

## 4 Comunicaciones y redes de computadores



- El objetivo de este libro es amplio y abarca tres grandes áreas: comunicaciones, redes y protocolos.
- El estudio de las comunicaciones aborda la transmisión de señales de forma tal que sea eficaz y segura. Entre otros aspectos, se estudiarán la transmisión y codificación de señales, los medios de transmisión, las interfaces, el control del enlace de datos y la multiplexación.
- En el estudio de las redes se abordará tanto la tecnología como los aspectos relacionados con las arquitecturas de redes de comunicación utilizadas para la interconexión de dispositivos. Esta materia se divide normalmente en redes de área local (LAN) y redes de área amplia (WAN).
- Respecto a los protocolos de comunicación, se abordan tanto las arquitecturas como un análisis individualizado de los mismos para cada una de las capas de la arquitectura.



**E**n torno a los años 70 y 80 se produjo una sinergia entre los campos de los computadores y las comunicaciones que ha desencadenado un cambio drástico en las tecnologías, productos y en las propias empresas que desde entonces, se dedican simultáneamente a los sectores de los computadores y de las comunicaciones. Aunque las consecuencias de esta combinación revolucionaria están todavía por determinar, no es arriesgado decir que la revolución ha ocurrido y que ninguna investigación dentro del campo de la transmisión de la información debería realizarse sin esta perspectiva.

La revolución antes mencionada ha producido los siguientes hechos significativos:

- No hay grandes diferencias entre el procesamiento de datos (los computadores) y las comunicaciones de datos (la transmisión y los sistemas de commutación).
- No hay diferencias fundamentales entre la transmisión de datos, de voz o de vídeo.
- Las fronteras entre computadores monoprocesador o multiprocesador; así como entre redes de área local, metropolitanas y de área amplia son cada vez más difusas.

Un efecto de esta tendencia ha sido el solapamiento creciente que se puede observar entre las industrias de las comunicaciones y de los computadores, desde la fabricación de componentes hasta la integración de sistemas. Otro resultado es el desarrollo de sistemas integrados que transmiten y procesan todo tipo de datos e información. Las organizaciones de normalización, tanto técnicas como tecnológicas, tienden hacia un sistema único y público que integre todas las comunicaciones y haga que virtualmente todos los datos y fuentes de información sean fácil y uniformemente accesibles a escala mundial.

El objetivo fundamental de este libro es proporcionar una visión unificada del vasto campo de las comunicaciones de datos y los computadores. La organización del libro refleja un intento de dividir esta extensa materia en partes coherentes, proporcionando a la vez, una visión de su estado actual. Este capítulo introductorio comienza presentando un modelo general para las comunicaciones. Posteriormente, se presentan de forma sucinta cada una de las cuatro partes principales de este texto. Termina describiendo el papel decisivo que juegan los estándares.

### 1.1 UN MODELO PARA LAS COMUNICACIONES

Comenzaremos nuestro estudio considerando el modelo sencillo de sistema de comunicación, mostrado en la Figura 1.1a, en la que se propone un diagrama de bloques.

El objetivo principal de todo sistema de comunicaciones es intercambiar información entre dos entidades. La Figura 1.1b muestra un ejemplo particular de comunicación entre una estación de trabajo y un servidor a través de una red telefónica pública. Otro posible ejemplo consiste en el intercambio de seña-

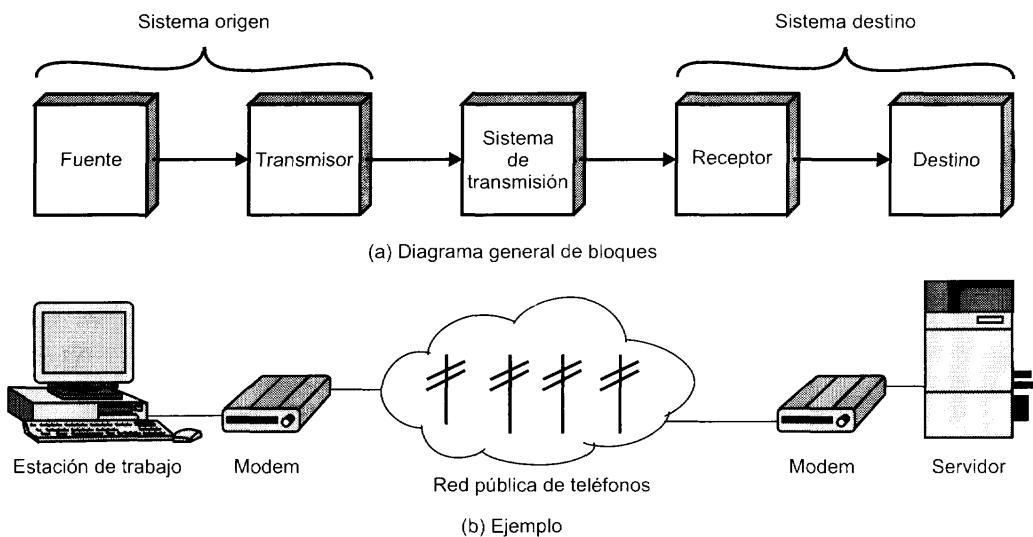


Figura 1.1. Modelo simplificado para las comunicaciones.

les de voz entre dos teléfonos a través de la misma red anterior. Los elementos clave en este modelo son los siguientes:

- **La fuente.** Este dispositivo genera los datos a transmitir: por ejemplo teléfonos o computadores personales.
- **El transmisor.** Normalmente los datos generados por la fuente no se transmiten directamente tal y como son generados. Al contrario, el transmisor transforma y codifica la información, generando señales electromagnéticas susceptibles de ser transmitidas a través de algún sistema de transmisión. Por ejemplo, un modem convierte las cadenas de bits generadas por un computador personal y las transforma en señales analógicas que pueden ser transmitidas a través de la red telefónica.
- **El sistema de transmisión,** que puede ser desde una sencilla línea de transmisión hasta una compleja red que conecte a la fuente con el destino.
- **El receptor,** que acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la transforma de tal manera que pueda ser manejada por el dispositivo destino. Por ejemplo, un modem captará la señal analógica de la red o línea de transmisión y la convertirá en una cadena de bits.
- **El destino,** que toma los datos del receptor.

Aunque el modelo presentado pueda parecer aparentemente sencillo, en realidad implica una gran complejidad. Para hacerse una idea de la magnitud de ella, la Tabla 1.1 lista algunas de las tareas claves que se deben realizar en un sistema de comunicaciones. Esta relación es en un sentido un tanto arbitraria

Tabla 1.1. Tareas en los sistemas de comunicación.

Utilización del sistema de transmisión Implementación de la interfaz Generación de la señal Sincronización Gestión del intercambio Detección y corrección de errores Control de flujo	Direccionamiento Encaminamiento Recuperación Formato de mensajes Seguridad Gestión de red
---	--

## 6 Comunicaciones y redes de computadores

ya que se podría añadir elementos, mezclar ítems, etc.; es más, algunos elementos representan tareas que se realizan en diferentes «niveles» del sistema.

El primer ítem **«utilización del sistema de transmisión»** se refiere a la necesidad de hacer un uso eficaz de los recursos utilizados en la transmisión, los cuales típicamente se suelen compartir entre una serie de dispositivos de comunicación. La capacidad total del medio de transmisión se reparte entre los distintos usuarios haciendo uso de técnicas denominadas de multiplexación. Además puede que se necesiten técnicas de control de congestión para garantizar que el sistema no se sature por una demanda excesiva de servicios de transmisión.

Para que un dispositivo pueda transmitir información tendrá que hacerlo a través de la **interfaz** con el medio de transmisión. Todas las técnicas de transmisión presentadas en este libro dependen en última instancia de la utilización de señales electromagnéticas que se transmitirán a través del medio. De tal manera que, una vez que la interfaz está establecida, se necesitará la **generación de la señal**. Las características de la señal, tales como, la forma y la intensidad, deben ser tales que permitan: 1) ser propagada a través del medio de transmisión y 2) ser interpretada en el receptor como datos.

Las señales se deben generar no sólo considerando que deben cumplir los requisitos del sistema de transmisión y del receptor, sino que deben permitir alguna forma de **sincronizar** el receptor y el emisor. El receptor debe ser capaz de determinar cuándo comienza y cuándo acaba la señal recibida. Igualmente, deberá conocer la duración de cada elemento de señal.

Además de las cuestiones básicas referentes a la naturaleza y temporización de las señales, se necesitará verificar un conjunto de requisitos que se pueden englobar bajo el término **gestión del intercambio**. Si se necesita intercambiar datos durante un período de tiempo, las dos partes deben cooperar. Por ejemplo, para los dos elementos que intervienen en una conversación telefónica (emisor y receptor), uno de ellos deberá marcar el número del otro, dando lugar a una serie de señales que harán que el otro teléfono suene. En este ejemplo el receptor establecerá la llamada descolgando el auricular. En los dispositivos para el procesamiento de datos, se necesitarán ciertas convenciones además del simple hecho de establecer la conexión. Por ejemplo se deberá establecer si ambos dispositivos pueden transmitir simultáneamente o deben hacerlo por turnos, se deberá decidir la cantidad y el formato de los datos que se transmiten cada vez, y se debe especificar qué hacer en caso de que se den ciertas contingencias, como por ejemplo la detección de un error.

Los dos ítems siguientes (Tabla 1.1) deberían considerarse dentro de la gestión del intercambio, pero debido a su importancia, se consideran por separado. En todos los sistemas de comunicación es posible que aparezcan errores; es decir, la señal transmitida se distorsiona de alguna manera antes de alcanzar su destino. Por tanto, en circunstancias donde no se puedan tolerar errores, se necesitarán procedimientos para la **detección y corrección de errores**. Así por ejemplo, en sistemas para el procesamiento de datos, si se transfiere un fichero desde un computador a otro, no sería aceptable que el contenido del fichero se modificara accidentalmente. Para evitar que la fuente no sature al destino transmitiendo datos más rápidamente de lo que el receptor pueda procesar y absorber, se necesitan una serie de procedimientos denominados **control de flujo**.

Conceptos relacionados pero distintos a los anteriores son el **direcciónamiento** y el **encaminamiento**. Cuando cierto recurso se comparte por más de dos dispositivos, el sistema fuente deberá de alguna manera indicar a dicho recurso compartido la identidad del destino. El sistema de transmisión deberá garantizar que ese destino, y sólo ese, reciba los datos. Es más, el sistema de transmisión puede ser una red en la que exista la posibilidad de más de un camino para alcanzar al destino; en este caso se necesitará, por tanto, la elección de una de entre las posibles rutas.

La **recuperación** es un concepto distinto a la corrección de errores. En ciertas situaciones en las que el intercambio de información, por ejemplo una transacción de una base de datos o la transferencia de un fichero, se vea interrumpida por algún fallo, se necesitará un mecanismo de **recuperación**. El objetivo será pues, o bien ser capaz de continuar transmitiendo desde donde se produjo la interrupción, o al menos recuperar el estado donde se encontraban los sistemas involucrados antes de comenzar el intercambio.

El **formato de mensajes** está relacionado con el acuerdo que debe existir entre las dos partes respecto al formato de los datos intercambiados, como por ejemplo el código binario usado para representar los caracteres.

Además, frecuentemente es necesario dotar al sistema de algunas medidas de **seguridad**. El emisor debe asegurarse de que sólo el destino deseado reciba los datos. Igualmente, el receptor querrá estar seguro de que los datos recibidos no se han alterado en la transmisión y que dichos datos realmente provienen del supuesto emisor.

Por último, todo el sistema de comunicación es lo suficientemente complejo como para ser diseñado y utilizado sin más, es decir, se necesita la habilidad de un gestor de red que configure el sistema, monitoree su estado, reaccione ante fallos y sobrecargas, y planifique con acierto los crecimientos futuros.

Como se ha visto, de la aproximación simplista de partida hemos formulado una lista más extensa y elaborada de tareas involucradas en todo el proceso de la comunicación. A lo largo de este libro esta lista se estudiará en profundidad, describiendo todo el conjunto de tareas y actividades que pueden englobarse genéricamente bajo los términos comunicación de datos y redes de computadores.

## 1.2. COMUNICACIONES DE DATOS

Además de los dos primeros capítulos considerados en la primera parte, el libro se ha estructurado en cuatro partes adicionales. La segunda parte aborda fundamentalmente los temas relacionados con las funciones de comunicación, centrándose en la transmisión de señales de una forma segura y eficiente. Intencionadamente dicha segunda parte se ha titulado «Comunicaciones de Datos», aunque con ese término se alude a algunos, o incluso a todos, los tópicos de las restantes partes (de la III a la V).

Para explicar todos los conceptos abordados en la segunda parte, la Figura 1.2 muestra una perspectiva novedosa del modelo tradicional para las comunicaciones de la Figura 1.1a. Dicha figura se explica a continuación, paso a paso, con la ayuda de un ejemplo: la aplicación de correo electrónico.

Suponiendo que tanto el dispositivo de entrada como el transmisor están en un computador personal. Y que por ejemplo, el usuario de dicho PC desea enviar el mensaje  $m$  a otro. El usuario activa la aplicación de correo en el PC y compone el mensaje con el teclado (dispositivo de entrada). La cadena de caracteres se almacenará temporalmente en la memoria principal como una secuencia de bits ( $g$ ). El computador se conecta a algún medio de transmisión, por ejemplo una red local o una línea telefónica, a través de un dispositivo de E/S (transmisor), como por ejemplo el «transceiver» a una red local o modem. Los datos de entrada se transfieren al transmisor como una secuencia de niveles de tensión  $[g(t)]$  que representan los bits en algún tipo de bus de comunicaciones o cable. El transmisor se conecta direc-

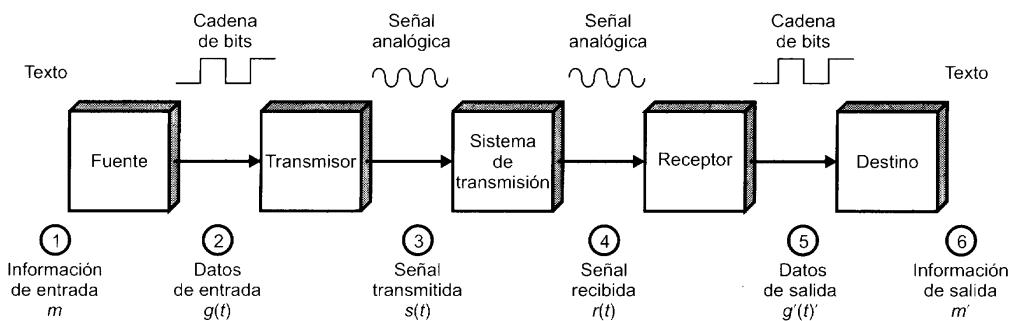


Figura 1.2. Modelo simplificado para las comunicaciones de datos.

tamente al medio y convierte la cadena  $[g(t)]$  en la señal a transmitir  $[s(t)]$ ; posteriormente en el Capítulo 5 se describirán las distintas alternativas para esta conversión.

Al transmitir  $s(t)$  a través del medio, antes de llegar al receptor, aparecerán una serie de dificultades que se estudiarán en el Capítulo 3. Por lo tanto, la señal recibida  $r(t)$  puede diferir de alguna manera de la transmitida  $s(t)$ . El receptor intentará estimar la señal original  $s(t)$ , a partir de la señal  $r(t)$  y de su conocimiento acerca del medio, obteniendo una secuencia de bits  $g'(t)$ . Estos bits se envían al computador de salida, donde se almacenan temporalmente en memoria como un bloque de bits  $(g')$ . En muchos casos, el destino intentará determinar si ha ocurrido un error, y en su caso, cooperar con el origen para eventualmente conseguir el bloque de datos completo y sin errores. Los datos, finalmente se presentan al usuario a través del dispositivo de salida, que por ejemplo puede ser la impresora o la pantalla de su terminal. El mensaje recibido por el usuario  $(m')$  será normalmente una copia exacta del mensaje original  $(m)$ .

Consideremos ahora una conversación telefónica. En este caso, la entrada al teléfono es un mensaje  $(m)$  consistente en unas ondas sonoras. Dichas ondas se convierten en el teléfono en señales eléctricas de la misma frecuencia. Estas señales se transmiten sin modificación a través de la línea telefónica. Por tanto, la señal de entrada  $g(t)$  y la señal transmitida  $s(t)$  son idénticas. La señal  $s(t)$  sufrirá algún tipo de distorsión a través del medio, de tal manera que  $r(t)$  no será idéntica a  $s(t)$ .

No obstante, la señal  $r(t)$  se convierte recuperando una onda sonora, sin aplicar ningún tipo de corrección o mejora de la calidad. Por lo tanto,  $m'$  no es una réplica exacta de  $m$ . Sin embargo, el mensaje sonoro recibido es normalmente comprensible por el receptor.

En la discusión aquí realizada, no se han considerado otros aspectos fundamentales en las comunicaciones de datos, como lo son las técnicas de control del enlace, necesarias para regular el flujo de información, o como la detección y corrección de errores; tampoco se han considerado las técnicas de multiplexación, necesarias para conseguir una utilización eficaz del medio de transmisión. Todos estos aspectos se estudian en la Parte II.

