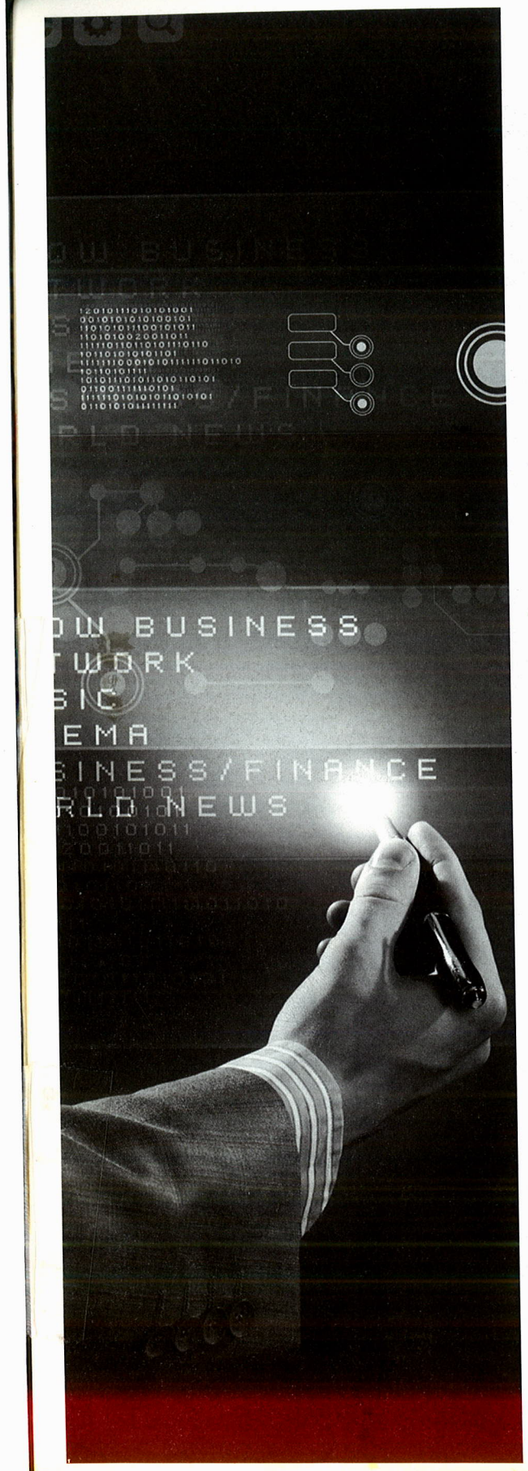
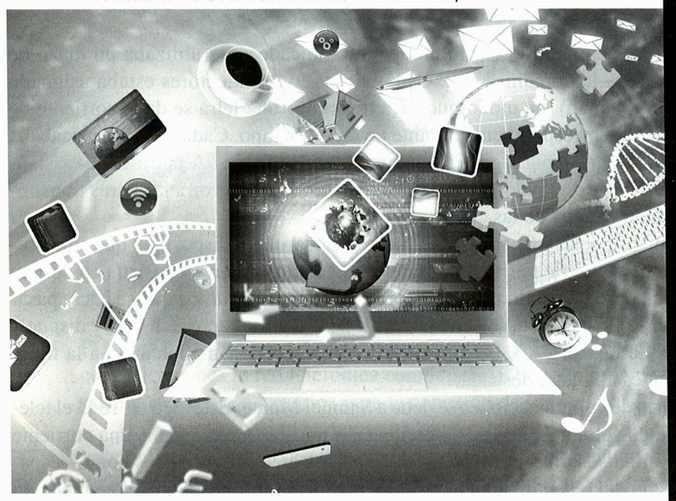


La primera parte del libro versa sobre el estudio de cuestiones más o menos generales que conforman las bases necesarias para comprender qué es y cómo funciona una red de computadores. Desde este punto de vista, si bien a lo largo de los distintos temas se hará referencia concreta a los modelos de red OSI y TCP/IP, la razón para ello no es tanto el desarrollo en sí de los mismos (sin duda importante) como la de poner ejemplos de los distintos aspectos presentados en cada uno de los capítulos a través del estudio de protocolos reales que siguen los mencionados modelos.

