

Bases tecnológicas de la Telemedicina. (I)

Redes de telecomunicación. PLC. Fibra Óptica. Satélites.

Carlos Martínez-Ramos

Departamento de Cirugía. Facultad de Medicina. Universidad Complutense.
Hospital Clínico San Carlos. C/ Prof. Martín Lagos, s/n. 28040-Madrid.
cmartinez.hcsc@salud.madrid.org

Resumen: Este trabajo constituye el primero de una serie de 4, en los que se exponen las diferentes opciones tecnológicas que constituyen la base para llevar a cabo los servicios de Telemedicina. En este primer trabajo se analizan, inicialmente, las características generales y las diferentes formas de transmisión de la información en las redes de comunicación. Posteriormente se describen los aspectos concretos de diferentes tipos de redes de comunicación. En primer lugar, la red que utiliza las líneas de distribución eléctrica (Power Line Communication, PLC). En segundo lugar, la red de fibra óptica. Y por último, la red de satélites.

Palabras claves: Red de telecomunicación. PLC. Red de fibra óptica. Red de satélites.

INTRODUCCION

Las comunicaciones y el transporte han tenido, desde hace mucho tiempo, un profundo impacto sobre la atención sanitaria. Han influido sobre su sistema de financiación, sobre su desarrollo logístico (en concreto sobre los sistemas de citas) y, en definitiva, sobre la calidad de la misma.

Sociedad Agrícola

En los EE.UU. a finales de 1800 la nación estaba constituida fundamentalmente por una sociedad agrícola con una pobre infraestructura de carreteras. Los costes de comunicación constituían en esa época un elevado porcentaje de los costes indirectos en la atención sanitaria. La mayoría de esta atención sanitaria tenía lugar en los propios domicilios de los pacientes. Los hospitales inicialmente solo prestaban servicio a los pobres y mendigos. Consecuentemente los médicos tenían que ser avisados por mensajeros y posteriormente viajar a caballo hasta la vivienda de los pacientes.

De esta manera la mayoría de los costes sanitarios se debían, no a los gastos directos derivados del tratamiento médico sino a los costes indirectos derivados de la llamada al médico y del posterior desplazamiento del mismo al domicilio del paciente. De hecho, estos costes se calculaban sumando a los honorarios del médico los de su kilometraje y los del mensajero. Si la llamada se producía durante la noche, los

honorarios duplicaban los que regían durante las llamadas diurnas. Por tanto, la inmensa mayoría de los costes médicos eran indirectos y producidos por la mala e ineficiente infraestructura de las comunicaciones y de los transportes que existía en esa época.

Por otra parte, la estructura de la práctica médica así establecida tenía muchos efectos sobre la atención sanitaria. Los médicos solo podían atender básicamente a pacientes situados en un radio de 18-20 kilómetros desde sus propios domicilios. Esto limitaba no solo sus ingresos sino también el número de los diferentes casos clínicos que podía encontrar y tratar. Por consiguiente, esta situación también limitaba el número de capacidades que podían desarrollar. Además la escasa infraestructura de comunicaciones le impedía consultar con sus colegas de otras áreas, rurales o urbanas, de modo que la colaboración médica era virtualmente inexistente. Finalmente, debido a los costes indirectos, la atención sanitaria era tan cara que, a menudo, los pacientes acudían a ella como último recurso.

Revolución Industrial

La revolución industrial introdujo cambios drásticos en la infraestructura de las comunicaciones y de los transportes, volviendo a provocar cambios y alteraciones en la práctica de la asistencia sanitaria. La invención del teléfono hizo mucho menos costoso el poder conseguir la visita de un médico. El invento y la popularización del automóvil así como la construcción de carreteras de asfalto, condicionó el comienzo del transporte de masas.

El teléfono, el automóvil y las carreteras permitieron a los médicos disminuir los gastos de desplazamiento a la vez que facilitaron el que los pacientes pudieran visitar las consultas de los médicos. La reducción de los desplazamientos en ambas direcciones disminuyó el coste de la atención médica y aumentó las posibilidades de servicios médicos al aumentar el tiempo que el médico podía dedicar a los pacientes.

El teléfono hizo mucho más fácil a los pacientes el poder contactar con un médico y acordar una cita, en vez de acudir a su consulta y esperar hasta que les pudiese atender. El crecimiento del uso de equipamiento médico y de personal sanitario, determinó que el paciente invirtiera la costumbre establecida hasta ese momento, y en vez de ser el médico el que acudiera a la vivienda del paciente, era el propio enfermo el que se desplazaba desde su domicilio a la consulta del médico.

Por otra parte, la posición social de los médicos aumentó considerablemente lo que repercutió en la valía de su tiempo, que a su vez determinó que se encareciera su actividad profesional. Todos estos cambios a nivel de infraestructura motivaron que los médicos pudieran tener más pacientes, pero también dio origen, e incrementó, la competencia entre ellos. Los médicos que habían disfrutado de un monopolio en sus pequeñas ciudades, se encontraban ahora compitiendo con los médicos de los pueblos y ciudades de alrededor. Las licencias y credenciales estatales fueron creadas, en parte, para tratar de solucionar la necesidad de confinar a los médicos en áreas específicas.