### 1.3. COMUNICACIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE REDES

A veces no es práctico que dos dispositivos de comunicaciones se conecten directamente mediante un enlace punto a punto. Esto es debido a alguna (o a las dos) de las siguientes circunstancias:

- Los dispositivos están muy alejados. En este caso no estaría justificado, por ejemplo, utilizar un enlace dedicado entre cada dos dispositivos, que puedan estar separados por miles de kilómetros.
- Hay un conjunto de dispositivos que necesitan conectarse entre ellos en instantes de tiempo diferentes. Un ejemplo de esta necesidad es la red telefónica mundial, o el conjunto de computadores pertenecientes a una compañía. Salvo el caso de que el número de dispositivos sea pequeño, no es práctico utilizar un enlace entre cada dos.

La solución a este problema es conectar cada dispositivo a una red de comunicación. La Figura 1.3 relaciona este concepto dentro del modelo de comunicaciones de la Figura 1.1a y a la vez sugiere dos grandes categorías en las que se clasifican tradicionalmente las redes: redes de área amplia (WAN, Wide Area Networks) y redes de área local (LAN, Local Area Networks). Recientemente, las diferencias entre estas dos categorías son cada vez más difusas, tanto en términos tecnológicos como de posibles aplicaciones; no obstante, es una forma natural y didáctica de organizar su estudio, por lo que aquí se adoptará dicha clasificación.

#### REDES DE ÁREA AMPLIA

Generalmente, se considera como redes de área amplia a todas aquellas que cubren una extensa área geográfica, requieren atravesar rutas de acceso público, y utilizan parcialmente circuitos proporcionados por una entidad proveedora de servicios de telecomunicación. Típicamente, una WAN consiste en una

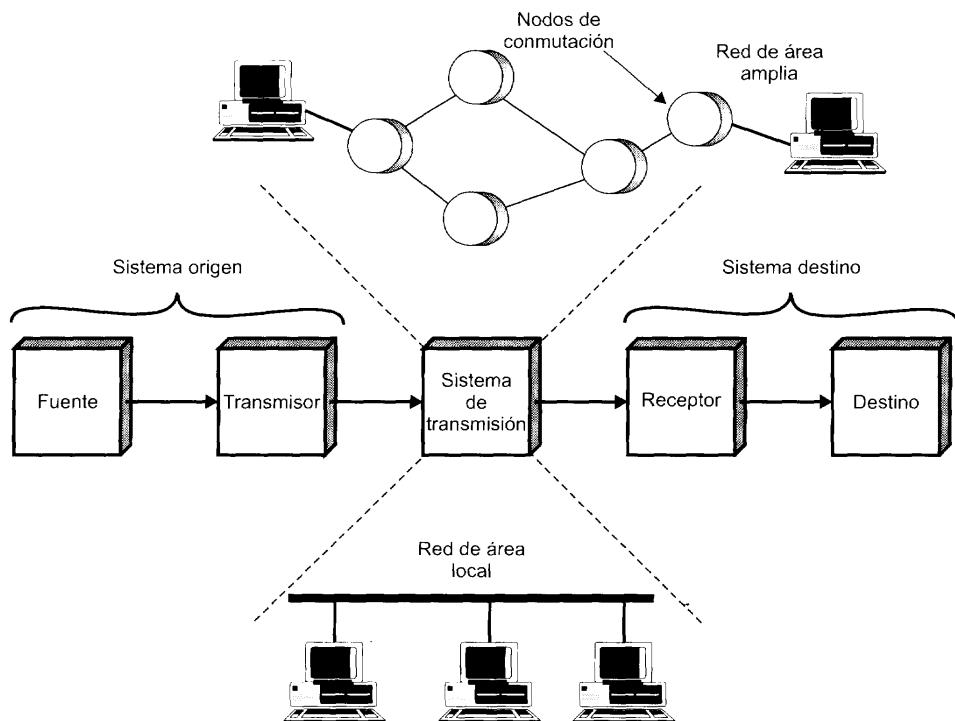


Figura 1.3. Modelos simplificados de redes.

serie de dispositivos de conmutación interconectados. La transmisión generada por cualquier dispositivo se encaminará a través de estos nodos internos hasta alcanzar el destino. A estos nodos (incluyendo a los situados en los contornos) no les concierne el contenido de los datos, al contrario, su función es proporcionar el servicio de conmutación, necesario para transmitir los datos de nodo en nodo hasta alcanzar su destino final.

Tradicionalmente, las WAN se han implementado usando una de las dos tecnologías siguientes: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. Aunque últimamente, se está empleando como solución la técnica de retransmisión de tramas («frame relay»), así como las redes ATM.

### Conmutación de circuitos

En las redes de conmutación de circuitos se establece a través de los nodos de la red un camino dedicado a la interconexión de dos estaciones. El camino es una secuencia conectada de enlaces físicos entre nodos. En cada enlace, se dedica un canal lógico a cada conexión. Los datos generados por la estación fuente se transmiten por el camino dedicado tan rápido como se pueda. En cada nodo, los datos de entrada se encaminan o conmutan por el canal apropiado de salida sin retardos. El ejemplo más ilustrativo de la conmutación de circuitos es la red telefónica.

### Conmutación de paquetes

Un enfoque diferente al anterior es el adoptado en redes de conmutación de paquetes. En este caso, no es necesario hacer una reserva a priori de recursos (capacidad de transmisión) en el camino (o sucesión de nodos). Por el contrario, los datos se envían en secuencias de pequeñas unidades llamadas paquetes. Cada paquete se pasa de nodo a nodo en la red siguiendo algún camino entre la estación origen y la

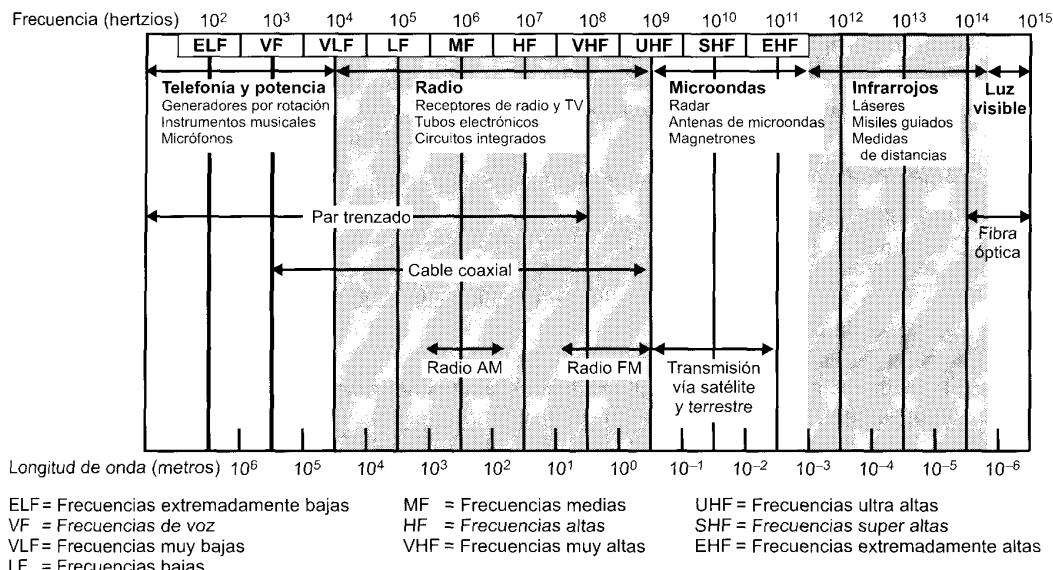


Figura 4.1. Espectro electromagnético para las telecomunicaciones.

En la Figura 4.1 se muestra el espectro electromagnético, así como la frecuencia a la que operan diferentes técnicas de transmisión sobre medios guiados y no guiados. En este capítulo se estudiarán las diferentes alternativas tanto para medios guiados como para no guiados. En todos los casos, se describirán físicamente los sistemas, se discutirán brevemente las aplicaciones y se resumirán las características principales de transmisión.

#### 4.1. MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS

En los medios de transmisión guiados, la capacidad de transmisión, en términos de velocidad de transmisión o ancho de banda, depende drásticamente de la distancia y de si el medio se usa para un enlace punto a punto o por el contrario para un enlace multipunto, como, por ejemplo, en redes de área local (LAN). En la Tabla 4.1 se indican las prestaciones típicas de los medios guiados más comunes para aplicaciones punto a punto de larga distancia. El estudio de la utilización de estos medios en LAN se aplaza para más adelante, en la Parte IV del libro.

Tabla 4.1. Características de transmisión de medios guiados punto a punto [GLOV98].

	Rango de frecuencias	Atenuación típica	Retardo típico	Separación entre repetidores
Par trenzado (con carga)	0 para 3,5 kHz	0,2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Pares trenzados (múltiples cables)	0 para 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Cable coaxial	0 para 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 $\mu$ s/km	1 para 9 km
Fibra óptica	180 para 370 THz	0,2 para 0,5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

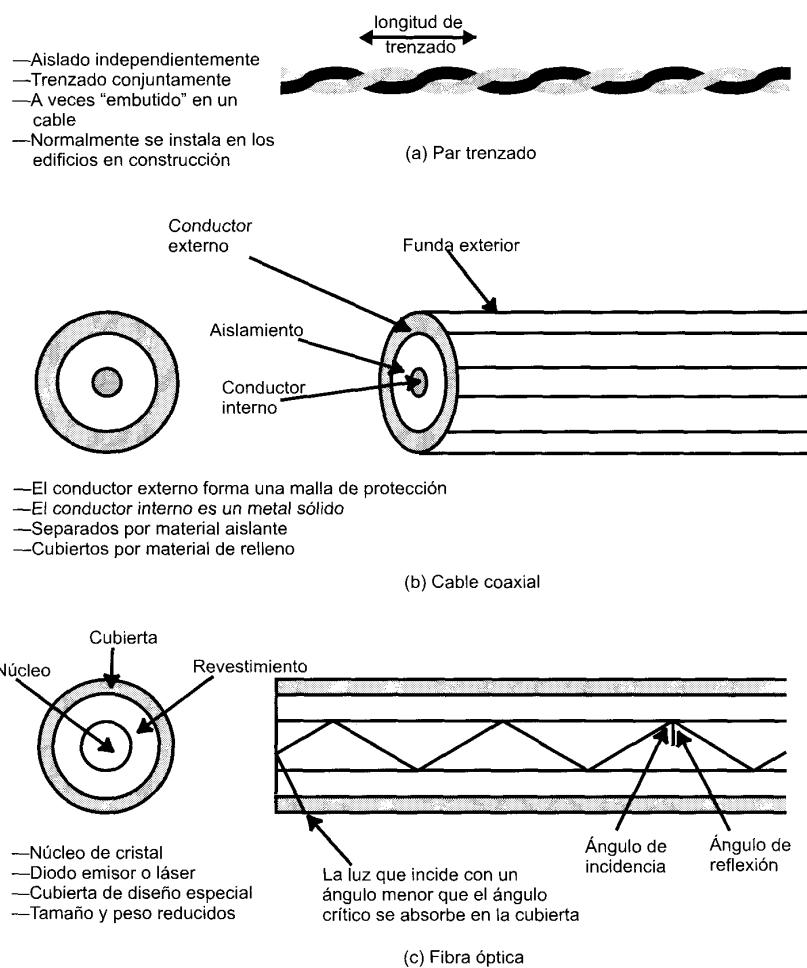
Los tres medios guiados más utilizados para la transmisión de datos son el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica (véase Figura 4.2). A continuación examinaremos cada uno de ellos.

### **PAR TRENZADO**

El par trenzado es el medio guiado más económico y a la vez más usado.

#### **Descripción física**

El par trenzado consiste en dos de cables de cobre embutidos en un aislante, entrecruzados en forma de espiral. Cada par de cables constituye sólo un enlace de comunicación. Normalmente, se utilizan haces en los que se encapsulan varios pares mediante una envoltura protectora. En aplicaciones de larga distancia



**Figura 4.2.** Medios de transmisión guiados.

cia, la envoltura puede contener cientos de pares. El uso del trenzado tiende a reducir las interferencias electromagnéticas (diafonía) entre los pares adyacentes dentro de una misma envoltura. Para este fin, los pares adyacentes dentro de una misma envoltura protectora se trenzan con pasos de torsión diferentes. Para enlaces de larga distancia, la longitud del trenzado varía entre 5 y 15 cm. Los conductores que forman el par tienen un grosor que varía entre 0,4 y 0,9 mm.

## Aplicaciones

Tanto para señales analógicas como para señales digitales, el par trenzado es con diferencia el medio de transmisión más usado. Por supuesto es el medio más usado en las redes de telefonía, igualmente su uso es básico en el tendido de redes de comunicación dentro de edificios.

En telefonía, el terminal de abonado se conecta a la central local, también denominada «central final», mediante cable de par trenzado, *denominado bucle de abonado*. Igualmente, dentro de los edificios de oficinas, cada teléfono se conecta a la central privada (PBX, Private Branch Exchange) mediante un par trenzado. Estas instalaciones basadas en pares trenzados, se diseñaron para transportar tráfico de voz mediante señalización analógica. No obstante, con el uso de los modems, esta infraestructura puede utilizarse para transportar tráfico digital a velocidades de transmisión reducidas.

En señalización digital, el par trenzado es igualmente el más utilizado. Generalmente, los pares trenzados se utilizan para las conexiones al conmutador digital o a la PBX digital, con velocidades de 64 kbps. El par trenzado se utiliza también en redes de área local dentro de edificios para la conexión de computadores personales. La velocidad típica en esta configuración está en torno a los 10 Mbps. No obstante, recientemente se han desarrollado redes de área local con velocidades entre 100 Mbps y 1 Gbps mediante pares trenzados, aunque estas configuraciones están bastante limitadas por el número de posibles dispositivos conectados y extensión geográfica de la red. Para aplicaciones de larga distancia, el par trenzado se puede utilizar a velocidades de 4 Mbps o incluso mayores.

El par trenzado es mucho menos costoso que cualquier otro medio de transmisión guiado (cable coaxial y fibra óptica), y a la vez es sencillo de manejar. Ahora bien, comparado con los anteriores está más limitado en términos velocidad de transmisión y de distancia máxima.

## Características de transmisión

Los cables de pares se pueden usar para transmitir tanto señales analógicas como señales digitales. Para señales analógicas, se necesitan amplificadores cada 5 o 6 km. Para transmisión digital (usando tanto señales analógicas como digitales), se requieren repetidores cada 2 o 3 km.

Comparado con otros medios guiados (cable coaxial y fibra óptica), el par trenzado permite menores distancias, menor ancho de banda y menor velocidad de transmisión. En la Figura 4.3, se muestra para el par trenzado la fuerte dependencia de la atenuación con la frecuencia. Este medio se caracteriza por su gran susceptibilidad a las interferencias y al ruido, debido a su fácil acoplamiento con campos electromagnéticos externos. Así, por ejemplo, un cable conductor situado en paralelo con una línea de potencia que conduzca corriente alterna, se verá negativamente afectado por ésta. El ruido impulsivo también afecta a los pares trenzados. Para reducir estos efectos negativos es posible tomar algunas medidas. Por ejemplo, el apantallamiento del cable con una malla metálica reduce las interferencias externas. El trenzado en los cables reduce las interferencias de baja frecuencia, y el uso de distintos pasos de torsión entre pares adyacentes reduce la diafonía.

Para la señalización analógica punto a punto, un par trenzado puede ofrecer hasta 1 MHz de ancho de banda, lo que permite transportar un buen número canales de voz. En el caso de señalización digital punto a punto de larga distancia, se pueden conseguir del orden de unos pocos Mbps; para distancias cortas, actualmente ya hay disponibles productos comerciales que alcanzan los 100 Mbps e incluso 1 Gbps.

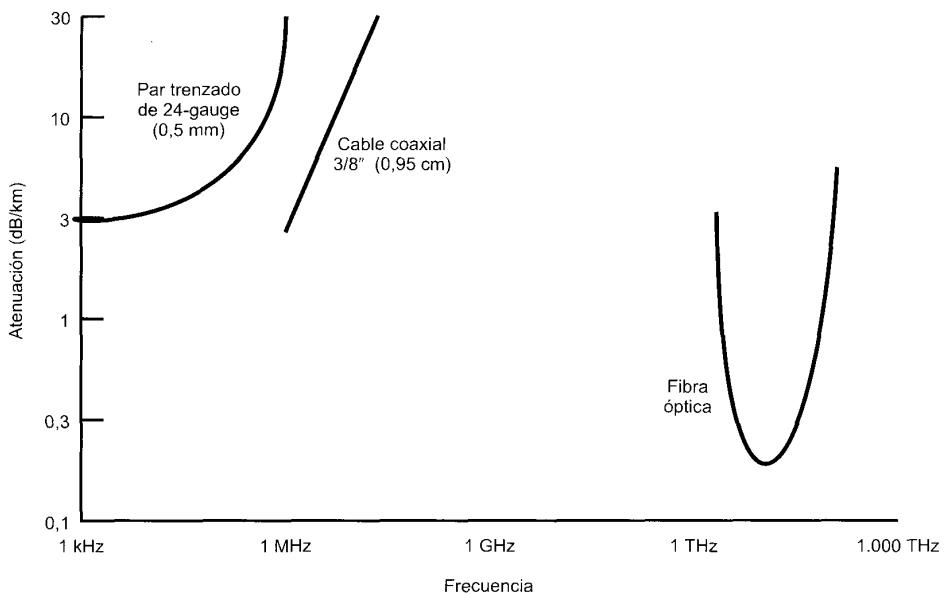


Figura 4.3. Atenuación en los medios guiados típicos.