El esquema de esta primera parte es como sigue. El Capítulo 1 presenta una introducción al área de las redes de computadores, planteándose conceptos básicos y situando en contexto el resto de los temas. Comenzando desde abajo el estudio de la implementación en capas de una red, el Capítulo 2 aborda el análisis de las funciones propias de la capa física, relativas a la transmisión de datos desde el punto de vista de la naturaleza eléctrica de la señal que sustenta la información. A lo largo del Capítulo 3 se aborda el estudio de diversas técnicas que permiten un acceso ordenado al medio de las estaciones finales que forman parte del mismo, tras lo cual, en el Capítulo 4, dentro de la capa de enlace, se discuten las funciones de control de errores y de flujo así como su implementación en algunos protocolos reales concretos.

Como aplicación directa de lo estudiado en los capítulos previos, el Capítulo 5 introduce los fundamentos de las redes de área local (LAN), presentándose diversos estándares y tecnologías de uso actual. También se presentarán en este tema tecnologías de acceso de uso generalizado que posibilitan la interconexión de las redes de usuario a Internet. A lo largo del Capítulo 6, dentro de la capa de red, se analizan cuestiones de enorme importancia en el contexto de las redes de área amplia (WAN) tales como la conmutación y el encaminamiento. En este tema también se estudia la interconexión de redes, lo que hace posible la conectividad global. Para concluir el análisis de los servicios proporcionados por la capa de red, en el Capítulo 7 se discute el control de tráfico y de congestión, haciéndose referencia a un concepto de gran relevancia actual: la calidad de servicio, o QoS («Quality of Service»).



CAPÍTULO 1

1.1. Sistemas de comunicación y redes de computadores
1.2. Estructura de las redes
1.3. Diseño y estandarización de redes: modelos de referencia OSI y TCP/IP
1.4. Terminología y servicios
1.5. Ejemplos de redes

INTRODUCCIÓN

Una de las facetas que diferencia al ser humano del resto de los animales es su capacidad para comunicarse con sus semejantes. Esta comunicación solo podía realizarse de forma efectiva en un principio mediante la voz. A medida que el conocimiento fue aumentando se hizo necesario disponer de medios para almacenar la información de manera permanente, así como para su envío a ubicaciones distantes. Nació de esta forma la escritura y, asociados a ella, los primeros sistemas de comunicación basados en el envío de mensajes escritos, que habían de ser transportados físicamente hasta los destinatarios.

Con el paso del tiempo no solo era preciso transmitir la información entre puntos distantes, sino que era importante hacerlo en el menor tiempo posible. La posibilidad de comunicar mensajes con gran fiabilidad en un tiempo muy breve era algo que especialmente los estrategas militares apreciaban sobremanera, pues así no tenían que depender de los lentos correos a caballo. De esta forma, podemos encontrar descritos sistemas de comunicaciones basados en el uso de banderas o señales luminosas que permitían, por ejemplo, alertar de la presencia o posición de tropas hostiles en un territorio en un tiempo reducido y sin necesidad de desplazamientos físicos. Para que la información llegase a su destino, se desplegaban sistemas de torres vigía que, a modo de modernos conmutadores, iban retransmitiendo el mensaje, constituyendo, por tanto, redes de comunicaciones.

El uso de la electricidad en las comunicaciones supuso un hito en la evolución de estas. Dos son las razones básicas para ello: (a) los conductores eléctricos forman un canal de transmisión muy rápido y relativamente exento de ruido y (b) un sistema eléctrico es mucho más flexible en su manejo que otros del estilo de los neumáticos o los hidráulicos.

Los primeros intentos de comunicación sobre largas distancias tuvieron lugar en Europa a finales del s. XVIII y principios del XIX. Entre ellos podemos mencionar los siguientes:

— En 1810 el alemán Von Soemmering diseñó un aparato indicador que utilizaba un mazo de veintiséis conductores para la comunicación. Cada uno de los conductores estaba asignado a una letra del alfabeto (alemán), de modo que para transmitir una letra se daba corriente de forma manual al conductor correspondiente durante un cierto tiempo. Cada conductor acababa en una cuba electrolítica donde tenía lugar un fenómeno de electrolisis. A partir de la existencia de una cuba por letra, un observador anotaba manualmente una tras otra las letras transmitidas según veía burbujear el agua de las cubas.