Sociedad de la Información

La sociedad de la información ha traído nuevas posibilidades tecnológicas de comunicación y transporte. Las barreras de tiempo y espacio pueden ser superadas de nuevo, lo que tiene una importante repercusión a la hora de poner en contacto a pacientes que necesiten de la atención de médicos expertos. En esta sociedad, existe actualmente la posibilidad de que ninguna de las dos partes tenga que viajar o desplazarse para que se pueda proceder a efectuar la asistencia sanitaria. Esta posibilidad es debida a las nuevas tecnologías que permiten eliminar la necesidad de viajar o desplazarse, tanto para el médico como para el paciente, dando a los médicos de nuevo la oportunidad de visitar “virtualmente” a los pacientes en sus propios domicilios, apareciendo así el concepto de la Telemedicina.

El avance actual de la Telemedicina así como las posibilidades de la misma en el futuro, están íntimamente asociados a los avances de la tecnología en el campo de las telecomunicaciones. Por tanto es importante conocer cuales son las posibilidades tecnológicas de las telecomunicaciones en las que se basa la realización de las diferentes formas de Telemedicina.

El hombre, al querer cubrir distancias cada vez mayores para sus comunicaciones empezó a utilizar sistemas progresivamente más complejos, conforme se lo permitían los avances científicos y tecnológicos. Comenzó por sistemas rudimentarios basados en señales intermitentes de humo, o en diversas combinaciones de señales de fuego generadas por medio de antorchas. Éstos fueron los precursores de la codificación de la información.

Posteriormente el crecimiento y la maduración de las telecomunicaciones ha sido producto de avances en diversos campos del conocimiento como la ingeniería espacial y la aeronáutica, pasando por la ciencia de los materiales, la física, la electrónica, la computación, etc.

Aunque muchos de estos avances han tenido su origen en el uso militar, otros no menos importantes tuvieron sus inicios en aplicaciones civiles, como es el caso del teléfono en cuyos inicios pretendía la búsqueda, por su inventor, Graham Bell, de un sistema que permitiera visualizar las señales de voz, y poder ayudarse en sus labores de enseñanza a personas sordomudas. Posteriormente se ha convertido en uno de los aparatos de comunicación más utilizados por la sociedad.

El desarrollo de los actuales sistemas de telecomunicaciones tiene su base en el invento de aparatos (telégrafo, teléfono, radio, televisión, ordenadores,...) de cuya evolución y convergencia resultan los servicios que la tecnología punta ofrece hoy en día. De esta manera, hemos pasado de la transmisión directa de voz, a la transmisión de datos e imágenes, todo ello capacitado por los medios de transmisión e infraestructura existentes.

REDES DE TELECOMUNICACION

Para facilitar la comunicación entre miles, incluso millones de usuarios que se encuentran entre sí a kilómetros de distancia, se utilizan las "redes". Una red de telecomunicación es un conjunto organizado de recursos que proporcionan las vías de comunicación necesarias para establecer la interconexión de equipos para la transmisión de la información. Los componentes fundamentales de una red son:

- **Terminal.** Conjunto de equipos que se desea intercomunicar (teléfonos, ordenadores, equipos médicos de medida, etc.).
- **Interfaz.** Puntos de conexión de los terminales con la red.
- **Medios de transmisión.** Vehículo a través del cual se transmite la información. Se llaman también "canales de información" entendiéndose como "canal" el medio físico a través del cual viaja la información desde un punto a otro.
- **Nodos.** Se encargan de gestionar y enviar la información producida, de unos terminales a otros a través de los canales.

La transmisión de la información está condicionada por la existencia de una serie de factores, entre los que tenemos:

- **Velocidad de transmisión.** Es la velocidad a la que puede viajar la información y se expresa en bits por segundo (bps), kilobits por segundo (Kbps), megabits por segundo (Mbps) o gigabits por segundo (Gbps). Un **bit** es una unidad de información expresada en dígitos binarios (valor 0 ó 1). Ocho bits constituyen una "palabra", octeto o byte.

Otra unidad de velocidad de transmisión, frecuente en muchas publicaciones, es el "**baudio**". La equivalencia entre el baudio y los bits por segundo es la siguiente:
1 Baudio = 1 Kbps.

La velocidad a la que la información puede moverse, depende del **ancho de banda** del canal, el cual se define como el rango de frecuencias que pueden ser transmitidas de forma efectiva a través de un canal y se expresa en hertzios (Hz), kilohertzios (kHz) o megahertzios (MHz). Un **Hertzio** es el número de repeticiones por segundo de una onda electromagnética completa. También puede expresarse en bits por segundo. A mayor ancho de banda mayor velocidad de transmisión de la información.

Dependiendo de la capacidad de las bandas, las redes pueden ser de **Banda base o Base estrecha (Base band)** y de **Banda ancha (Broad band)**.

- **Arquitectura y manera en que se transportan la información.**- Las redes de telecomunicaciones según este concepto pueden ser clasificadas en **Redes Conmutadas** y **Redes de Difusión**.

a) Redes Conmutadas.

Una red conmutada consiste en una sucesión alternante de **nodos** y **canales de comunicación**, es decir, después de ser transmitida la información a través de un *canal* llega a un *nodo*, éste a su vez la procesa para enviarla por el siguiente *canal* que llega al siguiente *nodo* y así sucesivamente. Existen dos tipos de conmutación en este tipo de redes: **conmutación de paquetes** y **conmutación de circuitos**.