#### Pares trenzados apantallados y sin apantallar

Hay dos variantes de pares trenzados: apantallado y sin apantallar. El par trenzado no apantallado (UTP, Unshielded Twisted Pair) es el medio habitual en telefonía. No obstante, actualmente es práctica habitual en el cableado de edificios, muy por encima de las necesidades reales de telefonía. Esto es así ya que hoy por hoy, el par sin apantallar es el menos caro de todos los medios de transmisión que se usan en las redes de área local, además de ser fácil de instalar y de manipular.

El par trenzado sin apantallar se puede ver afectado por interferencias electromagnéticas externas, incluyendo interferencias con pares cercanos y fuentes de ruido. Una manera de mejorar las características de transmisión de este medio es embutiéndolo dentro de una malla metálica, reduciéndose así las interferencias. El par trenzado apantallado (STP, Shielded Twisted Pair) proporciona mejores resultados a velocidades de transmisión bajas. Ahora bien, este último es más costoso y difícil de manipular que el anterior.

#### UTP tipo 3 y tipo 5

En la mayoría de los edificios se hace una pre-instalación con un par trenzado de 100 ohmios denominado de calidad telefónica («voice-grade»). Por tanto, este tipo de pre-instalaciones se deben considerar siempre como una alternativa bastante atractiva y poco costosa para las LAN. No obstante, hay que tener en cuenta que las velocidades de transmisión y las distancias que se pueden alcanzar con este medio no siempre cubren las necesidades típicas.

En 1991, la EIA (Electronic Industries Association) publicó el estándar EIA-568, denominado «Commercial Building Telecommunications Cabling Standard», que define el uso de pares trenzados sin apantallar de calidad telefónica y de pares apantallados como medios para aplicaciones de transmisión de datos en edificios. Nótese que por aquel tiempo, las características de dichos medios eran suficientes para el rango de frecuencias y velocidades típicas necesarias en entornos ofimáticos. Es más, en esa

época el objetivo diseño en las LAN tenía velocidades de transmisión comprendidas entre 1 y 16 Mbps. Con el tiempo, los usuarios han migrado tanto a estaciones de trabajo como a aplicaciones de mayores prestaciones. Como consecuencia, ha habido un interés creciente en las LAN que proporcionen hasta 100 Mbps sobre medios no costosos. Como respuesta a esa necesidad, en 1995 se propuso el EIA-568-A. Esta norma incorpora los más recientes avances tanto en el diseño de cables y conectores como en métodos de test. En esta especificación se consideran tanto cables de pares apantallados a 150 ohmios como pares no apantallados de 100 ohmios.

En el estándar EIA-568-A se consideran tres tipos o categorías de cables UTP:

- **Tipo 3:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 16 MHz.
- **Tipo 4:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 20 MHz.
- **Tipo 5:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 100 MHz.

De entre los anteriores, los tipos 3 y 5 son los más utilizados en los entornos LAN. El tipo 3 corresponde a los cables de calidad telefónica que existen en la mayoría de las edificaciones. Con un diseño apropiado y a distancias limitadas, con cables tipo 3 se pueden conseguir velocidades de hasta 16 Mbps. El tipo 5 («data-grade») es un cable de mejores características para la transmisión de datos, y cada vez se está utilizando más y más como pre-instalación en los nuevos edificios de reciente construcción. Con un diseño apropiado y a distancias limitadas, con tipo 5 se pueden alcanzar 100 Mbps.

La diferencia esencial entre los cables tipo 3 y 5 está en el número de trenzas por unidad de distancia. La longitud de la trenza en el tipo 5 es del orden de 0,6 a 0,85 cm, mientras que el tipo 3 tiene una trenza de 7,5 o 10 cm. El trenzado del tipo 5 es por supuesto más caro, ahora bien proporciona prestaciones superiores que el de tipo 3.

En la Tabla 4.2 se resumen las prestaciones de los mencionados cables: UTP tipo 3 y UTP tipo 5, así como el cable STP (Shielded Twisted Pair) especificado en el EIA-568-A. El primer parámetro para establecer la comparativa es la atenuación. Como es sabido la energía de la señal decrece con la distancia recorrida en el medio de transmisión. En medios guiados la atenuación obedece a una ley logarítmica, por tanto, se expresa como un número constante de decibelios por unidad de longitud.

La diafonía que sufren los sistemas basados en pares trenzados es debida a la inducción que provoca un conductor en otro cercano. Por conductor debe entenderse tanto los pares que forman el cable, como los «pines» (patillas metálicas) del conector. Este tipo de diafonía se denomina *cercana al extremo* porque la señal transmitida en el enlace se acopla en un conductor cercano e induce una señal en sentido contrario (es decir, la energía transmitida es capturada por un par de recepción).

**Tabla 4.2.** Comparación de pares trenzados apantallados y sin apantallar.

<b>Frecuencia (MHz)</b>	<b>Atenuación (dB por 100 m)</b>			<b>Diafonía en el extremo final (dB)</b>		
	<b>UTP tipo 3</b>	<b>UTP tipo 5</b>	<b>STP 150 ohmios</b>	<b>UTP tipo 3</b>	<b>UTP tipo 5</b>	<b>STP 150 ohmios</b>
1	2,6	2,0	1,1	41	62	58
4	5,6	4,1	2,2	32	53	58
16	13,1	8,2	4,4	23	44	50,4
25	—	10,4	6,2	—	41	47,5
100	—	22,0	12,3	—	32	38,5
300	—	—	21,4	—	—	31,3

## CABLE COAXIAL

### Descripción física

El cable coaxial, al igual que el par trenzado, tiene dos conductores pero está construido de forma diferente para que pueda operar sobre un rango mayor de frecuencias. Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor (Figura 4.2b). El conductor interior se mantiene a lo largo del eje axial mediante una serie de anillos aislantes regularmente espaciados o bien mediante un material sólido dieléctrico. El conductor exterior se cubre con una cubierta o funda protectora. El cable coaxial tiene un diámetro aproximado entre 1 y 2,5 cm. Debido al tipo de apantallamiento realizado, es decir, a la disposición concéntrica de los dos conductores, el cable coaxial es mucho menos susceptible a interferencias y diafonías que el par trenzado. Comparado con éste, el cable coaxial se puede usar para cubrir mayores distancias, así como para conectar un número mayor de estaciones en una línea compartida.

### Aplicaciones

El cable coaxial es quizás el medio de transmisión más versátil, por lo que cada vez más se está utilizando en una gran variedad de aplicaciones. Las más importantes son:

- Distribución de televisión.
- Telefonía a larga distancia.
- Conexión con periféricos a corta distancia.
- Redes de área local.

El cable coaxial se emplea para la distribución de *TV por cable* hasta el domicilio de los usuarios. Diseñado inicialmente para proporcionar servicio de acceso a áreas remotas (CATV, Community Antenna Television), la TV por cable en un futuro muy cercano llegará probablemente a casi tantos hogares y oficinas como el actual sistema telefónico. El sistema de TV por cable puede transportar docenas e incluso cientos de canales a decenas de kilómetros.

Tradicionalmente, el coaxial ha sido fundamental en la red de telefonía a larga distancia, aunque en la actualidad tiene una fuerte competencia en la fibra óptica, las microondas terrestres y las comunicaciones vía satélite. Cuando se usa multiplexación con división en frecuencia (FDM, Frequency Division Multiplexing, véase Capítulo 8), el cable coaxial puede transportar más de 10.000 canales de voz simultáneamente.

El cable coaxial también se usa con frecuencia para conexiones entre periféricos a corta distancia. Con señalización digital, el coaxial se puede usar como medio de transmisión en canales de entrada/salida (E/S) de alta velocidad en computadores.

### Características de transmisión

El cable coaxial se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Como se puede observar en la Figura 4.3, el cable coaxial tiene una respuesta en frecuencias mejor que la del par trenzado, permitiendo por tanto mayores frecuencias y velocidades de transmisión. Como ya se ha dicho, por construcción el cable coaxial es mucho menos susceptible que el par trenzado tanto a interferencias como a diafonía. Sus principales limitaciones son la atenuación, el ruido térmico, y el ruido de intermodulación. Este último aparece sólo cuando se usan simultáneamente sobre el mismo cable varios canales (FDM) o bandas de frecuencias.

Para la transmisión de señales analógicas a larga distancia, se necesitan amplificadores separados entre sí a distancias del orden de pocos kilómetros, estando más alejados cuanto mayor es la frecuencia de trabajo. El espectro de la señalización analógica se extiende hasta aproximadamente 500 MHz. Para señalización digital, en cambio, se necesita un repetidor aproximadamente cada kilómetro, e incluso menos cuanto mayor sea la velocidad de transmisión.

## FIBRA ÓPTICA

### Descripción física

La fibra óptica es un medio flexible y fino capaz de confinar un haz de naturaleza óptica. Para construir la fibra se pueden usar diversos tipos de cristales y plásticos. Las pérdidas menores se han conseguido con la utilización de fibras de silicio fundido ultra-puro. Las fibras ultra-puras son muy difíciles de fabricar; las fibras de cristal multicomponente son más económicas, aunque proporcionan unas prestaciones suficientes. La fibra de plástico tiene todavía un coste menor y se pueden utilizar para enlaces de distancias cortas, para los que son aceptables pérdidas moderadamente altas.

Un cable de fibra óptica tiene forma cilíndrica y está formado por tres secciones concéntricas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta (Figura 4.2c). El *núcleo* es la sección más interna, está constituido por una o varias hebras o fibras muy finas de cristal o plástico y tiene un diámetro entre 8 y 100  $\mu\text{m}$ . Cada fibra está rodeada por su propio *revestimiento*, que no es sino otro cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La separación entre el núcleo y el revestimiento actúa como un reflector perfecto confinando el haz de luz que de otra manera escaparía del núcleo. La capa más exterior que envuelve a uno o varios revestimientos es la *cubierta*. La cubierta está hecha de plástico y otros materiales dispuestos en capas para proporcionar protección contra la humedad, la abrasión, aplastamientos y otros peligros.

### Aplicaciones

Uno de los avances tecnológicos más significativos en la transmisión de datos ha sido el desarrollo de los sistemas de comunicación de fibra óptica. No en vano, la fibra disfruta de una gran aceptación para las telecomunicaciones a larga distancia, y cada vez está siendo más utilizada en aplicaciones militares. Las mejoras constantes en el diseño, junto con sus ventajas inherentes, así como la reducción en costes han contribuido decisivamente para que la fibra sea un medio atractivo en los entornos de red de área local. Las características diferenciales de la fibra óptica frente al cable coaxial y al par trenzado son:

- **Mayor capacidad:** el ancho de banda potencial, y por tanto la velocidad de transmisión, en las fibras es enorme. Experimentalmente se ha demostrado que se pueden conseguir velocidades de transmisión de cientos de Gbps para decenas de kilómetros de distancia. Compárese con el máximo que se puede conseguir en el cable coaxial de cientos de Mbps sobre aproximadamente 1 km, y con los escasos Mbps que se pueden obtener en la misma distancia o con los 100 Mbps a 1 Gbps para pocas decenas de metros en pares trenzados.
- **Menor tamaño y peso:** las fibras ópticas son apreciablemente más finas que el cable coaxial o que los pares trenzados embutidos, por lo menos en un orden de magnitud para capacidades de transmisión comparables. En las conducciones o tubos de vacío previstos para el cableado en las edificaciones, así como en las conducciones públicas subterráneas, la utilización de tamaños pequeños tiene unas ventajas evidentes. La reducción en tamaño lleva a su vez aparejada una reducción en peso que disminuye a su vez la infraestructura necesaria.
- **Atenuación menor:** la atenuación es significativamente menor en las fibras ópticas que en los cables coaxiales y pares trenzados (Figura 4.3), además es constante en un gran intervalo.
- **Aislamiento electromagnético:** los sistemas de fibra óptica no se ven afectados por los efectos de campos electromagnéticos exteriores. Estos sistemas no son vulnerables a interferencias, ruido impulsivo o diafonía. Y por la misma razón, las fibras no radian energía, produciendo interferencias despreciables con otros equipos y proporcionando a la vez un alto grado de privacidad; además, relacionado con esto la fibra es por construcción, difícil de «pinchar».
- **Mayor separación entre repetidores:** cuantos menos repetidores haya el coste será menor, además de haber menos fuentes de error. Desde este punto de vista, las prestaciones de los sistemas de fibra óptica han sido mejoradas de manera constante y progresiva. Para la fibra, es práctica

habitual necesitar repetidores separados entre sí por decenas de kilómetros, e incluso se ha demostrado experimentalmente sistemas con separación de cientos de kilómetros. Por el contrario, los sistemas basados en coaxial y en pares trenzados requieren repetidores cada pocos kilómetros.

Las cinco aplicaciones básicas en las que la fibra óptica es importante son:

- Transmisiones a larga distancia.
- Transmisiones metropolitanas.
- Acceso a áreas rurales.
- Bucles de abonado.
- Redes de área local.

La transmisión a largas distancias mediante fibras es cada vez más común en las redes de telefonía. En estas redes, las distancias medias son aproximadamente 1.500 km y tienen una gran capacidad (normalmente de 20.000 a 60.000 canales de voz). Estos sistemas son competitivos, en cuanto a coste, respecto a los enlaces de microondas y están tan por debajo, en coste, del cable coaxial que en muchos países en vías de desarrollo la fibra está desbancando al coaxial. Paralelamente, la fibra óptica cada vez se utiliza más como medio de transmisión en cables submarinos.

Los circuitos troncales de alcance metropolitano tienen una longitud media de 12 km, y pueden albergar hasta 100.000 canales de voz por cada grupo troncal. La mayoría de los servicios se están instalando usando conducciones subterráneas sin repetidores, que se usan para enlazar centrales telefónicas dentro del área metropolitana. Dentro de esta categoría pertenecen igualmente las rutas que enlazan las líneas de larga distancia de microondas, que llegan hasta las áreas perimetrales de las ciudades, con las centrales de telefonía situadas dentro del casco urbano.

Los accesos troncales a áreas rurales tienen generalmente longitudes que van desde los 40 a 160 km. En Estados Unidos, estos enlaces a su vez conectan frecuentemente centrales telefónicas pertenecientes a diferentes compañías. La mayoría de estos sistemas tienen menos de 5.000 canales de voz. Usualmente, la tecnología utilizada en estas aplicaciones compite con las microondas.

Los bucles de abonado son fibras que van directamente desde las centrales al abonado. El uso de la fibra en estos servicios está empezando a desplazar a los enlaces mediante pares trenzados y coaxiales, dado que cada vez más las redes de telefonía están evolucionando hacia redes integradas capaces de gestionar no sólo voz y datos, sino también imágenes y vídeo. El uso de la fibra en este contexto está encabezado fundamentalmente por grandes clientes (empresas), no obstante la fibra como medio de acceso desde los domicilios particulares aparecerá en un futuro a corto plazo.

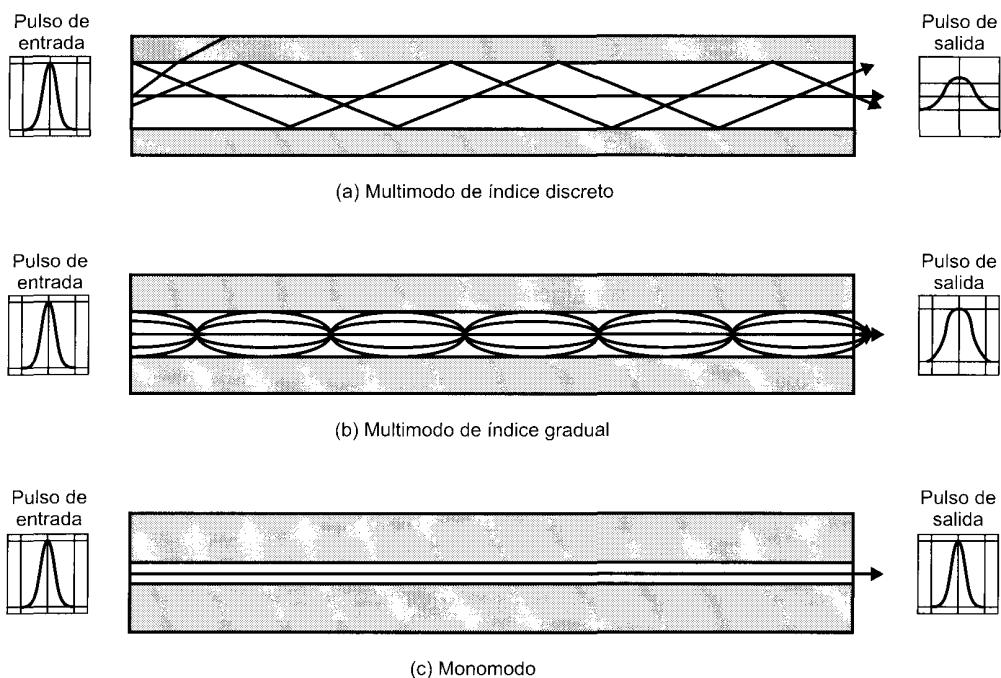
Finalmente, una aplicación importante de la fibra óptica está en las redes de área local. Recientemente, se han desarrollado estándares y productos para redes de fibra óptica con capacidades que van desde 100 Mbps hasta 1 Gbps y a su vez permiten cientos, incluso miles de estaciones en grandes edificios de oficinas.