— En 1839 los ingleses W. F. Cooke y Charles Wheatstone diseñaron un dispositivo que solo precisaba de cinco cables más otro de tierra. Su principio de funcionamiento consistía en deflectar cinco agujas de poco peso haciendo uso de sendos electroimanes por los que se hacía pasar una corriente eléctrica. Aplicando esta selectivamente a dos electroimanes a la vez, y dispuestas las letras en forma de matriz 2×3, las agujas deflectadas quedaban apuntando a la fila y columna correspondientes a la letra deseada.

— El primer sistema binario de comunicaciones se debe a Samuel Morse. Este ideó en 1843 el telégrafo, el cual consistía en solo dos hilos de comunicación por los que circulaba una corriente eléctrica en forma de impulsos discontinuos. Estos impulsos eran interpretados como «espacio» o «marca» en el lado del receptor, bien a través de un operador humano, bien mediante un electroimán que hacía subir y bajar una plumilla de impresión sobre un rollo de papel.

A partir de este momento surge un sinfín de nuevos ingenios de comunicación con objeto de mejorar los anteriores y facilitar así la transmisión de información. Entre ellos podemos mencionar la aparición del teléfono, de los primeros sistemas de comunicación paralelo, los códigos binarios de longitud fija (como el de Baudot), etc.

Más recientemente, con la aparición de los ordenadores se comenzaron a desarrollar sistemas que permitieran el intercambio de información entre ellos, dando lugar a las redes de ordenadores. La evolución de las redes ha supuesto toda una revolución en el mundo actual, en el que la red de redes, Internet, ha cobrado una gran importancia en la vida cotidiana, posibilitando el intercambio masivo de información de forma casi inmediata.

Es en este contexto en el que se centra nuestro interés y en el que se desenvuelve el libro que nos ocupa. En este su primer capítulo se presentarán conceptos básicos en sistemas de comunicación, estudiando un caso particular de estos: las redes de computadores. Además de su estructura, a lo largo del tema se presentarán términos y cuestiones fundamentales para la adecuada comprensión de este tipo de sistemas; comprensión que se irá afianzando a lo largo de los capítulos posteriores.

1.1. Sistemas de comunicación y redes de computadores

Se entiende por *sistema de comunicación* el conjunto de elementos y dispositivos involucrados en la transmisión de información entre dos puntos remotos. Estos elementos son (ver Figura 1.1):

— *Fuente* o *emisor*: origen de la información.

— *Destino*: destinatario último de la información transmitida.

— *Canal* o *medio de transmisión*: soporte físico sobre el que se realiza el transporte de la información.

— *Transmisor*: dispositivo interfaz entre la fuente y el canal, encargado de llevar a cabo la adaptación de la señal a transmitir a las características del medio de transmisión.

Figura 1.1. Esquema general de un sistema de comunicación.

— *Receptor*: dispositivo interfaz entre el destino y el canal, encargado de llevar a cabo la adaptación de la señal recibida sobre el canal a las características del destino.

Un ejemplo sencillo de un sistema de comunicación lo constituye la transmisión de datos entre dos PC a través de la línea telefónica. En este caso, la fuente y el destino son los PC extremos, el canal de comunicaciones la red telefónica conmutada (RTC) y los elementos de transmisión/recepción los dispositivos módem necesarios para la conexión de los equipos PC a la RTC.

Un concepto básico al que se ha hecho alusión en la definición dada anteriormente es el de *información*, el cual puede establecerse como «conjunto de datos al que se dota de significado». En esta definición hay que diferenciar entre la información como tal (contenido) y la señal que sirve de soporte a la misma (continente).

Como caso particular de los sistemas de comunicación encontramos las *redes de computadores*, definidas como un conjunto de equipos terminales de datos autónomos, interconectados y dotados de capacidades de intercambio de información. Las dos primeras características son de especial relevancia:

— *Interconexión*: la existencia de uno o varios canales de transmisión permite la comunicación entre los distintos equipos que constituyen la red.