- En la **conmutación de paquetes**, el mensaje se divide en pequeños paquetes, a cada uno se le agrega información de control (por ejemplo las direcciones de origen y de destino), y éstos circulan de nodo en nodo, posiblemente siguiendo diferentes rutas. Al llegar al nodo al que está conectado el usuario destino, se reensambla el mensaje y se le entrega. Esta técnica se puede explicar de forma mas clara por medio de una analogía con el servicio postal.

Supongamos que se desea enviar todo un libro de un punto a otro geográficamente separado. La **conmutación de paquetes** equivale a separar el libro en sus hojas debidamente numeradas, poner cada una de ellas en un sobre con la dirección del destino y depositar todos los sobres en un buzón. Cada sobre recibe un tratamiento independiente, siguiendo posiblemente rutas diferentes para llegar a su destino, pero una vez que han llegado todos a su destino, se puede reensamblar el libro gracias a la numeración de las hojas.

- Por el contrario, en la **conmutación de circuitos** se busca y reserva una trayectoria entre los usuarios. Se establece la comunicación y se mantiene esta trayectoria durante todo el tiempo que se esté transmitiendo información. Para establecer una comunicación con esta técnica se requiere de una señal que reserve los diferentes segmentos de la ruta entre ambos usuarios, y durante la comunicación el canal quedará reservado para esta pareja de usuarios.

b) Redes de Difusión.

En este tipo de redes se tiene un canal de información al cual están conectados todos los usuarios, quienes pueden recibir todos los mensajes, pero solamente extraen del canal los mensajes en los que identifican su dirección como destinatarios. Aunque el ejemplo típico lo constituyen los sistemas que usan **canales de radio**, no necesariamente tienen que ser las transmisiones vía radio, ya que la difusión puede realizarse por medio de **canales metálicos**, como cables coaxiales. Lo que puede afirmarse es que típicamente las redes de difusión tienen

un solo nodo (el transmisor) que “inyecta” la información en un canal al cual están conectados todos los usuarios.

- **Medios de transmisión.**- Es decir el vehículo o “canal” que transmite la información. Según este criterio las redes pueden ser **alambricas** e **inalámbricas**.

a) Red alámbrica. En ellas se incluyen las que pueden utilizar medios físicos tales como: los **cables de par trenzado**, el **cable coaxial** y la **fibra óptica**.

- **Cable de par trenzado de cobre.** Se trata de dos hilos de cobre aislados y trenzados entre sí y, en la mayoría de los casos, cubiertos por una malla protectora. Se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende de la sección de cobre utilizado y de la distancia que tenga que recorrer. Se trata del cableado más económico y la mayoría del cableado telefónico es de este tipo. Presenta una velocidad de transmisión que depende del tipo de cable de par trenzado que se esté utilizando.
- **Cable coaxial.** Consiste en un núcleo de cobre rodeado por una capa aislante. A su vez, esta capa está rodeada por una malla metálica que ayuda a bloquear las interferencias; este conjunto de cables está envuelto en una capa protectora. Es utilizado generalmente para señales de televisión y para transmisiones de datos a alta velocidad a distancias de varios kilómetros. La velocidad de transmisión suele ser alta, de hasta 100 Mbits/seg; pero hay que tener en cuenta que a mayor velocidad de transmisión, se puede cubrir menor distancia.
- **Cable de fibra óptica.** Los cables de fibra óptica usan pulsos de luz a través de fibras de cristal para transmitir la información. Una fibra óptica está compuesta de un núcleo de fibra de cristal cilíndrico que tiene un índice de refracción uniforme, recubierto de una capa concéntrica de revestimiento (*). Esto le protege ante interferencias eléctricas, haciendo más fiable la transmisión de datos. La distancia de transmisión es mayor con el cable de fibra óptica que con los de cobre, ya que los pulsos de luz no atenúan ni pierden energía tan rápidamente. Se trata de un medio caro pero que proporciona una alta calidad.

b) Red Inalámbrica. En ellas pueden utilizarse **microondas**, **luz infrarroja**, **señales de radio** y **satélites**.

- **Microondas.** Son ondas de radio de alta frecuencia. Estas ondas viajan en línea recta, es decir que el transmisor y el receptor deben ser capaces de verse unos a otros. Como la curvatura de la tierra y las inflexiones del

(*) Imagen disponible en: <http://www.mrtrader.com.ar/?p=509>

terreno no hacen posible esto, será por tanto la altura de las antenas la que dicte la distancia máxima entre repetidores. De esta forma se va transmitiendo la onda.

- **Luz infrarroja.** Consiste en la emisión/recepción de un haz de luz; debido a esto, el emisor y receptor deben tener contacto visual (la luz viaja en línea recta).
- **Señales de radio.** Consiste en la emisión/recepción de una señal de radio, por lo tanto el emisor y el receptor deben sintonizar la misma frecuencia. La emisión puede traspasar muros y no es necesario la visión directa de emisor y receptor.
- **Satélites.** Sus características se describen posteriormente.
- **Telefonía móvil.** Sus características se describen posteriormente.