Las ventajas de la fibra óptica respecto del par trenzado o del cable coaxial serán cada vez más convincentes conforme la demanda de información multimedia vaya aumentando (voz, datos, imágenes y vídeo).

### **Características de transmisión**

La fibra óptica propaga el haz de luz internamente de acuerdo con el principio de *reflexión total*. Este fenómeno se da en cualquier medio transparente que tenga un índice de refracción mayor que el medio que lo contenga. En efecto, la fibra óptica funciona como una guía de ondas para el rango de frecuencias que va desde  $10^{14}$  hasta  $10^{15}$  Hz, cubriendo parte del espectro visible e infrarrojo.

En la Figura 4.4 se muestra el principio que rige la propagación del haz de luz en la fibra óptica. La luz proveniente de la fuente penetra en el núcleo cilíndrico de cristal o plástico. Los rayos que inciden



**Figura 4.4.** Modos de transmisión en las fibras ópticas.

con ángulos superficiales se reflejan y se propagan dentro del núcleo de la fibra, mientras que para otros ángulos, los rayos son absorbidos por el material que forma el revestimiento. Este tipo de propagación se llama **multimodal de índice discreto**, lo que alude al hecho de que hay multitud de ángulos para los que se da la reflexión total. En la transmisión multimodo, existen múltiples caminos que verifican la reflexión total, cada uno con diferente longitud y por tanto con diferente tiempo de propagación. Esto hace que los elementos de señalización que se transmitan (los pulso de luz) se dispersen en el tiempo, limitando la velocidad a la que los datos puedan ser correctamente recibidos. Dicho de otra forma, la necesidad de separar los pulsos de luz limita la velocidad de transmisión de los datos. Este tipo de fibra es más adecuada para la transmisión a distancias cortas. Cuando el radio del núcleo se reduce, la reflexión total se dará en un número menor de ángulos. Al reducir el radio del núcleo a dimensiones del orden de magnitud de la longitud de onda, un solo ángulo o modo podrá pasar: el rayo axial. Esta propagación **monomodo** proporciona prestaciones superiores por las razones que se esgrimen a continuación. Debido a la existencia de un único camino posible en la transmisión monomodo, la distorsión multimodal no puede darse. Las fibras monomodo se utilizan normalmente en aplicaciones de larga distancia, como, por ejemplo, la telefonía y la televisión por cable. Finalmente, se puede conseguir un tercer modo de transmisión variando gradualmente el índice de refracción del núcleo, denominado **multimodo de índice gradual**. Las características de este último modo están entre las de los otros dos modos comentados. Estas fibras, al disponer de un índice de refracción superior en la parte central, hace que los rayos de luz avancen más rápidamente conforme se alejan del eje axial de la fibra. En lugar de describir un zig-zag, la luz en el núcleo describe curvas helicoidales debido a la variación gradual del índice de refracción, reduciendo así la distorsión multimodal. El efecto de la mayor velocidad de propagación en la periferia del núcleo se traduce en que aún recorriendo distancias superiores, todos los rayos llegan aproximadamente en los mismos. Este tipo de fibras de índice gradual se utiliza en las redes de área local.

En los sistemas de fibra óptica se usan dos tipos diferentes de fuentes de luz: los diodos LED (Light Emitting Diode) y los diodos ILD (Injection Laser Diode). Ambos son dispositivos semiconductores que

emiten un haz de luz cuando se les aplica una tensión. El LED es menos costoso, opera en un rango mayor de temperaturas y tienen una vida media superior. El ILD, cuyo funcionamiento está basado en el mismo principio que los láser, es más eficaz y puede proporcionar velocidades de transmisión superiores.

Existe una relación entre la longitud de onda utilizada, el tipo de transmisión y la velocidad de transmisión que se puede conseguir. Tanto el monomodo como el multimodo pueden admitir varias longitudes de onda diferentes y pueden utilizar como fuentes tanto láseres como diodos LED. En las fibras ópticas, la luz se propaga mejor en tres regiones o «ventanas» de longitudes de onda, centradas a 850, 1.300 y 1.500 nanómetros (nm). Todas estas frecuencias están en la zona infrarroja del espectro, por debajo del espectro visible que está situado entre los 400 y 700 nm. Las pérdidas son menores cuanto mayor es la longitud de onda, permitiendo así mayores velocidades de transmisión sobre distancias superiores. En la actualidad la mayoría de las aplicaciones usan como fuentes diodos LED a 850 nm. Aunque esta elección es relativamente barata, su uso está generalmente limitado a velocidades de transmisión por debajo de 100 Mbps y a distancias de pocos kilómetros. Para conseguir mayores velocidades de transmisión y mayores distancias es necesario transmitir en la ventana centrada a 1.300 nm (usando tanto láser como diodos), y si todavía se necesitan mejores prestaciones, entonces hay que recurrir al uso de emisores láser a 1.500 nm.

### Multiplexación por división en longitudes de onda

Todo el potencial de la fibra se utiliza plenamente cuando se transmiten varios haces de luz a diferentes frecuencias en la misma fibra. Esto no es sino un tipo de multiplexación por división en frecuencias (FDM), aunque se denomina multiplexación por división en longitudes de onda (Wavelength-Division Multiplexing) (WDM). En WDM, el haz de luz está constituido por multitud de colores, o longitudes de onda, cada uno de los cuales porta un canal diferente de datos. En 1997 se alcanzó un hito cuando en los laboratorios Bell se demostró la viabilidad de un sistema WDM con 100 haces cada uno operando a 10 Gbps, proporcionando una velocidad de transmisión total de un trillón de bits por segundo (también denominado 1 Terabit por segundo o 1 Tbps)<sup>1</sup>. Ya están disponibles en el mercado sistemas con 80 canales a 10 Gbps cada uno.

## 4.2. TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

En medios no guiados, tanto la transmisión como la recepción se lleva a cabo mediante antenas. En la transmisión, la antena radia energía electromagnética en el medio (normalmente el aire), y en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. Básicamente en las transmisiones inalámbricas hay dos tipos de configuraciones: direccional y omnidireccional. En la primera, la antena de transmisión emite la energía electromagnética concentrándola en un haz; por tanto en este caso las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas. En el caso omnidireccional, por contra, el diagrama de radiación de la antena es más disperso, emitiendo en todas direcciones, pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. En general, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.

En el estudio de las comunicaciones inalámbricas, se van a considerar tres rangos de frecuencias. El primer intervalo definido desde los 2 GHz (Gigahertzio =  $10^9$  Hertzios) hasta los 40 GHz se denomina de frecuencias microondas. En estas frecuencias de trabajo se pueden conseguir haces altamente direccionales, por lo que las microondas son adecuadas para enlaces punto a punto. Las microondas también se usan para las comunicaciones vía satélite. Las frecuencias que van desde 30 MHz a 1 GHz son adecuadas para las aplicaciones omnidireccionales. A este rango de frecuencias lo denominaremos intervalo de ondas de radio. En la Tabla 4.3 se resumen las características<sup>2</sup> de transmisión en medios no guiados para las distintas bandas de frecuencia. Las microondas cubren parte de la banda de UHF y cubren totalmente la banda SHF; la banda de ondas de radio cubre la VHF y parte de la banda UHF.

<sup>1</sup> N. del T.: Se ha optado por respetar el uso de trillón en el sentido literal del autor (habitual en U.S.A.), diferente al uso europeo.

<sup>2</sup> Los distintos esquemas de modulación se explicarán en el Capítulo 5.

**Tabla 4.3.** Características de las bandas en comunicaciones no guiadas.

Banda de frecuencia	Nombre	Datos analógicos		Datos digitales		Aplicaciones principales
		Modulación	Ancho de banda	Modulación	Velocidad de transmisión	
30-300 kHz	LF (frecuencia baja)	Normalmente no se usa		ASK, FSK MSK	0,1 para 100 bps	Navegación
300-3.000 kHz	MF (frecuencia media)	AM	Para 4 kHz	ASK, FSK MSK	10 para 1.000 bps	Radio AM comercial
3-30 MHz	HF (frecuencia alta)	AM, SSB	Para 4 kHz	ASK, FSK MSK	10 para 3.000 bps	Radio de onda corta
30-300 MHz	VHF (frecuencia muy alta)	AM, SSB; FM	5 kHz para 5 MHz	FSK, PSK	Para 100 kbps	Televisión VHF, radio FM comercial
300-3.000 MHz	UHF (frecuencia ultra alta)	FM, SSB	Para 20 MHz	PSK	Para 10 Mbps	Televisión VHF, microondas terrestres
3-30 GHz	SHF (frecuencia súper alta)	FM	Para 500 MHz	PSK	Para 100 Mbps	Microondas terrestres, microondas por satélite
30-300 GHz	EHF (frecuencia extremadamente alta)	FM	Para 1 GHz	PSK	Para 750 Mbps	Enlaces punto a punto cercanos experimentales

Otro rango de frecuencias importante, para las aplicaciones de cobertura local, es la zona de infrarrojos del espectro definida aproximadamente por el rango de frecuencias comprendido entre los  $3 \times 10^{11}$  hasta los  $2 \times 10^{14}$  Hz. Los infrarrojos son útiles para las conexiones locales punto a punto así como para aplicaciones multipunto dentro de áreas de cobertura limitada como, por ejemplo, una habitación.

## MICROONDAS TERRESTRES

### Descripción física

La antena más común en las microondas es la de tipo parabólico. El tamaño típico es de un diámetro de unos 3 metros. Esta antena se fija rígidamente, y en este caso, el haz estrecho debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable sobre el nivel del suelo, para con ello conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y para evitar posibles obstáculos en la transmisión. Si no hay obstáculos intermedios, la distancia máxima entre antenas, verifica

$$d = 7,14 \sqrt{Kh}$$

donde  $d$  es la distancia de separación entre las antenas expresada en kilómetros,  $h$  es la altura de la antena en metros, y  $K$  es un factor de corrección que tiene en cuenta que las microondas se desvían o refractan con la curvatura de la tierra llegando, por lo tanto, más lejos de lo que lo harían si se propagasen en línea recta. Una buena aproximación es considerar  $K = 4/3$ . Por lo tanto, a modo de ejemplo, dos antenas de microondas con altura de 100 metros pueden separarse una distancia igual a  $7,14 \times \sqrt{133} = 82$  km.

Para llevar a cabo transmisiones a larga distancia, se utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada.

### Aplicaciones

El uso principal de los sistemas de microondas terrestres son los servicios de telecomunicación de larga distancia, como alternativa al cable coaxial o a las fibras ópticas. Para una distancia dada, las microondas requieren menor número de repetidores o amplificadores que el cable coaxial, pero por contra, necesita que las antenas estén perfectamente alineadas. El uso de las microondas es frecuente en la transmisión de televisión y de voz.

Otro uso cada vez más frecuente es en enlaces punto a punto a cortas distancias entre edificios. En este último caso, aplicaciones típicas son circuitos cerrados de TV o la interconexión de redes locales. Además, las microondas a corta distancia también se utilizan en las aplicaciones denominadas de «*bypass*», con las que una determinada compañía puede establecer un enlace privado hasta el centro proveedor de transmisiones a larga distancia, evitando así tener que contratar el servicio a la compañía telefónica local.

### Características de transmisión

El rango de las microondas cubre una parte sustancial del espectro electromagnético. La banda de frecuencias está comprendida entre 2 y 40 GHz. Cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor es el ancho de banda potencial, y por tanto, mayor es la posible velocidad de transmisión. En la Tabla 4.4 se indican diversos valores de anchos de banda y velocidad de transmisión de datos para algunos sistemas típicos.

Al igual que en cualquier sistema de transmisión, la principal causa de pérdidas en las microondas es la atenuación. Para las microondas (y también para la banda de frecuencias de radio), las pérdidas se pueden expresar como

$$L = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}$$

donde  $d$  es la distancia y  $\lambda$  es la longitud de onda, expresadas en las mismas unidades. Por tanto, las pérdidas varían con el cuadrado de la distancia. Por contra, en el cable coaxial y el par trenzado, las pérdidas tienen una dependencia logarítmica con la distancia (lineal en decibelios). Por lo tanto, en los sistemas que usan microondas, los amplificadores o repetidores se pueden distanciar más (de 10 a 100 km generalmente) que en coaxiales y pares trenzados. La atenuación aumenta con las lluvias, siendo este efecto especialmente significativo para frecuencias por encima de 10 GHz. Otra dificultad adicional son las interferencias. Con la popularidad creciente de las microondas, las áreas de cobertura se pueden solapar, haciendo que las interferencias sean siempre un peligro potencial. Así pues la asignación de bandas tiene que realizarse siguiendo una regulación estricta.

Las bandas más usuales en la transmisión a larga distancia se sitúan entre 4 GHz y 6 GHz. Debido a la creciente congestión que están sufriendo estas bandas, la banda de 11 GHz se está empezando a utilizar. La banda de 12 GHz se usa para proporcionar la señal de TV a las cabeceras de distribución de TV por cable, en las que para llegar al abonado se utiliza el cable coaxial. Finalmente, cabe citar que las microondas de altas frecuencias se están utilizando para enlaces cortos punto a punto entre edificios.

**Tabla 4.4.** Prestaciones de microondas digitales típicos.

Banda (GHz)	Ancho de banda (MHz)	Velocidad de transmisión (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

Para tal fin, se usa generalmente la banda de 22 GHz. Las bandas de frecuencias superiores son menos útiles para distancias más largas debido a que cada vez la atenuación es mayor, ahora bien, son bastante adecuadas para distancias más cortas. Y además, a frecuencias superiores, las antenas son más pequeñas y más baratas.

## MICROONDAS POR SATÉLITE

### Descripción física

Un satélite de comunicaciones es esencialmente una estación que retransmite microondas. Se usa como enlace entre dos o más receptores/transmisores terrestres, denominadas estaciones base. El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), la amplifica o repite, y posteriormente la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente). Cada uno de los satélites geoestacionarios operará en una serie de bandas de frecuencias llamadas «*transponder channels*» o simplemente «*transponders*».

La Figura 4.5 muestra dos configuraciones usuales en las comunicaciones vía satélite. En la primera de ellas, el satélite se utiliza para proporcionar un enlace punto a punto entre dos antenas terrestres alejadas entre sí. En la segunda, el satélite se usa para conectar una estación base transmisora con un conjunto de receptores terrestres.

Para que un satélite de comunicaciones funcione con eficacia, generalmente se exige que se mantenga en una órbita geoestacionaria, es decir que mantenga su posición respecto de la tierra. Si no fuera así, no estaría constantemente alineado con las estaciones base. El satélite, para mantenerse geoestacionario, debe tener un periodo de rotación igual al de la tierra y esto sólo ocurre a una distancia de 35.784 km.