— *Autonomía*: esta característica alude al hecho de que los equipos son independientes entre sí en cuanto a funcionamiento y diferencia claramente una red de ordenadores del concepto de *mainframe*, donde existen varios equipos terminales dependientes de una única unidad central.

También se suele recurrir a esta característica para distinguir las redes de computadores de los sistemas distribuidos. La integración conseguida por el sistema operativo en estos últimos es tal que el uso de los distintos computadores y recursos resulta transparente para el usuario.

1.2. Estructura de las redes

La descripción de la estructura de las redes de computadores requiere de la consideración de dos aspectos relevantes. Así, es necesario analizar los diferentes elementos y equipos involucrados en las comunicaciones que tienen lugar en dichas redes, junto con la topología, esto es, el esquema de las interconexiones entre dichos elementos.

A cada uno de los equipos que componen una red y que presentan capacidades de comunicación se le denomina *nodo*, estando estos conectados entre sí por líneas de transmisión o enlaces de comunicaciones.

La interconexión de varios equipos para formar una red de computadores puede realizarse de acuerdo a dos configuraciones básicas, en función del modo de utilización del canal de comunicación. Estas son (Figura 1.2):

a) *Difusión*. En este caso existe un único medio de transmisión, compartido por todos los equipos, sobre el que se realizan todas las transmisiones. Un ejemplo de medio de difusión lo constituye la atmósfera, a través de la que se transmiten señales de radio, televisión, comunicaciones celulares, etc.

b) *Punto a punto*. En las conexiones punto a punto únicamente intervienen dos equipos utilizando un canal al que solo ambos tienen acceso. En este caso, el canal de comunicaciones es, típicamente, un cable que conecta en sus extremos a los dos equipos involucrados en la comunicación. Por contraposición con este tipo de medios, a los de difusión se les suele denominar también como *multipunto*.

En una primera aproximación, a partir de las dos configuraciones anteriormente mencionadas, podemos encontrar topologías de redes de difusión, cuando todos los equipos comparten un único canal, y redes punto a punto, cuando las conexiones son entre parejas de equipos. En el caso de que el número de enlaces en una red punto a punto sea igual al número de parejas posibles de equipos terminales, se habla de una topología completamente conectada (Figura 1.2(c)).

Las redes de difusión plantean problemas de escalabilidad, ya que resulta inviable la existencia de un número alto de equipos o una extensión geográfica relativamente amplia de la misma. Básicamente, el problema está asociado a que, por una parte, dado que únicamente hay un canal de comunicaciones compartido, solo se podría producir una comunicación en cada instante de tiempo. Por otra parte, la extensión de la cobertura geográfica implicaría problemas asociados a los retardos por las largas distancias y a la gestión de las potencias de emisión/recepción. Típicamente, las distancias mayores que permitirían este tipo de conexiones son de unos pocos kilómetros. De esta forma, resulta necesario establecer enlaces punto a punto para posibilitar redes con un número relativamente alto de equipos conectados y que permitan comunicaciones simultáneas y a mayores distancias de las mencionadas. En este escenario, sería necesario disponer de una topología completamente conectada si se desea que todos los equipos puedan comunicarse con todos los restantes. Sin embargo, esta configuración tampoco es recomendable, dado el alto coste que ello supone, por lo que es necesario recurrir a otro tipo de estructura.

Para mostrar la estructura resultante de las redes de computadores podemos considerar la red telefónica tradicional, con la que presenta claras analogías. Es evidente en este caso que no existe una línea de uso exclusivo entre nuestro terminal telefónico particular y cada uno de los terminales de la red. Para posibilitar la comunicación con los restantes terminales se dispone de centrales telefónicas, también denominadas *centrales de conmutación*, a las que llegan los hilos correspondientes a los terminales de los usuarios. En estas centrales se establecía la conexión física entre los pares de hilos de los abonados que deseaban establecer una comunicación, manualmente al principio, y de forma