Consideramos de utilidad conocer los aspectos más elementales de las redes de telecomunicaciones en las que se fundamenta la Telemedicina, por lo que a continuación, y sin pretender efectuar un análisis en profundidad de las mismas, pasamos a analizar las más relevantes.

RED MEDIANTE LINEAS ELECTRICAS

Es un sistema de telecomunicaciones basado en la utilización de las líneas de distribución eléctricas para la transmisión de la información. Es decir, permite el aprovechamiento de las redes eléctricas ya instaladas para el intercambio de información. El sistema PLC (**Power Line Communication**) permite ofrecer servicios de conectividad de banda ancha de alta velocidad para el envío de datos, señales de control y/o información, utilizando las redes eléctricas.

Antes de presentar conceptos específicos sobre PLC conviene mencionar, brevemente, lo que actualmente se conoce como redes eléctricas, las cuales se clasifican en redes de alta, media y baja tensión. Las redes de **Alta Tensión** son redes de transporte que llevan la energía desde el primer transformador-amplificador a la primera subestación de transporte. La mayoría de los tendidos de alta tensión son aéreos, y los valores de tensión eléctrica que transportan son del orden de cientos de kilovoltios (entre 220 y 400 Kv).

En los puntos de consumo (industrial y domiciliario) existen diferentes subestaciones de distribución cuya función consiste en convertir esta energía eléctrica en valores de tensión inferiores, es decir generando una segunda red, con valores de 15 y 20 kilovoltios aproximadamente. Esta es la red eléctrica de **Media Tensión**.

Por último, se produce una nueva reducción de tensión para poder suministrar electricidad a los domicilios. En las ciudades existen instalaciones que se conocen como centros de transformación, y en ellos tiene lugar la transformación a los 220 voltios y 120 voltios que se manejan habitualmente en los hogares. Esto es lo que se conoce como **Baja Tensión**. Desde los centros de distribución hasta cada abonado se distribuye la energía eléctrica como corriente alterna de baja frecuencia (50 o 60 Hz) (*).

El sistema PLC centra su atención en el tramo de Baja Tensión de la red eléctrica y su transformación en redes de acceso para prestar servicios de telecomunicaciones abre nuevas oportunidades de oferta a muchos servicios.

La tecnología PLC usa esa Baja Tensión pero a una alta frecuencia. En efecto, el sistema PLC comparte la línea eléctrica a través del envío de diferentes rangos de frecuencias que normalmente no se emplean o tienen un uso muy restringido. Estos rangos de frecuencias se encuentran entre los 1.6 y los 30 MHz hallándose por tanto, en la banda de HF (**High Frequency**).

Las principales características de **Power Line Communication** son:

- No es necesario ningún tipo de obra civil al utilizar la propia red eléctrica para la transmisión de datos y voz.
- Al estar ya implantada la red eléctrica permite llegar a cualquier punto geográfico. No sufre de los inconvenientes del ADSL o del cable, que no llega en muchos casos al usuario final.
- Posibilidad de realizar la conexión desde cualquier punto del hogar e incluso se permite conectar dos **modems** y tener dos conexiones independientes.
- La conexión es permanente durante las 24 horas del día.
- Su instalación por parte del cliente es sencilla y rápida.
- El ancho de banda permite la distribución de datos, voz y vídeos a unas velocidades muchos más que aceptables.
- Por medio de microfiltros se evitan las posibles interferencias generadas por los electrodomésticos.

Para poder utilizar ésta tecnología son necesarios varios dispositivos:

- **Módem PLC**. Es el dispositivo instalado en el hogar del abonado y permite tanto la transmisión de datos como el servicio telefónico por voz.

(*) Gráficos interactivos disponibles en:

<http://www.elmundo.es/navegante/graficos/2001/03/internetelectrico.html>

- **Repetidor**. Es instalado generalmente en el cuarto de contadores de una empresa, comunidad o parcela y es el dispositivo que se conecta con el módem del usuario. Su función principal es la de regenerar la señal PLC y permite la conexión de hasta 256 **modems**.
- **Dispositivo Head End**. Este dispositivo situado en los centros de las compañías eléctricas se conecta con los repetidores. Estos equipos están preparados para conectarse con redes IP.

El envío de información a través de PLC es una técnica atractiva porque reutiliza la red eléctrica existente para la transmisión de señales de voz y datos. Además del suministro eléctrico, propio de la red eléctrica, PLC permite adicionalmente la prestación de señales de telecomunicaciones, es decir, la red de baja y media tensión se convierte en un acceso funcional en banda ancha a través de los enchufes tradicionales, permitiendo la prestación de múltiples servicios, como la conectividad de alta velocidad, telefonía IP, aplicaciones multimedia (videoconferencia, televisión interactiva, video y audio bajo demanda, juegos en red y el control de diferentes dispositivos), servicios de domótica, así como la medición y control de diferentes variables en forma remota o a distancia, la gestión de la seguridad de toda la red y redes privadas, permitiendo la aplicación de códigos de seguridad y encriptación de información, además, diversas aplicaciones en el área de la Telemedicina.

Los dos usos principales de la tecnología PLC en la actualidad tienen que ver con el control del hogar y con el establecimiento de redes locales que pueden proporcionarnos conexión a Internet.