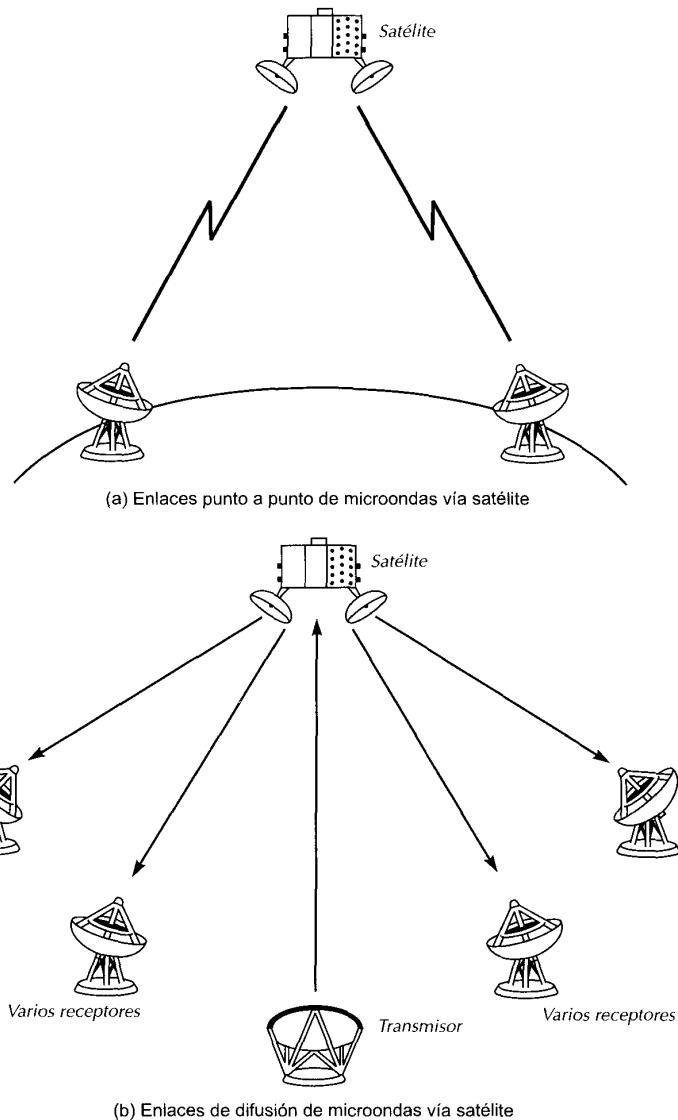
Si dos satélites utilizaran la misma banda de frecuencias y estuvieran suficientemente próximos, podrían interferir mutuamente. Para evitar esto, los estándares actuales exigen una separación mínima de  $4^{\circ}$  (desplazamiento angular medido desde la superficie terrestre) en la banda 4/6 GHz, y una separación de al menos  $3^{\circ}$  a 12/14 GHz. Por lo tanto, el número máximo de posibles satélites está bastante limitado.

### Aplicaciones

Las comunicaciones vía satélite han sido una revolución tecnológica de igual magnitud que la desencadenada por la fibra óptica. Entre las aplicaciones más importantes para los satélites cabe destacar:

- La difusión de televisión.
- La transmisión telefónica a larga distancia.
- Las redes privadas.

Debido a que los satélites son multidiestino por naturaleza, su utilización es muy adecuada para la distribución de TV, por lo que están siendo ampliamente utilizados tanto en los Estados Unidos como en el resto del mundo. Tradicionalmente, en la distribución de TV una emisora local proporciona la programación a toda la red. Para lo cual los programas se transmiten al satélite que es el encargado de difundirlo a toda una serie de estaciones receptoras, las cuales redistribuyen la programación a los usuarios finales. La PBS (Public Broadcasting Service) es una red que distribuye su programación casi exclusivamente mediante el uso de los canales de satélite. Otras redes comerciales también utilizan el satélite como parte esencial de su sistema, e igualmente, cada vez más los sistemas de distribución de la TV por cable utilizan el satélite como medio de obtener su programación. La aplicación más reciente de la tecnología del satélite a la televisión es la denominada difusión directa vía satélite (DBS, Direct Broadcast Satellite), en la que la señal de vídeo se transmite directamente desde el satélite a los domicilios de los usuarios. La disminución tanto en coste como en tamaño de las antenas receptoras han hecho que esta tecnología sea factible económicamente, con lo que el número de canales disponibles es cada vez mayor.



**Figura 4.5.** Distintas configuraciones de comunicaciones vía satélite.

La transmisión vía satélite se utiliza también para proporcionar enlaces punto a punto entre las centrales telefónicas en las redes públicas de telefonía. Es el medio óptimo para los enlaces internacionales que tengan un alto grado de utilización y es competitivo comparado con los sistemas terrestres en muchos enlaces internacionales de larga distancia.

Finalmente, para la tecnología vía satélite hay una gran cantidad de aplicaciones de gran interés comercial. El suministrador del servicio de transmisión vía satélite puede dividir la capacidad total dis-

ponible en una serie de canales, alquilando su uso a terceras compañías. Dichas compañías, equipadas con una serie de antenas distribuidas en diferentes localizaciones pueden utilizar un canal del satélite para establecer una red privada. Tradicionalmente, tales aplicaciones eran bastante caras, estando limitado su uso a grandes empresas. Un desarrollo reciente ha sido el sistema de terminales de pequeña abertura (VSAT, Very Small Aperture Terminal), que constituye una alternativa de bajo coste. En la Figura 4.6 se muestra una configuración VSAT típica, consistente en una serie de estaciones equipadas con una antena de VSAT de bajo coste. Mediante el uso de algún procedimiento regulador, estas estaciones compartirán la capacidad del canal del satélite para transmitir a la estación central o concentrador. Esta estación puede intercambiar información con cada uno de los abonados y puede a su vez retransmitir los mensajes a otras estaciones.

### Características de transmisión

El rango de frecuencias óptimo para la transmisión vía satélite está en el intervalo comprendido entre 1 y 10 GHz. Por debajo de 1 GHz, el ruido producido por causas naturales es apreciable, incluyendo el

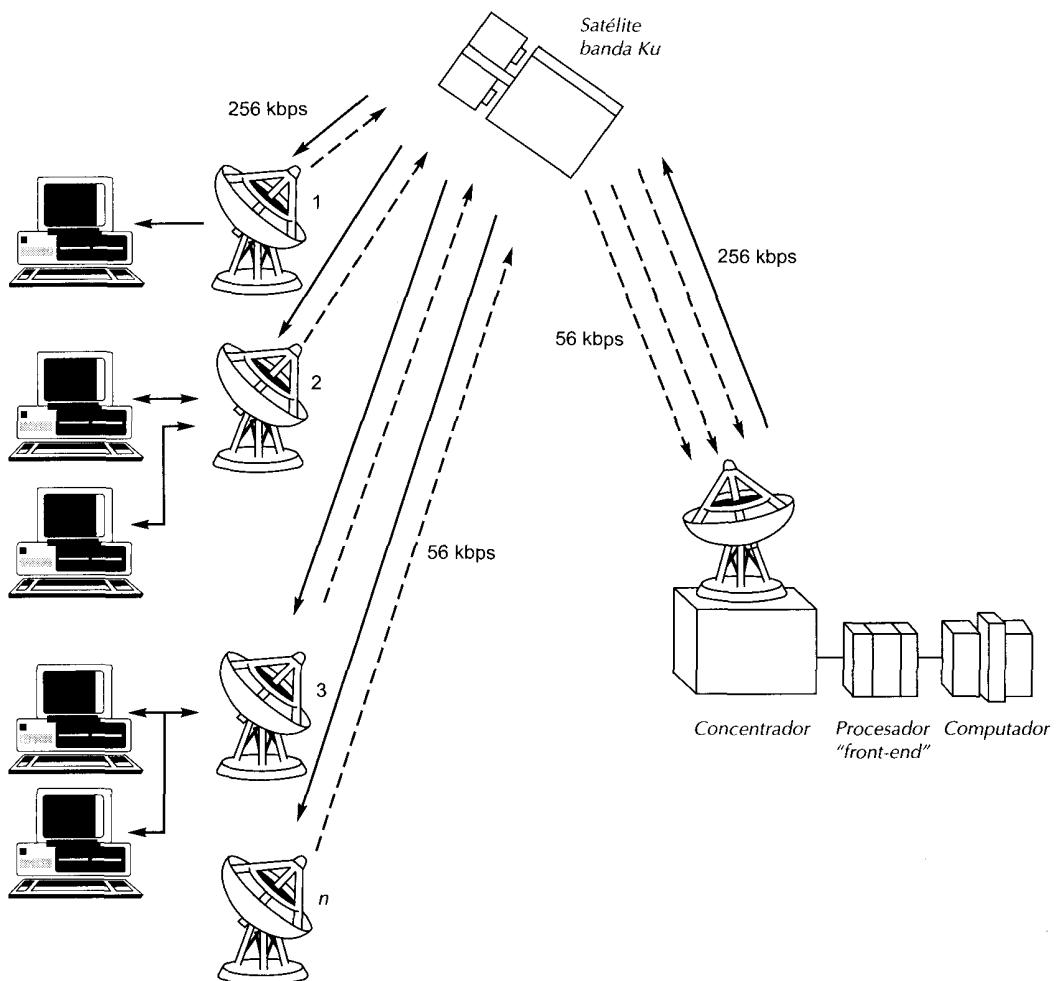


Figura 4.6. Configuración VSAT.

ruido galáctico, solar, atmosférico y el producido por interferencias con otros dispositivos electrónicos. Por encima de los 10 GHz, la señal se ve severamente afectada por la absorción atmosférica y por las precipitaciones.

La mayoría de los satélites que proporcionan servicio de enlace punto a punto operan en el intervalo entre 5,925 y 6,425 GHz para la transmisión desde las estaciones terrestres hacia el satélite (canal ascendente) y entre 3,7 y 4,2 GHz para la transmisión desde el satélite hasta la tierra (canal descendente). Esta combinación se conoce como banda 4/6 GHz. Nótese que las frecuencias ascendentes son diferentes de las descendentes. En una transmisión continua y sin interferencias, el satélite no podrá transmitir y recibir en el mismo rango de frecuencias. Así pues, las señales que se reciben desde las estaciones terrestres en una frecuencia dada se deberán devolver en otra distinta.

La banda 4/6 GHz está dentro de la zona óptima de frecuencias (de 1 a 10 GHz), ahora bien su utilización exhaustiva ha llegado a la saturación. Debido a posibles interferencias (por ejemplo, con microondas terrestres operando en ese mismo rango), las restantes frecuencias del intervalo óptimo no se pueden utilizar. Por tanto, se han desarrollado otras bandas alternativas como es la 12/14 GHz (el canal ascendente está situado entre 14 y 14,5 GHz, y la banda descendente está entre 11,7 a 14,2 GHz). En esta banda aparecen problemas de atenuación que se deben solventar. No obstante, se pueden usar receptores terrestres más baratos y de dimensiones más reducidas. Se ha diagnosticado que esta banda también se saturará, por lo que se está proyectando la utilización de la banda 19/29 GHz (enlace ascendente: desde 27,5 a 31,0 GHz; enlace descendente: de 17,7 a 21,2 GHz). En esta banda la atenuación es incluso superior, ahora bien, por contra proporcionará un ancho de banda mayor (2.500 MHz comparados con los 500 MHz anteriores), a la vez que los receptores pueden ser todavía más pequeños y económicos.

Merecen comentarse algunas propiedades peculiares de las comunicaciones vía satélite. En primer lugar, debido a las grandes distancias involucradas, hay un retardo de propagación aproximado del orden de un cuarto de segundo para la transmisión desde una estación terrestre hasta otra pasando por el satélite. Este retardo es apreciable si se trata de una conversación telefónica ordinaria. Pero además, estos retrasos introducen problemas adicionales a la hora de controlar los errores y el flujo en la transmisión. Estos problemas serán estudiados en capítulos posteriores. En segundo lugar, los satélites con microondas son intrínsecamente un medio para aplicaciones multidiestino. Varias estaciones pueden transmitir hacia el satélite, e igualmente varias estaciones pueden recibir la señal transmitida por el satélite.

## ONDAS DE RADIO

### Descripción física

La diferencia más apreciable entre las microondas y las ondas de radio es que estas últimas son omnidireccionales, mientras que las primeras tienen un diagrama de radiación mucho más direccional. Por lo tanto, las ondas de radio no necesitan antenas parabólicas, ni necesitan que dichas antenas estén instaladas sobre una plataforma rígida para estar alineadas.

### Aplicaciones

Con el término *radio* se alude de una manera poco precisa a todas las bandas de frecuencias desde 3 kHz a 300 GHz. Aquí de una manera informal se está utilizando el término *ondas de radio* para aludir a la banda VHF y parte de la UHF: de 30 MHz a 1GHz. Este rango cubre la radio comercial FM así como televisión UHF y VHF. Este rango también se utiliza para una serie de aplicaciones de redes de datos.

### Características de transmisión

El rango de frecuencias comprendido entre 30 MHz y 1GHz es muy adecuado para la difusión simultánea a varios destinos. A diferencia de las ondas electromagnéticas con frecuencias menores, la ionosfera es transparente para ondas con frecuencias superiores a 30 MHz. Así pues, la transmisión es posible

cuando las antenas están alineadas, no produciéndose interferencias entre los transmisores debidas a las reflexiones con la atmósfera. A diferencia de la región de las microondas, las ondas de radio son menos sensibles a la atenuación producida por la lluvia.

Como en el caso anterior donde la transmisión sigue una línea recta, en este caso también se verifica la Ecuación (4.1); es decir, la distancia máxima entre el transmisor y el receptor es ligeramente mayor que el alcance visual, es decir,  $7,14\sqrt{Kh}$ . Al igual que en las microondas, la atenuación debida simplemente a la distancia verifica la Ecuación (4.2), es decir,  $10 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$ . Debido a que tienen una longitud de onda mayor, las ondas de radio sufren, en términos relativos, una atenuación menor.

Un factor determinante en las ondas de radio son las interferencias por multirayectorias. Entre las antenas, debido a la reflexión en la superficie terrestre, el mar u otros objetos, pueden aparecer multirayectorias. Este efecto se observa con frecuencia en el receptor de TV y consiste en que se pueden observar varias imágenes (o sombras) cuando pasa un avión por el espacio cercano.

### INFRARROJOS

Las comunicaciones mediante infrarrojos se llevan a cabo mediante transmisores/receptores («transceivers») que modulan luz infrarroja no coherente. Los transceivers deben estar alineados bien directamente o mediante la reflexión en una superficie coloreada como puede ser el techo de una habitación.

Una diferencia significativa entre la transmisión de rayos infrarrojos y las microondas es que los primeros no pueden atravesar las paredes. Por tanto, los problemas de seguridad y de interferencias que aparecen en las microondas no se presentan en este tipo de transmisión. Es más, no hay problemas de asignación de frecuencias, ya que en esta banda no se necesitan permisos.

### 4.3. LECTURAS Y SITIOS WEB RECOMENDADOS

En [FREE98] se puede encontrar una descripción detallada de las características de transmisión de los medios citados en este capítulo. En [REEV95] se realiza un excelente estudio de los pares trenzados y de las fibras ópticas. [BORE97] es un tratado completo sobre los componentes de la transmisión sobre fibra óptica. Otro artículo de calidad sobre el tema es [WILL97]. En [STAL97] se discute con más detalle las características de los medios de transmisión en LAN.

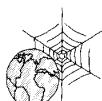
**BORE97** Borella, M., et al. «Optical Components for WDM Lightwave Networks.» *Proceeding of the IEEE*, August 1997.

**FREE98** Freeman, R. *Telecommunication Transmission Handbook*. New York: Wiley, 1991.

**REEV95** Reeve, W. *Subscriber Loop Signaling and Transmission Handbook*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995.

**STAL97** Stallings, W. *Local and Metropolitan Area Networks, Fifth Edition*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1997.

**WILL97** Willner, A. «Mining the Optical Bandwidth for a Terabit per Second.» *IEEE Spectrum*, April 1997.



### SITIOS WEB RECOMENDADOS

- **«Mobile and Wireless Computing Index»:** información sobre las tecnologías inalámbricas, productos, congresos y publicaciones.

La necesidad de compartir información y recursos entre diferentes computadoras ha llevado a la aparición de sistemas de computación conectados denominados **redes**, en los que las computadoras están conectadas de manera que los datos pueden transferirse de una máquina a otra. En estas redes, los usuarios de las computadoras pueden intercambiar mensajes y compartir recursos tales como capacidades de impresión, paquetes software y dispositivos de almacenamiento de datos, que están dispersos a través de todo el sistema. El software subyacente necesario para dar soporte a tales aplicaciones ha ido creciendo desde los simples paquetes de utilidades hasta convertirse en un sistema en expansión de software de red que proporciona una sofisticada infraestructura distribuida. En cierto sentido, el software de red está evolucionando hacia un sistema operativo de red. En este capítulo vamos a estudiar este campo en expansión de las Ciencias de la computación.

## 4.1 Fundamentos de las redes

Comenzaremos nuestro estudio acerca de las redes presentando diversos conceptos básicos de este campo.

### Clasificación de las redes

Las redes de computadoras suele clasificarse como **redes de área local** (LAN, *Local Area Network*), **redes de área metropolitana** (MAN, *Metropolitan Area Network*) o **redes de área extensa** (WAN, *Wide Area Network*). Normalmente, una LAN consta de una colección de computadoras situadas en un mismo edificio o en un complejo de edificios. Por ejemplo, las computadoras de un campus universitario o las de una fábrica pueden estar conectadas mediante una LAN. Una MAN es una red de tamaño intermedio, como por ejemplo una que abarque todo un pueblo de pequeño tamaño. Una red WAN conecta máquinas situadas a grandes distancias, quizás en ciudades próximas o en lados opuestos del mundo.

