovechando el fenómeno de reflexión total o TIR (*Total Internal Reflection*). El francés Babinet, especialista en óptica, había descubierto de forma simultánea el mismo fenómeno y publicó un artículo en el que indicaba el primer uso médico de la técnica: "la idea también funciona bien con un cristal curvado y, como ya he indicado, se podría usar para iluminar el interior de la boca" (*Comptes Rendus*, 15, 800-802, 1842). Sin embargo, lo consideró como un tema de poca importancia y nunca volvió sobre él.

Ya en 1870, John Tyndall, utilizó un chorro de agua para demostrar en público que un rayo de sol seguía una trayectoria en zigzag a lo largo del chorro curvado (Fi-

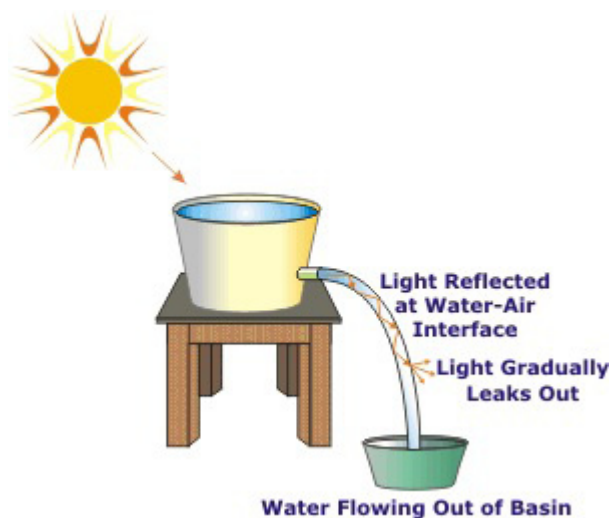


Figura 1. Experimento de John Tyndall.

gura 1). Este simple experimento marcó el primer hito en la investigación de la transmisión guiada de la luz.

Diez años más tarde, William Wheeling patentó un método para transmitir la luz llamado 'piping light', que consistía en tuberías con espejos en su interior, con la idea de transportar la luz desde un punto central hacia varios lugares al mismo tiempo, igual que se transporta el agua por las tuberías de un edificio. La implementación de esta idea se truncó con la invención de la bombilla por Edison.

Aunque se estaban asentando las bases de las comunicaciones ópticas, realmente faltaba un medio fiable para la transmisión de la luz. No fue hasta la década de 1950 cuando se empezó a trabajar en la búsqueda de un material que se pudiera curvar y transmitir la luz al mismo tiempo. Fue Narinder Singh Kapany, un físico indio que llegó al Imperial College de Londres a hacer su tesis doctoral. Se basó en los estudios de John Tyndall para desarrollar una teoría que le permitiera fabricar el material que buscaba, aprovechando el fenómeno de la reflexión interna.

Kapany publicó junto a Hopkins, su director de tesis, el artículo "A flexible fibrescope, using static scanning" en *Nature* (Hopkins H.H. & Kapany N.S., *Nature*, 173, 39-41, 1954), que marca el comienzo del desarrollo de la fibra óptica. Fue Kapany en 1956 quien acuñó el término 'fibra óptica' para las primeras fibras de cristal con las

que experimentó y con las que construyó el fibroscopio, capaz de transmitir imágenes. Sin embargo, el principal problema de estas primeras fibras era que presentaban muchas pérdidas y no permitían transmitir información a grandes distancias (unos 9 m como máximo).

El siguiente paso fue construir fibras compuestas de dos capas de cristal, la más interna para la transmisión de la luz y un recubrimiento también de cristal y con un índice de refracción menor que el interior, para evitar que la luz escapase de la fibra. Con esta nueva configuración, el fibroscopio encontró sus primeras aplicaciones rápidamente: para inspeccionar cámaras de combustión en los motores de los aviones y para exploraciones endoscópicas en medicina (Figura 2).