RED DE FIBRA OPTICA

La fibra óptica es una vía o “canal de información” que utiliza las ondas de luz como portadora de la información. La **fibra óptica** es una de las tecnologías de comunicación que revolucionarán las telecomunicaciones del siglo XXI. Más popularmente conocida como “**cable**”, la fibra óptica es un soporte de última generación que permite integrar en una misma vía o canal **infinidad de servicios** de telecomunicaciones.

Las ondas de luz son una forma de energía electromagnética y la idea de transmitir información por medio de luz, como portadora, tiene más de un siglo de antigüedad. Hacia 1880, Alexander G. Bell construyó el **fotófono** (1) que enviaba mensajes vocales a corta distancia por medio de la luz con la intención de crear un sistema que permitiera visualizar las señales de voz y poder ayudarse en sus labores de enseñanza a personas sordomudas.

Con la invención y construcción del LASER o Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación (**Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**) en la década de los 60, volvió a cobrar fuerza la posibilidad de utilizar la luz como soporte de

comunicaciones fiables y de alta potencialidad de información, debido a su elevada frecuencia portadora (1014 Hz.).

Los primeros experimentos sobre transmisión atmosférica de la luz pusieron de manifiesto diversos obstáculos como la escasa fiabilidad debida a precipitaciones, contaminación o turbulencias atmosféricas. El empleo de **fibras de vidrio** como medio guía no tardó en resultar atractivo: tamaño, peso, facilidad de manejo, flexibilidad y coste. En concreto, las fibras de vidrio permitían guiar la luz mediante múltiples reflexiones internas de los rayos luminosos, sin embargo en un principio presentaban elevadas atenuaciones.

En 1966 se produce un gran acontecimiento para los que serán las futuras comunicaciones por **fibra óptica** ya que Charles K. Kao (*) señala que la **atenuación** observada hasta entonces en las fibras de vidrio, no se debía a mecanismos intrínsecos sino a impurezas originadas en el proceso de fabricación (2). A partir de esta fecha empiezan a producirse eventos que darán como resultado final la implantación y utilización cada vez mayor de la fibra óptica como alternativa a los cables de cobre.

En 1970, los científicos Donald Keck, Robert Maurer y Peter Schultz (*) fabricaron con éxito el primer lote de fibras ópticas con la transparencia suficiente para que la comunicación de fibra óptica fuese una realidad (3).

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza, extremadamente compactos: el grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Es un filamento de vidrio sumamente delgado y flexible (de 2 a 125 micrones). Se utilizan varias clases de vidrios y plásticos para su construcción. Una fibra es un conductor óptico de forma cilíndrica que consta del núcleo (**core**), un recubrimiento (**cladding**) que tienen propiedades ópticas diferentes de las del núcleo y la cubierta exterior (**jacket**) que absorbe los rayos ópticos y sirve para proteger al conductor del medio ambiente así como darle resistencia mecánica (**).

Los cables de fibra óptica proporcionan una alternativa a los cables de hilo de cobre en la industria de la electrónica y las tele-comunicaciones. Así, un cable con 8 fibras ópticas tiene un tamaño bastante más pequeño que los utilizados habitualmente, puede soportar las mismas comunicaciones que 60 cables de 1623 pares de cobre o 4 cables coaxiales de 8 tubos, todo ello con una distancia entre repetidores mucho mayor.

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan **modos de propagación**. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: **multimodo** y **monomodo**.

(*) Imagen disponible en: <http://www.seratoptik.com/>

(**) Imagen disponible en: <http://www.seratoptik.com/>

- **Fibras multimodo.** El término multimodo indica que pueden ser guiados muchos modos o rayos luminosos, cada uno de los cuales sigue un camino diferente dentro de la fibra óptica. Este efecto hace que su ancho de banda sea inferior al de las fibras monomodo. Este tipo de fibras son las preferidas para comunicaciones en pequeñas distancias, hasta 10 km.
- **Fibras monomodo.** El diámetro del núcleo de la fibra es muy pequeño y sólo permite la propagación de un único modo o rayo (fundamental), el cual se propaga directamente sin reflexión. Este efecto causa que su ancho de banda sea muy elevado, por lo que su utilización se suele reservar a grandes distancias, superiores a 10 Km.

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un **emisor**, dispositivo que se encarga de emitir el haz de luz que permite la transmisión de datos. Estos emisores pueden ser de dos tipos: **LED** o **Diodo Emisor de Luz (Light-Emitting Diode)** y **LASER**. Se le considera el componente activo de este proceso.

Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en el otro extremo del circuito se encuentra un componente al que se le denomina **detector óptico** o **receptor**, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa que procede de la fibra, en señales eléctricas. Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente. En resumen, se puede decir que en este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transporte de la señal luminosa, generado por el *emisor* de fuentes ópticas.

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir casi en su totalidad los “ruidos” y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica. Sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía: computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes de alta resolución, etc.