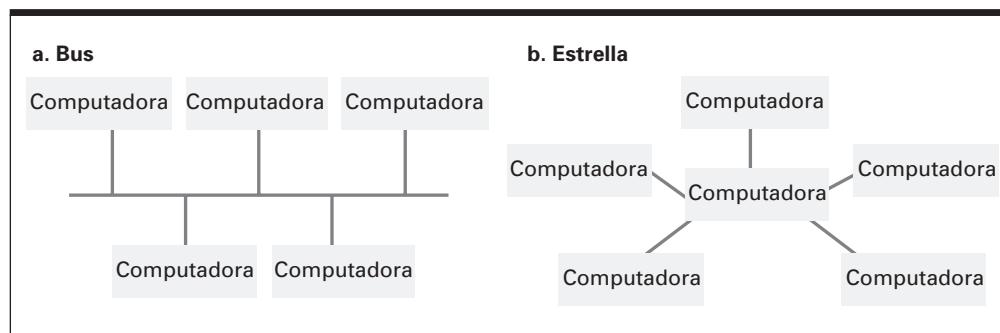
Otro método de clasificación de las redes se fija en si la operación interna de la red está basada en diseños que son de dominio público o en innovaciones que están controladas y son propiedad de una entidad concreta, como por ejemplo una persona o una corporación. Una red del primer tipo se dice que es una red **abierta**; una red del segundo tipo se denomina red **cerrada** o, en ocasiones, red **propietaria**. Los diseños de red abierta pueden circular libremente y a menudo su popularidad crece hasta el punto de que terminan prevaleciendo sobre los enfoques propietarios, cuyas aplicaciones están restringidas por los acuerdos de licencia y las condiciones fijadas en los correspondientes contratos.

Internet (una red de redes mundial muy popular que estudiaremos en este capítulo) es un sistema abierto. En particular, la comunicación a través de Internet está gobernada por un conjunto abierto de estándares conocido con el nombre de conjunto de protocolos TCP/IP, que es el tema del que nos ocuparemos en la Sección 4.4. Cualquier persona es libre de utilizar esos estándares sin pagar licencias ni firmar ningún tipo de acuerdo. Por el contrario, una empresa como Novell Inc. puede desarrollar sistemas propietarios para los que decide mantener sus derechos de propiedad, lo que permite a la empresa obtener ingresos de la venta o alquiler de los correspondientes productos.

Otra tercera forma de clasificar las redes se basa en la topología de la red, donde el término topología hace referencia al patrón con el que las máquinas están conectadas. Dos de las topologías más populares son la de bus, en la que todas las máquinas están conectadas a una línea común de comunicaciones denominada bus (Figura 4.1a) y la topología en estrella, en la que una máquina sirve como punto central al que todas las demás se conectan (Figura 4.1b). La topología de bus fue popularizada en la década de 1990, cuando se la implementó mediante una serie de estándares conocidos con el nombre de Ethernet y las redes Ethernet continúan siendo una de los sistemas de red más populares que actualmente se utilizan. El origen de la topología en estrella se remonta a la década de 1970. Evolucionó a partir del paradigma de una computadora central de gran tamaño que presta servicio a múltiples usuarios. A medida que los terminales simples utilizados por dichos usuarios crecieron hasta convertirse ellos mismos en pequeñas computadoras, fueron emergiendo las redes en estrella. Hoy día, la configuración en estrella es popular en las redes inalámbricas, en las que la comunicación se lleva a cabo por medio de emisiones de radio y en los que la máquina central, denominada **punto de acceso** (AP, *Access Point*), sirve como punto focal en torno al cual se coordina toda la comunicación.

La diferencia entre una red en bus y otra en estrella no siempre resulta obvia examinando la disposición física de los equipos. La distinción radica en si las máquinas de la red se ven a sí mismas comunicándose directamente entre ellas a través del bus común, o indirectamente a través de una máquina central intermedia. Por ejemplo, una red en bus puede no tener el aspecto de un bus de gran tamaño al que las computadoras se conectan mediante cortos enlaces como se muestra en la Figura 4.1. En lugar de ello, podría tener un bus muy corto con largos enlaces hasta la máquinas individuales, lo que implica que la red podría tener un aspecto más similar al de una red en estrella. De hecho, en ocasiones, las redes en bus se crean tendiendo enlaces desde cada computadora a una ubicación central, donde los distintos enlaces se conectan a un dispositivo denominado **concentrador** (*hub*). Este concentrador, en realidad, no es más que una especie de bus muy corto. Todo lo que hace es reemitir cualquier señal que recibe, quizás con algo de amplificación (hacia todas las máquinas que están conectadas a él). El resultado es una red que parece tener una topología en estrella, pero que opera como una red en bus.

**Figura 4.1** Dos topologías de red populares.



## Protocolos

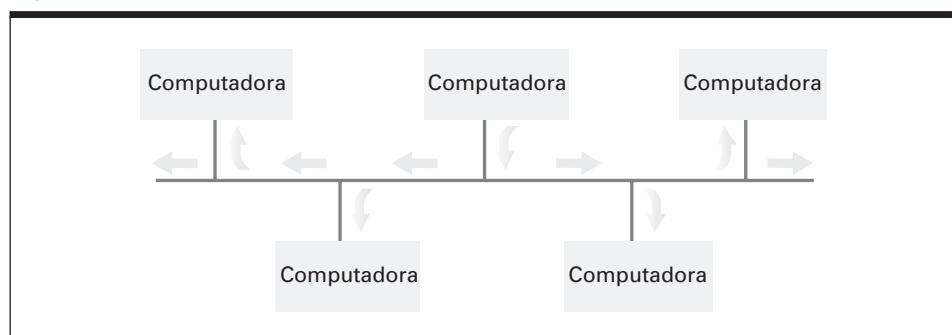
Para que una red funcione de forma fiable es importante establecer reglas a las que se ajusten todas las actividades. Tales reglas se denominan **protocolos**. Desarrollando y adoptando estándares de protocolo, los fabricantes son capaces de construir productos para aplicaciones de red que sean compatibles con productos de otros fabricantes. Por ello, el desarrollo de estándares de protocolo es un proceso indispensable para el avance de las tecnologías de red.

Como introducción al concepto de protocolo, consideremos el problema de la coordinación de la transmisión de mensajes entre las computadoras de una red. Sin reglas que gobiernen esta comunicación, todas las computadoras podrían insistir en transmitir los mensajes al mismo tiempo o podrían no proporcionar ayuda a otras máquinas cuando estas las requirieran.

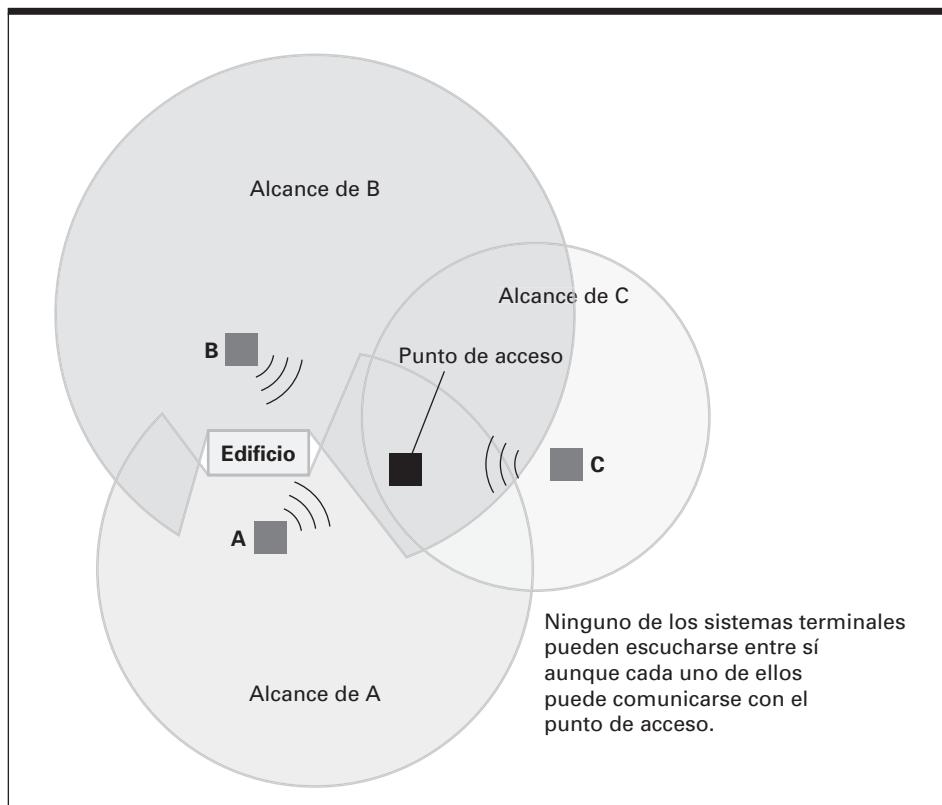
En una red en bus basada en los estándares Ethernet, el derecho de transmitir mensajes está controlado por el protocolo **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*, Acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisiones). Este protocolo dicta que todos los mensajes sean difundidos a todas las máquinas del bus (Figura 4.2). Cada máquina monitoriza todos los mensajes, pero solo se queda con aquellos que están dirigidos a ella. Para transmitir un mensaje, una máquina espera hasta que el bus esté en silencio, en cuyo momento comienza a transmitir mientras continúa monitorizando el bus. Si otra máquina comienza a transmitir también al mismo tiempo, las dos detectarán la colisión y harán una pausa durante un corto periodo de tiempo, de longitud aleatoria, antes de tratar de transmitir de nuevo. El resultado es un sistema similar al que un grupo de personas utilizaría en una conversación. Si dos personas comienzan a hablar al mismo tiempo, ambas se paran. La diferencia es que esas personas podrían enzarzarse en una serie de frases tales como, “Lo siento, ¿qué ibas a decir?”, “No, no. Tu primero”, mientras que con el protocolo CSMA/CD cada máquina simplemente vuelve a intentarlo más adelante.

Observe que CSMA/CD no es compatible con las redes inalámbricas en estrella, en la que todas las máquinas se comunican a través de un punto de acceso (AP) central. La razón es que una máquina puede no ser capaz de detectar que sus transmisiones están colisionando con las de otra. Por ejemplo, la máquina puede no escuchar a la otra porque su propia señal se superpone a la de la otra máquina. Otra causa podría ser que las señales de las distintas máquinas estén bloqueadas unas con respecto a otras debido a los objetos o la distan-

**Figura 4.2** Comunicación a través de una red en bus.



**Figura 4.3** El problema del terminal oculto.



cia existente, aun cuando todas las máquinas puedan comunicarse con el AP central (una condición que se conoce con el nombre de **problema del terminal oculto**, Figura 4.3). El resultado es que las redes inalámbricas adoptan la política de tratar de *evitar* las colisiones en lugar de tratar de *detectarlas*. Ese tipo de políticas se denominan **CSMA/CA** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*, Acceso múltiple por detección de portadora con evitación de colisiones), muchas de las cuales están estandarizados por IEEE (consulte el recuadro “IEEE, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos”, en el Capítulo 7) dentro de los protocolos definidos en la norma IEEE 802.11 y a los que comúnmente se les llama **WiFi**. Hay que recalcar que los protocolos de evitación de colisiones están diseñados para evitar las colisiones y pueden no eliminarlas completamente. En aquellos casos en que las colisiones llegan a producirse se hace necesario retransmitir los mensajes.

La técnica más común para la evitación de colisiones se basa en proporcionar ventaja a aquellas máquinas que ya han estado esperando a tener una oportunidad de transmitir. El protocolo utilizado es similar al CSMA/CD de Ethernet. La diferencia básica es que, cuando una máquina necesita por primera vez transmitir un mensaje y se encuentra con que el canal de comunicación está en silencio, no comienza a transmitir directamente. En lugar de ello, espera durante un periodo corto de tiempo y luego empieza a transmitir solo si el canal ha permanecido en silencio a lo largo de dicho periodo. Si se detecta un canal

## Ethernet

Ethernet es un conjunto de estándares que permiten implementar una red LAN con una topología en bus. Su nombre viene de su diseño Ethernet original en el que las máquinas se conectaban mediante un cable coaxial al que llamaban éter (ether). Originalmente desarrollado en la década de 1930 y ahora estandarizado por el IEEE como parte de la familia de estándares IEEE 802, Ethernet es uno de los métodos más comunes utilizados para conectar máquinas PC en red. De hecho, las controladoras Ethernet se han convertido en un componente estándar de los PC actualmente disponibles en el mercado de consumo.

Hoy día, existen en realidad varias versiones de Ethernet que reflejan los avances experimentados en la tecnología y la disponibilidad de tasas de transferencia más altas. Todos esos estándares comparten, sin embargo, una serie de características comunes que son distintivas de la familia Ethernet. Entre ellas están el formato con el que se empaquetan los datos para su transmisión, el uso de la codificación Manchester (un método de representar ceros y unos en el que un cero se representa mediante una señal descendente y un uno mediante una señal ascendente) para la transmisión de los bits y la utilización de CSMA/CD para el control del derecho a transmitir.

ocupado durante este proceso, la máquina espera durante un periodo de tiempo aleatorio antes de intentarlo de nuevo. Una vez transcurrido este periodo, se permite a la máquina apropiarse del canal silencioso sin ningún tipo de espera adicional. Esto significa que se evitan las colisiones entre los “recién llegados” y aquellos que ya han estado esperando, porque a un “recién llegado” no se le permite reclamar la utilización del canal silencioso hasta haber dado la oportunidad de comenzar a las otras máquinas que puedan haber estado esperando.

Sin embargo, este protocolo no resuelve el problema del terminal oculto. Después de todo, cualquier protocolo basado en distinguir entre un canal silencioso y otro ocupado requiere que cada estación individual sea capaz de escuchar a todas las demás. Para solucionar este problema, algunas redes WiFi requieren que cada máquina envíe un mensaje de “solicitud” corto al punto de acceso y espere hasta que el punto de acceso confirme dicha solicitud antes de transmitir el mensaje completo. Si el punto de acceso está ocupado porque está comunicándose con un terminal oculto, ignorará la solicitud y la máquina solicitante sabrá que tiene que esperar. En caso contrario, el punto de acceso confirmará la solicitud y la máquina sabrá que puede transmitir sin ningún problema. Observe que todas las máquinas de la red podrán escuchar las confirmaciones enviadas desde el punto de acceso y, por tanto, tendrán una idea correcta de si el punto de acceso está ocupado en un momento determinado, aún cuando ellas mismas no puedan escuchar las transmisiones que están teniendo lugar.

## Combinación de redes

En ocasiones, es necesario conectar redes existentes para formar un sistema de comunicaciones más amplio. Esto se puede hacer conectando las redes para formar una versión de mayor tamaño del mismo “tipo” de red. Por ejemplo, en el caso de redes en bus basadas en los protocolos Ethernet, a menudo es posible

2. Indique la diferencia entre puente y conmutador.
3. ¿Qué es un encaminador?
4. Identifique algunas relaciones sociales que se ajusten al modelo cliente/servidor.
5. Identifique algunos de los protocolos utilizados en la sociedad.
6. Resuma la distinción entre computación en cluster y computación en retícula.

## 4.2 Internet

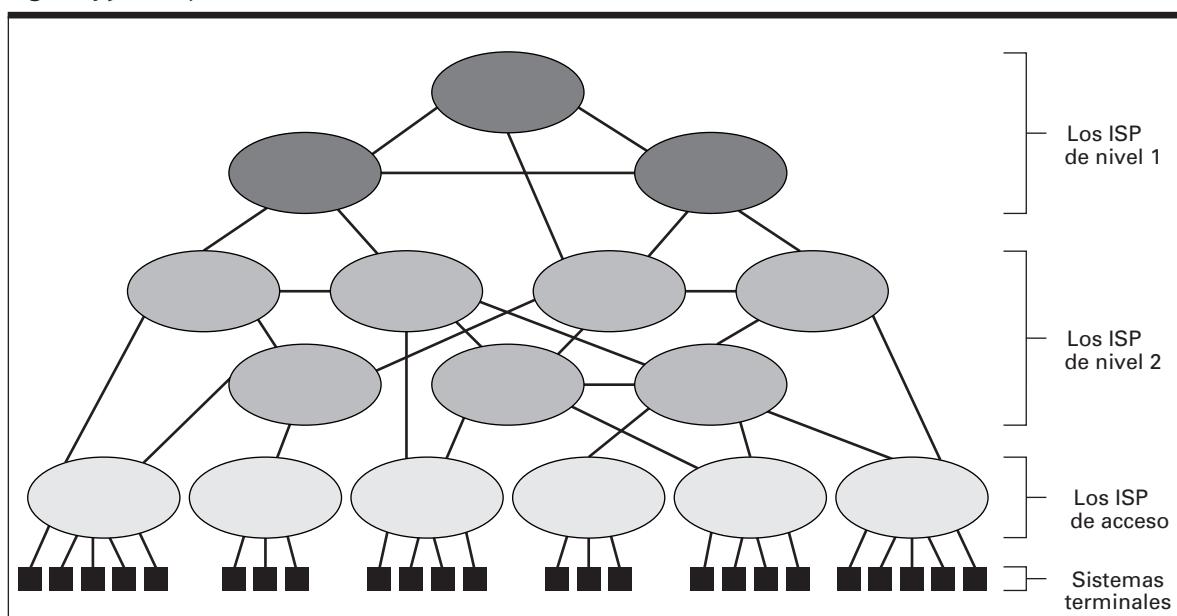
El ejemplo más notable de interred es **Internet**, que tiene su origen en una serie de proyectos de investigación que datan de principios de la década de 1960. El objetivo era desarrollar la capacidad de enlazar diversas redes de computadoras, para que pudieran funcionar como un sistema conectado que no se viera afectado en su operación global por desastres de escala local. Buena parte de este trabajo estaba patrocinado por el gobierno de Estados Unidos a través de la agencia DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, Agencia de Proyectos Avanzados de Investigación para la Defensa). A lo largo de los años, el desarrollo de Internet fue pasando de ser un proyecto patrocinado por el gobierno a un proyecto académico de investigación y actualmente es, en buena medida, un esfuerzo de carácter comercial que enlaza una combinación mundial de redes LAN, MAN y WAN que abarcan a millones de computadoras.