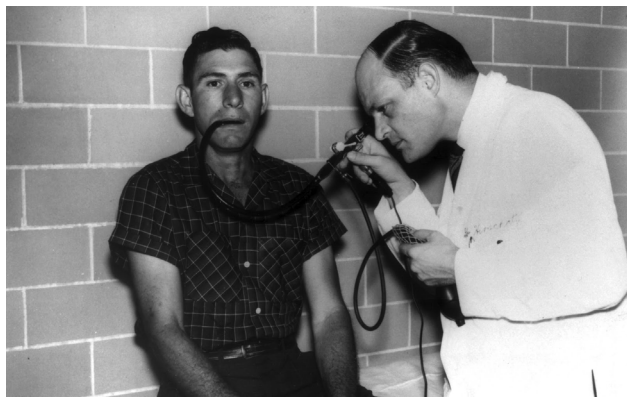


Figura 2. El Dr. Hirschowitz junto a dos de sus colegas, desarrollaron el primer endoscopio en 1957 en la Universidad de Michigan. En la imagen, Hirschowitz en su unidad de endoscopia en la UAB (University of Alabama at Birmingham). Fuente: UAB.

El desarrollo de los láseres de semiconductores y la gran capacidad de modulación en frecuencia de la luz (1000 veces mayor que la de las ondas de radiofrecuencia) abrió un mundo nuevo a los científicos del mundo de las telecomunicaciones. Charles Kao (Premio Nobel en Física 2009) y Charles Hockham, trabajando en el Standard Telecommunication Laboratory en Inglaterra, publicaron en 1966 su famoso artículo *Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies* (Kao K.C. y col., *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 113, 1151, 1966) en que proponían que la fibra óptica podía ser un medio adecuado para la transmisión si se pudiera conseguir una atenuación menor de 20 dB/km, cuando en ese momento presentaban atenuaciones de unos 1000 dB/km.

El gran reto era conseguir eliminar el máximo de impurezas del cristal. En 1970, un equipo de científicos de la empresa Corning Glass logró fabricar el cristal más

puro del momento y romper la barrera de los 20 dB/km. El equipo de Corning fue capaz de desarrollar fibras con atenuaciones de 0,5 dB/km, que junto con los láseres de temperatura ambiente fabricados en los Laboratorios Bell permitieron que el 22 de abril de 1977 General Telephone and Electronics realizase la primera transmisión telefónica a través de fibra óptica con una tasa de transmisión de 6 Mb/s.

Ya no hay marcha atrás, junto a las fibras, cada vez con menores atenuaciones, se desarrollan láseres con capacidades de conmutación y potencias de salida que permiten que tanto el ancho de banda de la señal como las distancias de transmisión sean válidas para comunicaciones transoceánicas.

Hoy en día se emplean tres ventanas de transmisión: 850 nm, 1310 nm y 1550 nm para largas distancias, crecientes en este orden, y 660 nm para distancias muy cortas. Las longitudes de onda más largas ofrecen mayores capacidades, aunque a un coste más alto. Ahora se está trabajando en una cuarta ventana de larga distancia a 1625 nm.

En 1990, los laboratorios Bell transmitieron una señal a 2,5 Gb/s a lo largo de 7500 km sin emplear repetidores. Para ello utilizaron un láser de solitones y una fibra dopada con erbio que permitió que la señal conservase su forma y densidad a lo largo de todo el recorrido. En 1998, un paso más: utilizando la tecnología DWDM (*Dense Wavelength-Division Multiplexing*) se transmitieron 100 señales simultáneas, cada una de 10 Gb/s a lo largo de 400 km, lo que da una tasa de transmisión por una sola fibra de 1 Tb/s.

Pero todo esto es del siglo pasado, ¿qué nos pide el siglo XXI? Ancho de banda. Cada vez más ancho de banda para soportar la creciente avidez de intercambio de datos por la red. Más de 800 millones de usuarios, 350 millones de dominios, 8 billones de páginas de internet visibles (se estima que la internet 'invisible' es 100 veces mayor), un ritmo estimado de subida de páginas de 3,5 millones cada día. Son cifras que saturan los sentidos.

Algo también muy cercano a todos, es el interés por las comunicaciones interactivas, demandadas tanto por los consumidores como por las empresas. La banca, compras, TV (video bajo demanda) o la educación a distancia interactivas están en pleno desarrollo. Aquí es donde entra en juego 'la última milla' de fibra, la tecnología FTTH mencionada anteriormente.