Las características técnicas de la fibra óptica respecto a otros canales físicos como el **par trenzado** o el **cable coaxial** son:

- **Ancho de banda:** Las fibras ópticas tienen un ancho de banda de alrededor de 1 THz, aunque este rango está lejos de poder ser explotado hoy día. De todas formas el ancho de banda de las fibras excede ampliamente al de los cables de cobre.
- **Bajas pérdidas:** las pérdidas indican la distancia a la cual la información puede ser enviada. En un cable de cobre, la atenuación crece con la frecuencia de modulación. En una fibra óptica, las pérdidas son las mismas para cualquier

frecuencia de la señal hasta muy altas frecuencias. La baja atenuación trae aparejado una mayor distancia entre repetidores (mas de 100 km.).

- **Inmunidad electromagnética:** la fibra no irradia ni es sensible a las radiaciones electromagnéticas.
- **Confidencialidad:** Es extremadamente difícil intervenir una fibra y virtualmente imposible hacer la intervención indetectable. Altamente segura como medio de transmisión por no poder captarse lo transmitido mediante antenas, al no irradiar energía electromagnética.
- **Seguridad:** La fibra óptica es apta para ser utilizada en ambientes peligrosos, como podría ser polvorines, destilerías, químicas, etc., ya que al ser aisladoras en vez de conductoras, no producen chispas ni presentan el peligro de descargas eléctricas.
- **Bajo peso:** Un cable de fibra óptica pesa considerablemente menos que un conductor de cobre.

Su implantación ofrece:

- **Gran capacidad y velocidad.** Su **ancho de banda** le permite recibir y transmitir un **alto volumen de información**. Por ejemplo, permite la recepción de más de quinientos canales de televisión. Su alta velocidad le garantiza navegar por Internet 300 veces más rápido que con los canales actuales.
- **Comodidad y ahorro.** La fibra óptica **posibilita integrar por una misma vía todos los servicios de comunicación**. Eso significa que con una sola instalación se puede acceder a multitud de ofertas, con el consiguiente ahorro al ser una misma empresa la que le puede ofrecer todos los servicios.
- **Interactividad.** La fibra óptica permite establecer una relación bidireccional. Eso significa que se transforma de puro receptor a emisor activo.

Inconvenientes de la fibra de vidrio:

- Sólo pueden utilizarse por las personas que viven en las zonas en las que ya esté instalada la red de fibra óptica.
- El coste es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al ordenador, que se mide en megabytes.
- El coste de instalación es elevado.
- Fragilidad de las fibras.

- Disponibilidad limitada de conectores.
- Dificultad de reparar un cable de fibras roto.

El primer enlace transoceánico con fibra óptica fue el denominado **TAT-8**, construido por un consorcio de compañías de telecomunicaciones formado por AT&T, France Télécom y British Telecom entre otros. Fue capaz de ofrecer servicio a tres países con un solo cable trasatlántico submarino, que costó 335 millones de dólares y que eran capaces de transmitir datos a una velocidad de 20Mb/s. El sistema contenía tres cables de fibra óptica, dos en activo más uno de seguridad, con una capacidad de 40.000 circuitos telefónicos (llamadas simultáneas) entre Estados Unidos, Inglaterra y Francia.

Fue construido y comenzó a operar en 1988. Finalmente, el **TAT-8** se retiró del servicio en el año 2002. Desde entonces se ha empleado fibra óptica en multitud de enlaces transoceánicos, entre ciudades y paulatinamente se va extendiendo su uso desde las redes troncales de las operadoras hacia los usuarios finales (*).

RED DE SATÉLITES

En esta red, los satélites constituyen los nodos principales de la misma (**). En esquema las comunicaciones por satélite funcionan de la siguiente manera: el satélite recibe, en una banda de frecuencia, la señal desde una estación terrestre (**Terminal de usuario**), la conmuta, la amplifica, la cambia de frecuencia a la de bajada y la transmite a una estación terrestre (**Pasarelas terrestres**) que son estaciones que garantizan el acceso a las redes terrestres ya existentes. De ese punto en adelante, la señal puede ser procesada y por último ser entregada a su destino, en otra de las llamadas terminales de usuario. Es decir, las redes de satélites recogen información desde tierra y la retransmiten a distintas partes de la tierra.

Sin las comunicaciones vía satélite no se concebiría la sociedad moderna. Las transmisiones “**en directo, vía satélite**”, ya no son noticia ni tienen ningún carácter especial. Son pura rutina, como lo es la difusión directa de televisión y radio, la telefonía o las comunicaciones móviles.

La idea de los satélites de Telecomunicaciones surgió poco después de la II Guerra Mundial. En 1945 en la revista “**Wireless World**” apareció un artículo titulado “**Extra-terrestrial Relays**” cuyo autor era un oficial de radar de la RAF llamado Arthur C. Clarke (***). En él se establecieron los principios de la comunicación vía satélite (4). Clarke, conocido principalmente por sus libros de ciencia ficción y de divulgación (colaboró con Stanley Kubrick en el guión de “**2.001: Una odisea del espacio**” basado en su novela “El centinela”), proponía la colocación en órbita de tres repetidores separados entre sí 120

(*) Imágenes disponibles en: http://www.telegeography.com/products/map_cable/

(**) Imágenes disponibles en: <http://www.geocities.com/capecanaveral/3241/historis.htm>

(***) Imagen disponible en: <http://www.coseti.org/clarke.htm>

grados a 36.000 km. sobre la superficie de la tierra, en una órbita situada en un plano coincidente con el que pasa por el ecuador terrestre. Definió así la “[órbita geoestacionaria](#)” 12 años antes del lanzamiento del primer satélite artificial.