### Arquitectura de Internet

Como ya hemos mencionado, Internet es un conjunto de redes conectadas. En general, estas redes son construidas y mantenidas por organizaciones denominadas **Proveedores de servicios de Internet** (ISP, *Internet Service Provider*). También resulta bastante común utilizar el término ISP para hacer referencia a las propias redes. Así, podemos utilizar expresiones como conectarse a un ISP, cuando lo que realmente queremos decir es conectarse a la red proporcionada por un ISP.

El sistemas de redes operado por los ISP puede clasificarse en una jerarquía de acuerdo con el papel que desempeñan en la estructura global de Internet (Figura 4.7). En la parte superior de esta jerarquía se encuentra un número relativamente pequeño de proveedores **ISP de nivel 1**, que están compuestos por redes WAN internacionales de alta velocidad y alta capacidad. Estas redes se consideran la red troncal de Internet. Normalmente, son operadas por grandes empresas que trabajan en el sector de las comunicaciones. Un ejemplo sería una empresa cuyo origen fuera el de una empresa de telefonía tradicional que hubiera expandido su ámbito de actuación para proporcionar otros servicios de comunicaciones.

Conectados a los ISP de nivel 1 se encuentran los **ISP de nivel 2**, que tienden a tener un ámbito más regional y que son menos potentes en lo que a sus capacidades se refiere (la distinción entre los ISP de nivel 1 y nivel 2 es, a menudo, una cuestión debatible). De nuevo, estas redes tienden a ser operadas por empresas que pertenecen al sector de las comunicaciones.

**Figura 4.7** Composición de Internet.

Los ISP de nivel 1 y nivel 2 son básicamente redes de encaminadores que proporcionan de manera colectiva la infraestructura de comunicaciones de Internet. Teniendo en cuenta el papel que desempeñan podemos considerar que representan el auténtico núcleo de Internet. El acceso a este núcleo suele ser proporcionado por un intermediario denominado ISP de acceso. Un **ISP de acceso** es esencialmente una interred independiente, en ocasiones denominada **intranet**, operada por una única autoridad cuyo negocio consiste en suministrar acceso a Internet a los usuarios individuales. Como ejemplos podríamos citar empresas tales como AOL, Microsoft y las empresas locales de telefonía y cable que facturan por su servicio, además a algunas otras organizaciones como universidades o corporaciones, que se encargan de proporcionar acceso a Internet a los individuos que forman parte de sus organizaciones.

Los dispositivos con los que los usuarios individuales se conectan a los ISP de acceso se conocen con el nombre de **sistemas terminales**, **hosts** o **anfitriones**. Estos sistemas terminales no necesariamente son computadoras en el sentido tradicional de la palabra. Existe un amplio rango de dispositivos que pueden actuar como sistemas terminales incluyendo teléfonos, videocámaras, automóviles y electrodomésticos. Después de todo, Internet es esencialmente un sistema de comunicaciones, por lo que cualquier dispositivo que pudiera beneficiarse de la comunicación con otros dispositivos sería un sistema terminal en potencia.

La tecnología mediante la cual los sistemas terminales se conectan a los ISP de acceso también es muy variable. Quizá el tipo que más rápidamente está creciendo son las conexiones inalámbricas basadas en la tecnología WiFi. La estrategia consiste en conectar el punto de acceso de la red WiFi a un ISP de acceso, proporcionando así acceso a Internet a través de ese ISP a los sistemas terminales que se encuentran dentro del alcance de las emisiones del punto de acceso de

la red WiFi. El área de la zona de cobertura del punto de acceso de la red WiFi en la cual se proporciona acceso a Internet se suele denominar **punto caliente**. Los puntos calientes y las agrupaciones de puntos calientes son cada vez más comunes, pudiendo encontrarse en domicilios particulares, en hoteles, edificios de oficinas, pequeñas empresas, aparcamientos y en algunos casos, ciudades enteras. Una tecnología similar es la que se emplea en el sector de la telefonía móvil en la que los puntos calientes se conocen con el nombre de celdas y los “encaminadores” que generan las celdas se coordinan para proporcionar un servicio continuo, a medida que un sistema terminal se desplaza de una celda a otra.

Otras técnicas populares para la conexión con los ISP de acceso utilizan líneas telefónicas o sistemas por cable/satélite. Estas tecnologías pueden emplearse para proporcionar conexión directa a un sistema terminal o al encaminador de un cliente, al cual se conectarán múltiples sistemas terminales. Esta última táctica está siendo cada vez más popular en el mercado residencial, en el que se crea un punto caliente local en un domicilio mediante un encaminador/punto de acceso conectado a un ISP de acceso a través de las líneas telefónicas o de cable ya existentes.

Los enlaces por cable y vía satélite ya existentes son inherentemente más compatibles con la transferencia de datos a alta velocidad que las líneas telefónicas tradicionales, que se instalaron originalmente teniendo presentes las necesidades de la comunicación por voz. Sin embargo, se han desarrollado varios esquemas muy inteligentes para ampliar esos enlaces de voz con el fin de admitir la transmisión de datos digitales. Estas soluciones hacen uso de unos dispositivos denominados **modems** (modulador/demodulador) que convierten los datos digitales que hay transferir a un formato compatible con el medio de transmisión que se está utilizando. Un ejemplo sería **DSL** (*Digital Subscriber Line*, Línea digital de abonado) en donde se reserva el rango de frecuencias situado por debajo de 4 KHz (4 kilociclos por segundo) para la comunicación tradicional por voz, mientras que las frecuencias más altas se emplean para la transferencia de datos digitales. Otro enfoque más antiguo consiste en convertir los datos digitales en sonido y transmitir dicho sonido de la misma forma que se hace con la voz. Esta solución se conoce como acceso **telefónico**, en referencia al hecho de que se utiliza para conexiones temporales en las que el usuario establece una llamada telefónica tradicional con el encaminador del ISP y luego conecta su teléfono al sistema terminal que va a emplear. Aunque se trata de una solución barata y de alta disponibilidad, el acceso telefónico proporciona una tasa de transferencia de datos relativamente lenta, lo que hace que cada vez sea menos capaz de gestionar las aplicaciones Internet actuales, que tienden a depender de la comunicación de vídeo en tiempo real y de la transmisión de grandes bloques de datos. Debido a ello, un número creciente de pequeñas empresas y de domicilios particulares se conectan a sus ISP de acceso mediante tecnologías de banda ancha, incluyendo conexiones de televisión por cable, líneas telefónicas de datos dedicadas, antenas de comunicación vía satélite e incluso cables de fibra óptica.

## Direccionamiento Internet

Como hemos visto en la Sección 4.1, una interred necesita un sistema de direccionamiento global que asigne una dirección única de identificación a cada

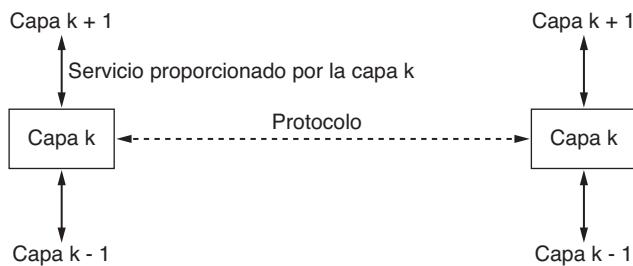
## Internet2

Ahora que Internet ha pasado de ser un proyecto de investigación a un producto de consumo doméstico, la comunidad científica ha pasado a centrar su atención en un proyecto denominado Internet2. Internet2 está pensado como un sistema únicamente académico e implica a numerosas universidades, que trabajan en colaboración con empresas y con el gobierno. El objetivo es llevar a cabo una serie de investigaciones en aplicaciones interred que requieren comunicación de banda ancha, como por ejemplo el control y acceso remoto a costosos equipos avanzados, como pueden ser telescopios y dispositivos de diagnóstico médico. Un ejemplo de esos proyectos actuales de investigación implica la cirugía remota realizada por una serie de manos robóticas que remedian las manos de un cirujano distante que observa al paciente por video. Si desea obtener más información acerca de Internet2 consulte <http://www.internet2.org>.

computadora del sistema. En Internet, estas direcciones se conocen con el nombre de **direcciones IP**; el término *IP* hace referencia a “Internet Protocol” (Protocolo Internet), que es un término sobre el que hablaremos en la Sección 4.4. Originalmente, cada dirección IP era un patrón de 32 bits, pero para proporcionar un conjunto mayor de direcciones, actualmente está en marcha el proceso de conversión a direcciones de 128 bits (consulte las explicaciones acerca de IPv6 en la Sección 4.4). **ICANN** (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*, Corporación Internet para la asignación de nombres y números), que es una organización sin ánimo de lucro establecida para coordinar el funcionamiento de Internet, se encarga de asignar a los ISP bloques de direcciones IP con numeración consecutiva. A los ISP se les permite entonces asignar las direcciones de los bloques que tienen concedidos a una serie de máquinas situadas dentro de su región de autoridad. De ese modo, se asignan direcciones IP unívocas a todas las máquinas de Internet.

Las direcciones IP se escriben tradicionalmente en **notación decimal con puntos** en la que los bytes de la dirección se separan mediante puntos y cada byte se expresa como un entero representado en notación tradicional de base diez. Por ejemplo, con la notación decimal con puntos, el patrón 5.2 representaría el patrón de dos bytes de longitud 0000010100000010, que está compuesto por el byte 00000101 (representado por el 5) seguido del byte 00000010 (representado por el 2). Por su parte, el patrón 17.12.25 representa un patrón de tres bytes de longitud compuesto por el byte 00010001 (que es 17 en notación binaria), seguido del byte 0001100 (12 en binario) y seguido del byte 00011001 (25 en binario). En resumen, una dirección IP de 32 bits podría aparecer escrita como 192.207.177.133 al ser expresada en notación decimal con puntos.

Las direcciones expresadas como un patrón de bits (incluso cuando se las comprime utilizando la notación decimal con puntos) no se prestan mucho a su manipulación por parte de los seres humanos. Por esta razón, Internet dispone de un sistema de direccionamiento alternativo en el que las máquinas se identifican mediante nombres mnemónicos. Este sistema de direccionamiento está basado en el concepto de **dominio**, que puede considerarse como una “región” de Internet operada por una única autoridad, como por ejemplo una universidad, un club, una empresa o un organismo gubernamental (ponemos entre



**Figura 1-19.** La relación entre un servicio y un protocolo.

Vale la pena mencionar una analogía con los lenguajes de programación. Un servicio es como un tipo de datos abstracto o un objeto en un lenguaje orientado a objetos. Define las operaciones que se pueden realizar en un objeto, pero no especifica cómo se implementan estas operaciones. En contraste, un protocolo se relaciona con la *implementación* del servicio y como tal, no es visible al usuario del mismo.

Muchos protocolos antiguos no diferenciaban el servicio del protocolo. En efecto, una capa típica podría tener una primitiva de servicio SEND PACKET en donde el usuario proporcionaba un apuntador hacia un paquete completamente ensamblado. Este arreglo significaba que los usuarios podían ver de inmediato todos los cambios en el protocolo. Ahora, la mayoría de los diseñadores de redes consideran dicho diseño como un error garrafal.

## 1.4 MODELOS DE REFERENCIA

Ahora que hemos analizado en lo abstracto las redes basadas en capas, es tiempo de ver algunos ejemplos. Analizaremos dos arquitecturas de redes importantes: el modelo de referencia OSI y el modelo de referencia TCP/IP. Aunque ya casi no se utilizan los *protocolos* asociados con el modelo OSI, el *modelo* en sí es bastante general y sigue siendo válido; asimismo, las características en cada nivel siguen siendo muy importantes. El modelo TCP/IP tiene las propiedades opuestas: el modelo en sí no se utiliza mucho, pero los protocolos son usados ampliamente. Por esta razón veremos ambos elementos con detalle. Además, algunas veces podemos aprender más de los fracasos que de los éxitos.

### 1.4.1 El modelo de referencia OSI

El modelo OSI se muestra en la figura 1-20 (sin el medio físico). Este modelo se basa en una propuesta desarrollada por la Organización Internacional de Normas (ISO) como el primer paso hacia la estandarización internacional de los protocolos utilizados en las diversas capas (Day y Zimmerman, 1983). Este modelo se revisó en 1995 (Day, 1995) y se le llama **Modelo de referencia OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos**, del inglés *Open Systems Interconnection*) de la ISO puesto que se ocupa de la conexión de sistemas abiertos; esto es, sistemas que están abiertos a la comunicación con otros sistemas. Para abreviar, lo llamaremos **modelo OSI**.

El modelo OSI tiene siete capas. Los principios que se aplicaron para llegar a las siete capas se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Se debe crear una capa en donde se requiera un nivel diferente de abstracción.
2. Cada capa debe realizar una función bien definida.
3. La función de cada capa se debe elegir teniendo en cuenta la definición de protocolos estandarizados internacionalmente.

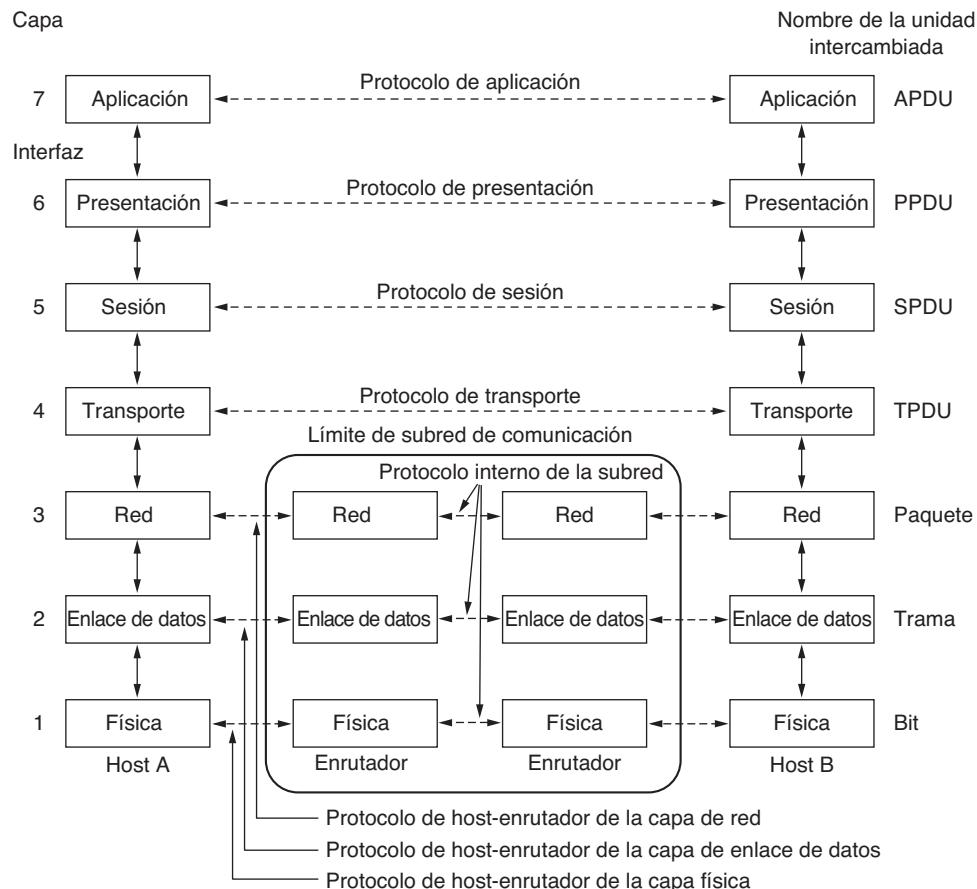


Figura 1-20. El modelo de referencia OSI.

4. Es necesario elegir los límites de las capas de modo que se minimice el flujo de información a través de las interfaces.
5. La cantidad de capas debe ser suficiente como para no tener que agrupar funciones distintas en la misma capa; además, debe ser lo bastante pequeña como para que la arquitectura no se vuelva inmanejable.