Pero no todo son comunicaciones y comercio, la fibra óptica ha abierto nuevos horizontes en multitud de campos. Uno de ellos es la medicina, donde las endoscopias y la cirugía endoscópica (laparoscopia, artroscopia,...) han mejorado radicalmente tanto la calidad del diagnóstico como la capacidad de recuperación postquirúrgica de los pacientes.

Una aplicación quizá menos conocida es su uso en imagen por resonancia magnética (MRI). Los equipos de MRI trabajan con campos magnéticos muy altos (1,5 a 3 T) y muy homogéneos (2-5 ppm), por lo que es absolutamente inviable introducir cualquier campo electromagnético externo que interfiera con el campo magnético principal rompiendo su homogeneidad. El diseño de equipos compatibles con altos campos magnéticos, tanto de monitorización como de interacción con el paciente, es arduo y caro y aquí es donde ha entrado la fibra óptica con fuerza, por sus propiedades dieléctricas.

La fMRI o imagen funcional por resonancia magnética, muestra en imágenes cómo funciona el cerebro ante un determinado estímulo o mientras ejecuta una tarea. Para ello es necesario presentar el estímulo y registrar la respuesta del paciente en el escáner, las interfaces de entrada y salida de datos actualmente utilizan la fibra óptica, garantizando que el campo no se ve perturbado. La fMRI da vía libre a la imaginación de los investigadores tanto en el terreno de la técnica como en el de la medicina. Sirva como ejemplo un estudio en el que un grupo de neurólogos intenta descifrar cómo funciona el cerebro de los músicos mientras están tocando. El reto es correlacionar los gestos mecánicos que se ejecutan al tocar el instrumento con el control que se ejerce sobre ellos tanto por el córtex motor, permitiendo movimientos de precisión, como por el córtex auditivo, afinando continuamente las notas. Para ello, nada mejor que diseñar un violonchelo con sensores de fibra óptica (The Design, Implementation, and Testing of a Sensorized MRI-Compatible Cello, Hollinger A.D. & Wanderley M.M., *IEEE Sens. J.*, 15, 6125-6134, 2015) e introducir violonchelo y violonchelista en el escáner: un tubo de 60 cm de diámetro (Figura 3).

El diseño experimental es para nota: el cuerpo del violonchelo es de fibra de vidrio e incorpora sensores ópticos en el mástil, en el puente y en el arco. La inte-



Figura 3. Violonchelo y violonchelista en el interior del escáner de MR. Fuente: A.D. & Wanderley M.M., *IEEE Sens. J.*, 15, 6125-6134, 2015.

racción de los dedos sobre las cuerdas en el mástil se registra mediante la reflexión difusa que captan las fibras encapsuladas en un mástil de plástico transparente fabricado con una impresora 3D. La vibración de las cuerdas se registra por la modulación en amplitud transmitida por un par de fibras emisoras-receptoras montadas en el puente. Finalmente, la posición del arco y la fuerza que ejerce sobre las cuerdas, se registraron mediante una combinación de sensores ópticos: la fuerza se midió con sensores ópticos que calculaban la distancia entre la vara y las cuerdas del arco; la posición respecto al puente con un sensor de ratón óptico de ordenador y una fibra conectada al mismo puente y la posición absoluta del arco en el espacio con un sensor que interactúa con el campo magnético del escáner aprovechando el efecto Faraday (el grado de rotación de un haz de luz linealmente polarizada es proporcional al campo magnético). Este montaje experimental fue capaz de registrar los gestos del violonchelista con la suficiente precisión y rango dinámico necesarios, y sin crear ninguna alteración del campo magnético ni artefactos en las imágenes obtenidas.

Parece por tanto que la fibra óptica nos sigue ensanchando el horizonte miremos hacia donde miremos. La siguiente meta es llegar a velocidades de transmisión del petabit por segundo (Pb/s). Ahí queda eso.

Cristina Santa Marta Pastrana
Dpto. de Física Matemática y de Fluidos