Este sistema podría abastecer de comunicaciones de Radio y Televisión a todo el Globo Terrestre. Al poco tiempo de terminar la guerra no existían medios para colocar satélites en órbita terrestre baja, ni mucho menos a 36.000 kilómetros, pero esta especulación se vio realizada 25 años después. Su idea pionera le ha valido numerosos honores, tales como que la órbita geoestacionaria a 42.000 kilómetros sea llamada en su honor “[Órbita Clarke](#)” por la Unión Astronómica Internacional. Falleció el 19 de marzo de 2008 en Colombo (Sri Lanka).

La era de los satélites artificiales se inicia en 1957 con el lanzamiento del “[Sputnik I](#)”. Este primer satélite espacial llevaba a bordo un radiofaro el cual emitía una señal en las frecuencias de 20 y 40 Mhz. que podía ser recibida por simples receptores y así lo hicieron muchos radioaficionados a lo largo del mundo (*), realizándose así la primera prueba de transmisión y recepción de señales desde el espacio.

La primera voz humana retransmitida desde el espacio fue la del presidente norteamericano Dwight D. Eisenhower, cuando en 1958 se puso en órbita un Misil ICBM Atlas liberado de su cohete acelerador con un mensaje de Navidad grabado por el dirigente quien, por cierto, opinaba con una muy escasa visión de futuro, que el espacio tenía poca utilidad práctica.

El primer satélite de comunicaciones verdadero, el “[Telstar I](#)”(**), fue lanzado el 10 de julio de 1962, a una órbita terrestre baja de 952 x 5632 km., y fue también el primer satélite de financiación comercial. Las estaciones terrestres estaban situadas en Andover, Maine (Estados Unidos), Goonhilly Downs (Reino Unido) y Pleumeur-Bodou (Francia). Dos semanas más tarde millones de europeos y americanos seguían por televisión una conversación entre interlocutores de ambos lados del Atlántico. No sólo podían conversar, sino también verse en directo vía satélite. Muchos historiadores consideran esa fecha como la del nacimiento de la idea de “[aldea global](#)”.

Al “[Telstar I](#)” le siguieron otra serie de satélites que llegaron a permitir la retransmitieron en directo, en 1964, de la ceremonia de apertura de los Juegos Olímpicos en Tokio (Japón), lo que tuvo gran repercusión sobre la opinión pública al conocerse, de esta manera, las posibilidades de los satélites de comunicaciones.

En 1961 el presidente de los Estados Unidos, John F. Kennedy, invitaba a todas las naciones a participar en un sistema de satélites de comunicaciones “en beneficio de la paz mundial y de la fraternidad entre todos los hombres”. Su llamada encontró respuesta

(*) Imágenes disponibles en: <http://bibliotecaetsitupm.wordpress.com/2008/08/17/luis-mercader-del-rio-1923-1998-una-bibliografia-en-bibliotecaetsit/> y en: <http://www.ea1uro.com/historia.html>

(**) Imagen disponible en: <http://www.scienceprogress.org/2008/08/the-closing-bell/>

y en agosto de 1964 se formó el consorcio INTELSAT (“[International Telecommunications Satellite Organization](#)”).

El primer satélite lanzado por este consorcio fue el “[Intelsat I](#)” (*), más conocido como “[Early Bird](#)”. El 28 de junio de 1965 entró en servicio regular, con 240 circuitos telefónicos. El “[Early Bird](#)” estaba diseñado para funcionar durante dieciocho meses, pero permaneció en servicio durante cuatro años.

Con posterioridad se lanzaron sucesivos satélites Intelsat los cuales fueron aumentando su capacidad de retransmisión de canales telefónicos y televisivos. El conjunto de satélites se hayan ubicados sobre los Océanos Atlántico, Pacífico e Indico, cubriendo de este modo casi todo el globo terrestre.

Existe otro sistema internacional de satélites, la “[Organización INTERSPUTNIK](#)”, desarrollado por la Unión Soviética a partir de 1965, con una serie de satélites situados en órbita muy elíptica con el cenit sobre el hemisferio norte.

Estos satélites estaban adaptados a la particular situación geográfica de la Unión Soviética. Demasiado al norte para que un satélite geoestacionario cubriera todos los puntos de este país, sus ingenieros desarrollaron un original sistema con una órbita muy elíptica e inclinada, lo que les permitió alcanzar coberturas lejos del alcance de sus hermanos geoestacionarios.

Constituyó la respuesta de los países de la órbita Soviética a la existencia del INTELSAT, a la que no pertenecía por no haber concurrido a las respectivas convocatorias. El sistema tomó ese nombre por el primer satélite artificial lanzado por los soviéticos el 4 de octubre de 1957, que constituyó la avanzada inicial del Hombre hacia la conquista del espacio.

Un caso particular de los servicios internacionales de satélites, son los [regionales](#), es decir los que enlazan países que integran una determinada región geográfica; por ejemplo se puede citar los sistemas proyectados por Europa Occidental (“[EUROSAT](#)”), por los países integrantes del Pacto Andino (“[CONDOR](#)”) y el de los países Árabes (“[ARABSAT](#)”).