A continuación estudiaremos cada capa del modelo en orden, empezando por la capa inferior. Tenga en cuenta que el modelo OSI en sí no es una arquitectura de red, ya que no especifica los servicios y protocolos exactos que se van a utilizar en cada capa. Sólo indica lo que una debe hacer. Sin embargo, la ISO también ha elaborado estándares para todas las capas, aunque no son parte del modelo de referencia en sí. Cada uno se publicó como un estándar internacional separado. Aunque el *modelo* (en parte) es muy usado, los protocolos asociados han estado en el olvido desde hace tiempo.

### La capa física

La **capa física** se relaciona con la transmisión de bits puros a través de un canal de transmisión. Los aspectos de diseño tienen que ver con la acción de asegurarse que cuando uno de los lados envíe un bit 1 el otro lado lo reciba como un bit 1, no como un bit 0. En este caso las preguntas típicas son: ¿que señales

eléctricas se deben usar para representar un 1 y un 0?, ¿cuántos nanosegundos dura un bit?, ¿la transmisión puede proceder de manera simultánea en ambas direcciones?, ¿cómo se establece la conexión inicial y cómo se interrumpe cuando ambos lados han terminado?, ¿cuántos pines tiene el conector de red y para qué sirve cada uno? Los aspectos de diseño tienen que ver con las interfaces mecánica, eléctrica y de temporización, así como con el medio de transmisión físico que se encuentra bajo la capa física.

### La capa de enlace de datos

La principal tarea de la **capa de enlace de datos** es transformar un medio de transmisión puro en una línea que esté libre de errores de transmisión. Enmascara los errores reales, de manera que la capa de red no los vea. Para lograr esta tarea, el emisor divide los datos de entrada en **tramas de datos** (por lo general, de algunos cientos o miles de bytes) y transmite las tramas en forma secuencial. Si el servicio es confiable, para confirmar la recepción correcta de cada trama, el receptor devuelve una **trama de confirmación de recepción**.

Otra cuestión que surge en la capa de enlace de datos (y en la mayoría de las capas superiores) es cómo evitar que un transmisor rápido inunde de datos a un receptor lento. Tal vez sea necesario algún mecanismo de regulación de tráfico para notificar al transmisor cuando el receptor puede aceptar más datos.

Las redes de difusión tienen una consideración adicional en la capa de enlace de datos: cómo controlar el acceso al canal compartido. Una subcapa especial de la capa de enlace de datos, conocida como subcapa de **control de acceso al medio**, es la que se encarga de este problema.

### La capa de red

La **capa de red** controla la operación de la subred. Una cuestión clave de diseño es determinar cómo se encaminan los paquetes desde el origen hasta el destino. Las rutas se pueden basar en tablas estáticas que se “codifican” en la red y rara vez cambian, aunque es más común que se actualicen de manera automática para evitar las fallas en los componentes. También se pueden determinar el inicio de cada conversación; por ejemplo, en una sesión de terminal al iniciar sesión en una máquina remota. Por último, pueden ser muy dinámicas y determinarse de nuevo para cada paquete, de manera que se pueda reflejar la carga actual en la red.

Si hay demasiados paquetes en la subred al mismo tiempo, se interpondrán en el camino unos con otros y formarán cuellos de botella. El manejo de la congestión también es responsabilidad de la capa de red, en conjunto con las capas superiores que adaptan la carga que colocan en la red. Otra cuestión más general de la capa de red es la calidad del servicio proporcionado (retardo, tiempo de tránsito, variaciones, etcétera).

Cuando un paquete tiene que viajar de una red a otra para llegar a su destino, pueden surgir muchos problemas. El direccionamiento utilizado por la segunda red puede ser distinto del que utiliza la primera. La segunda red tal vez no acepte el paquete debido a que es demasiado grande. Los protocolos pueden ser diferentes, etc. Es responsabilidad de la capa de red solucionar todos estos problemas para permitir la interconexión de redes heterogéneas.

En las redes de difusión, el problema de encaminamiento es simple, por lo que con frecuencia la capa de red es delgada o incluso inexistente.

### La capa de transporte

La función básica de la **capa de transporte** es aceptar datos de la capa superior, dividirlos en unidades más pequeñas si es necesario, pasar estos datos a la capa de red y asegurar que todas las piezas lleguen

correctamente al otro extremo. Además, todo esto se debe realizar con eficiencia y de una manera que aisle las capas superiores de los inevitables cambios en la tecnología de hardware que se dan con el transcurso del tiempo.

La capa de transporte también determina el tipo de servicio que debe proveer a la capa de sesión y, en última instancia, a los usuarios de la red. El tipo más popular de conexión de transporte es un canal punto a punto libre de errores que entrega los mensajes o bytes en el orden en el que se enviaron. Sin embargo existen otros posibles tipos de servicio de transporte, como el de mensajes aislados sin garantía sobre el orden de la entrega y la difusión de mensajes a múltiples destinos. El tipo de servicio se determina al establecer la conexión (cabe mencionar que es imposible lograr un canal libre de errores; lo que se quiere decir en realidad con este término es que la tasa de errores es lo bastante baja como para ignorarla en la práctica).

La capa de transporte es una verdadera capa de extremo a extremo; lleva los datos por toda la ruta desde el origen hasta el destino. En otras palabras, un programa en la máquina de origen lleva a cabo una conversación con un programa similar en la máquina de destino mediante el uso de los encabezados en los mensajes y los mensajes de control. En las capas inferiores cada uno de los protocolos está entre una máquina y sus vecinos inmediatos, no entre las verdaderas máquinas de origen y de destino, que pueden estar separadas por muchos enrutadores. En la figura 1-20 se muestra la diferencia entre las capas de la 1 a la 3, que están encadenadas, y entre las capas de la 4 a la 7, que son de extremo a extremo.

### La capa de sesión

La capa de sesión permite a los usuarios en distintas máquinas establecer **sesiones** entre ellos. Las sesiones ofrecen varios servicios, incluyendo el **control del diálogo** (llevar el control de quién va a transmitir), el **manejo de tokens** (evitar que dos partes intenten la misma operación crítica al mismo tiempo) y la **sincronización** (usar puntos de referencia en las transmisiones extensas para reanudar desde el último punto de referencia en caso de una interrupción).

### La capa de presentación

A diferencia de las capas inferiores, que se enfocan principalmente en mover los bits de un lado a otro, la **capa de presentación** se enfoca en la sintaxis y la semántica de la información transmitida. Para hacer posible la comunicación entre computadoras con distintas representaciones internas de datos, podemos definir de una manera abstracta las estructuras de datos que se van a intercambiar, junto con una codificación estándar que se use “en el cable”. La capa de presentación maneja estas estructuras de datos abstractas y permite definir e intercambiar estructuras de datos de mayor nivel (por ejemplo, registros bancarios).

### La capa de aplicación

La **capa de aplicación** contiene una variedad de protocolos que los usuarios necesitan con frecuencia. Un protocolo de aplicación muy utilizado es **HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto**, del inglés *HyperText Transfer Protocol*), el cual forma la base para la World Wide Web. Cuando un navegador desea una página web, envía el nombre de la página que quiere al servidor que la hospeda mediante el uso de HTTP. Después el servidor envía la página de vuelta. Hay otros protocolos de aplicación que se utilizan para transferir archivos, enviar y recibir correo electrónico y noticias.

## 1.4.2 El modelo de referencia TCP/IP

Pasemos ahora del modelo de referencia OSI al modelo de referencia que se utiliza en la más vieja de todas las redes de computadoras de área amplia: ARPANET y su sucesora, Internet. Aunque más adelante veremos una breve historia de ARPANET, es conveniente mencionar ahora unos cuantos aspectos de esta red. ARPANET era una red de investigación patrocinada por el **DoD (Departamento de Defensa de Estados Unidos)**, del inglés *U.S. Department of the Defense*). En un momento dado llegó a conectar cientos de universidades e instalaciones gubernamentales mediante el uso de líneas telefónicas rentadas. Cuando después se le unieron las redes de satélites y de radio, los protocolos existentes tuvieron problemas para interactuar con ellas, de modo que se necesitaba una nueva arquitectura de referencia. Así, casi desde el principio la habilidad de conectar varias redes sin problemas fue uno de los principales objetivos de diseño. Posteriormente esta arquitectura se dio a conocer como el **Modelo de referencia TCP/IP**, debido a sus dos protocolos primarios. Este modelo se definió por primera vez en Cerf y Kahn (1974); después se refinó y definió como estándar en la comunidad de Internet (Braden, 1989). Clark (1988) describe la filosofía de diseño detrás de este modelo.

Debido a la preocupación del DoD de que alguno de sus valiosos hosts, enrutadores y puertas de enlace de interredes pudieran ser volados en pedazos en cualquier momento por un ataque de la antigua Unión Soviética, otro de los objetivos principales fue que la red pudiera sobrevivir a la pérdida de hardware de la subred sin que se interrumpieran las conversaciones existentes. En otras palabras, el DoD quería que las conexiones permanecieran intactas mientras las máquinas de origen y de destino estuvieran funcionando, incluso aunque algunas de las máquinas o líneas de transmisión en el trayecto dejaran de funcionar en forma repentina. Además, como se tenían en mente aplicaciones con requerimientos divergentes que abarcaban desde la transferencia de archivos hasta la transmisión de voz en tiempo real, se necesitaba una arquitectura flexible.

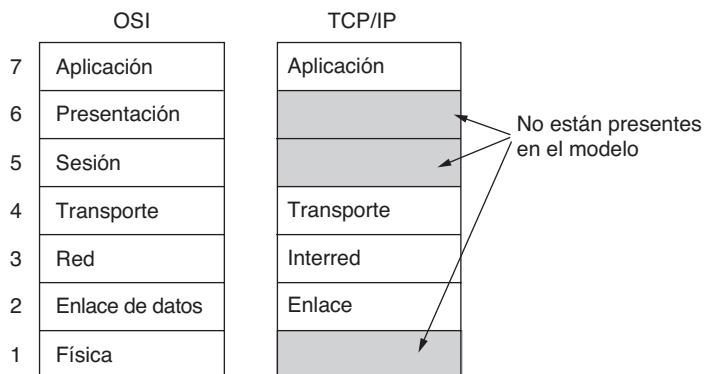
### La capa de enlace

Todos estos requerimientos condujeron a la elección de una red de commutación de paquetes basada en una capa sin conexión que opera a través de distintas redes. La capa más baja en este modelo es la **capa de enlace**; ésta describe qué enlaces (como las líneas seriales y Ethernet clásica) se deben llevar a cabo para cumplir con las necesidades de esta capa de interred sin conexión. En realidad no es una capa en el sentido común del término, sino una interfaz entre los hosts y los enlaces de transmisión. El primer material sobre el modelo TCP/IP tiene poco que decir sobre ello.

### La capa de interred

Esta capa es el eje que mantiene unida a toda la arquitectura. Aparece en la figura 1-21 con una correspondencia aproximada a la capa de red de OSI. Su trabajo es permitir que los hosts inyecten paquetes en cualquier red y que viajen de manera independiente hacia el destino (que puede estar en una red distinta). Incluso pueden llegar en un orden totalmente diferente al orden en que se enviaron, en cuyo caso es responsabilidad de las capas más altas volver a ordenarlos, si se desea una entrega en orden. Tenga en cuenta que aquí utilizamos “interred” en un sentido genérico, aunque esta capa esté presente en la Internet.

La analogía aquí es con el sistema de correos convencional (lento). Una persona puede dejar una secuencia de cartas internacionales en un buzón en un país y, con un poco de suerte, la mayoría de ellas se entregarán a la dirección correcta en el país de destino. Es probable que las cartas pasen a través de una o más puertas de enlace de correo internacionales en su trayecto, pero esto es transparente a los usuarios. Además, los usuarios no necesitan saber que cada país (es decir, cada red) tiene sus propias estampillas, tamaños de sobre preferidos y reglas de entrega.



**Figura 1-21.** El modelo de referencia TCP/IP.

La capa de interred define un formato de paquete y un protocolo oficial llamado **IP (Protocolo de Internet)**, del inglés *Internet Protocol*, además de un protocolo complementario llamado **ICMP (Protocolo de Mensajes de Control de Internet)**, del inglés *Internet Control Message Protocol* que le ayuda a funcionar. La tarea de la capa de interred es entregar los paquetes IP a donde se supone que deben ir. Aquí el ruteo de los paquetes es sin duda el principal aspecto, al igual que la congestión (aunque el IP no ha demostrado ser efectivo para evitar la congestión).

### La capa de transporte

Por lo general, a la capa que está arriba de la capa de interred en el modelo TCP/IP se le conoce como **capa de transporte**; y está diseñada para permitir que las entidades pares, en los nodos de origen y de destino, lleven a cabo una conversación, al igual que en la capa de transporte de OSI. Aquí se definieron dos protocolos de transporte de extremo a extremo. El primero, **TCP (Protocolo de Control de la Transmisión)**, del inglés *Transmission Control Protocol*, es un protocolo confiable orientado a la conexión que permite que un flujo de bytes originado en una máquina se entregue sin errores a cualquier otra máquina en la interred. Este protocolo segmenta el flujo de bytes entrante en mensajes discretos y pasa cada uno a la capa de interred. En el destino, el proceso TCP receptor vuelve a ensamblar los mensajes recibidos para formar el flujo de salida. El TCP también maneja el control de flujo para asegurar que un emisor rápido no pueda inundar a un receptor lento con más mensajes de los que pueda manejar.

El segundo protocolo en esta capa, **UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario)**, del inglés *User Datagram Protocol*, es un protocolo sin conexión, no confiable para aplicaciones que no desean la asignación de secuencia o el control de flujo de TCP y prefieren proveerlos por su cuenta. También se utiliza mucho en las consultas de petición-respuesta de una sola ocasión del tipo cliente-servidor, y en las aplicaciones en las que es más importante una entrega oportuna que una entrega precisa, como en la transmisión de voz o video. En la figura 1-22 se muestra la relación entre IP, TCP y UDP. Desde que se desarrolló el modelo, el IP se ha implementado en muchas otras redes.

### La capa de aplicación

El modelo TCP/IP no tiene capas de sesión o de presentación, ya que no se consideraron necesarias. Las aplicaciones simplemente incluyen cualquier función de sesión y de presentación que requieran. La experiencia con el modelo OSI ha demostrado que esta visión fue correcta: estas capas se utilizan muy poco en la mayoría de las aplicaciones.

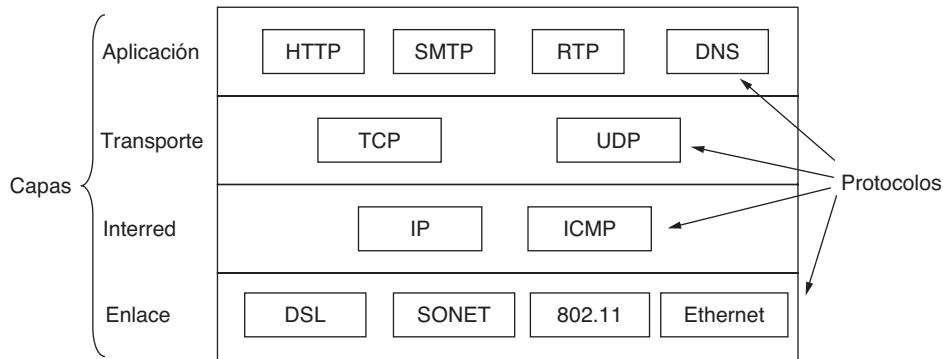


Figura 1-22. El modelo TCP/IP con algunos de los protocolos.

Encima de la capa de transporte se encuentra la **capa de aplicación**. Ésta contiene todos los protocolos de alto nivel. Entre los primeros protocolos están el de terminal virtual (TELNET), transferencia de archivos (FTP) y correo electrónico (SMTP). A través de los años se han agregado muchos otros protocolos. En la figura 1-22 se muestran algunos de los más importantes que veremos más adelante: el Sistema de nombres de dominio (DNS) para resolución de nombres de hosts a sus direcciones de red; HTTP, el protocolo para recuperar páginas de la World Wide Web; y RTP, el protocolo para transmitir medios en tiempo real, como voz o películas.

### 1.4.3 El modelo utilizado en este libro

Como dijimos antes, la fortaleza del modelo de referencia OSI es el *modelo* en sí (excepto las capas de presentación y de sesión), el cual ha demostrado ser excepcionalmente útil para hablar sobre redes de computadoras. En contraste, la fortaleza del modelo de referencia TCP/IP son los *protocolos*, que se han utilizado mucho durante varios años. Como a los científicos de computadoras les gusta hacer sus propias herramientas, utilizaremos el modelo híbrido de la figura 1-23 como marco de trabajo para este libro.



Figura 1-23. El modelo de referencia que usaremos en este libro.

Este modelo tiene cinco capas, empezando por la capa física, pasando por las capas de enlace, red y transporte hasta llegar a la capa de aplicación. La capa física especifica cómo transmitir bits a través de distintos tipos de medios como señales eléctricas (u otras señales analógicas). La capa de enlace trata sobre cómo enviar mensajes de longitud finita entre computadoras conectadas de manera directa con niveles específicos de confiabilidad. Ethernet y 802.11 son ejemplos de protocolos de capa de enlace.