Por último existen los [nacionales](#), es decir aquellos limitados a prestar servicios con relación a un solo país. El primero de este tipo se inauguró en Canadá en el año 1972, que lanzó el “[Anik 1](#)” mediante un cohete norteamericano. España cuenta con su propio sistema de satélites (“[HISPASAT](#)”). Otras redes muy utilizadas son fundamentalmente de tipo militar. En la actualidad la variedad de satélites artificiales que rodean la tierra es sorprendentemente grande

(*) Imagen disponible en:

http://space.skyrocket.de/index_frame.htm?http://www.skyrocket.de/space/doc_sdat/intelsat-1.htm

Tipos de satélites.

Los satélites pueden ser:

a) Por su órbita:

- Satélites de [órbita baja](#)
- Satélites de [órbita elíptica excéntrica](#)
- Satélites de [órbita geoestacionaria](#) (en la cual el período de traslación del satélite coincide con el período de rotación de la tierra. En esta órbita ecuatorial, el resultado es que el satélite se mantiene permanentemente fijo en el firmamento para un observador situado justo debajo de él. El radio de una órbita geoestacionaria es de unos treinta y seis mil kilómetros).

Es importante señalar que el satélite debe quedar por encima de las cien millas de altitud respecto a la superficie de la Tierra, para que no sean atraídos por la fuerza de gravedad terrestre. Los satélites ubicados a 321 kilómetros de altitud se consideran de órbita baja, y de órbita alta los que alcanzan distancias de 36.000 kilómetros sobre la superficie.

b) Por su finalidad:

- Satélites de Telecomunicaciones (Radio y Televisión)
- Satélites Meteorológicos.
- Satélites de Navegación.
- Satélites Militares y de Espionaje.
- Satélites de Observación de la Tierra.
- Satélites Científicos y Experimentales.
- Satélites de Radioaficionados.

Ventajas de las telecomunicaciones vía satélite.

- Posibilidad de independizarse de las distancia y de los obstáculos naturales como las montañas
- Cobertura inmediata y total de grandes zonas geográficas.
- Cobertura en países sin infraestructuras en redes de datos. Un ejemplo es el de varias universidades latinoamericanas conectadas entre sí vía Internet a través de satélite.
- Costes y servicios independientes de la distancia.
- Red fácilmente ampliable y reconfigurable.
- Los terminales son fácilmente reubicables.

Desventajas de las telecomunicaciones vía satélite.

- Las inversiones iniciales son elevadas y, en algunos países, no son claramente competitivas frente a redes basadas en recursos terrestres.

- El retardo de propagación típico de 0.5s (doble salto) puede ser problemático para ciertas aplicaciones como telefonía y videoconferencia.
- Sensible a interferencias provenientes tanto de tierra como del espacio.
- Problemas de privacidad.
- El punto más crítico de la red está en el satélite. Toda la red depende de la disponibilidad del satélite. Si éste falla, toda la red falla con él.

BIBLIOGRAFIA

1. Bell, A.G. 1880. On the production and reproduction of sound by light. *American Journal of Sciences*, 20: 305-324.
2. Kao, Ch.K. and Hockham, G.A. 1966. Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies. *Proceedings, IEE* 113. pp. 1151-1158.
3. Montgomery, J.D. 2002. History of fiber optics. En: De Cusatis, C.M. "*Handbook of Fiber Optic Data Communication*". Second Edition. (ISBN: 0-12-207891-8). pp. 3-31.
4. Clarke, A.Ch. 1945. Extra-terrestrial relays. ¿Can rocket stations give world-wide radio coverage? *Wireless World*, pp. 305-308. Disponible en: <http://www.clarkefoundation.org/docs/ClarkeWirelessWorldArticle.pdf>

BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

- Hernández Camelo, G.E. y Miserque, C.N. 2007. Funciones de monitoreo y control de signos vitales a través del envío de datos, a distancia, usando la red eléctrica. *RevistaSalud.com*, Vol. 3, No 11. Disponible en: <http://www.revistaesalud.com/index.php/revistaesalud/article/viewArticle/170/461>
- Muñiz I. Voz y datos a través de la red eléctrica. 2005. Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones. Disponible en: <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=33>
- Sánchez Aguilar, F. 2007. Tipos de redes. Monografías.com. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/tipos-redes/tipos-redes.shtml>

RECURSOS ELECTRONICOS

Comunicaciones móviles por satélite. Disponible en: <http://www.lmdata.es/reports/vozdatos.htm>

Fibra óptica. Disponible en: <http://www.teoveras.com.do/Fibra%20Optica.htm>

Historia de los satélites de telecomunicaciones. Disponible en:

<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/3241/historis.htm>

INTELSAT. http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_8/intelsat/intro.htm

Romero P. Internet por la red eléctrica. 2003. Disponible en:

<http://www.elmundo.es/navegante/2003/10/17/esociedad/1066394563.html>

Sistemas de Telecomunicaciones Móviles por Satélite. Disponible en:

<http://www.gr.ssr.upm.es/~miguel/rcii/moviles/paghtm/radhome.htm>

Recibido: 22 abril 2009.

Aceptado: 4 mayo 2009.