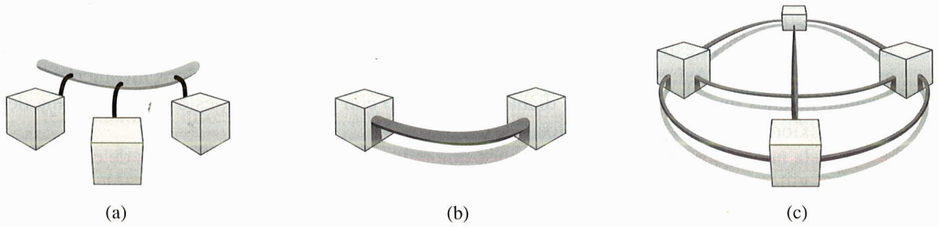


Figura 1.2. Tecnologías de transmisión de difusión (a) y punto a punto (b). Topología completamente conectada (c).

automática con posterioridad. Dado que esta solución requiere que todas las líneas lleguen a la central, se establece una estructura jerárquica en la que se agrupan las líneas por demarcación geográfica y las centrales correspondientes a cada demarcación son, a su vez, conectadas a centrales de un nivel superior (Figura 1.3). Esta jerarquía se puede repetir tantas veces como sea necesario. De esta forma, se posibilita la comunicación entre cualquier par de abonados sin más que hacer que las centrales de conmutación involucradas realicen las conexiones oportunas. Así, a modo de ejemplo, en la Figura 1.3, para que los abonados en A y B puedan comunicarse bastaría que las centrales 1, 4, 5 y 6 realicen las conexiones de los cables señalados en trazo grueso.

Surgen, de esta forma, dos conceptos clave en las redes de computadores relacionados con su estructura y las comunicaciones que tienen lugar en ellas. En primer lugar, no todos los equipos involucrados en la comunicación son equipos de usuario, es decir, nodos finales, ya que intervienen otros cuya única finalidad es posibilitar las comunicaciones entre dichos nodos finales, dando lugar a la denominada *subred*, que se describirá más adelante. En segundo lugar, y como resultado de la existencia de estos equipos intermediarios, la comunicación se producirá entre los nodos terminales como resultado de una secuencia de comunicaciones entre las parejas de equipos involucrados. De esta forma, podemos diferenciar entre:

— *comunicaciones salto a salto*, son las que tienen lugar de forma directa entre cada par de nodos involucrados en la comunicación entre dos nodos terminales, y
— *comunicaciones extremo a extremo*, son las comunicaciones entre los nodos terminales y, habitualmente, implican la participación de nodos que actúan de intermediarios.

Esta diferenciación resulta de interés en función del nivel de descripción de las comunicaciones que se desee. Así, siguiendo con el ejemplo del teléfono, la descripción del proceso seguido para el establecimiento de las conexiones con y entre las centrales involucradas se realizará salto a salto, mientras que la comunicación entre los interlocutores en ambos teléfonos se analizará extremo a extremo.

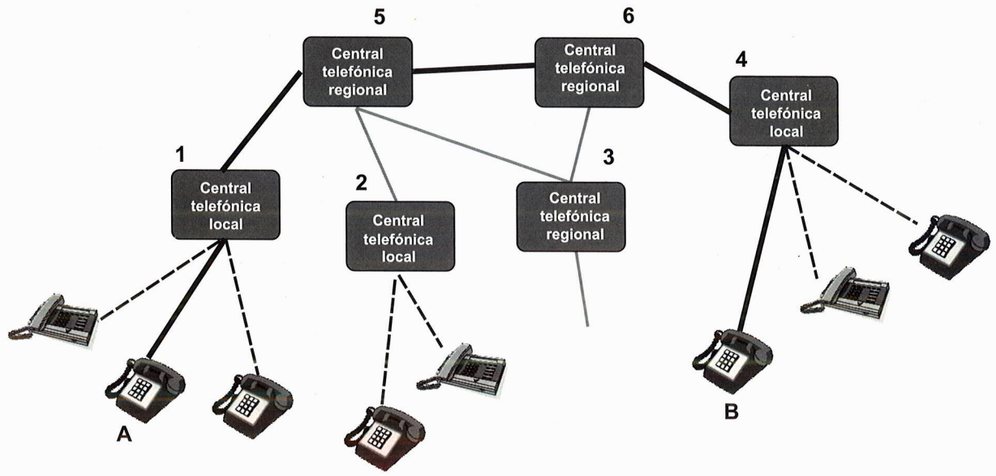


Figura 1.3. Estructura jerárquica de la red telefónica.

La estructura genérica de una red de computadores es la mostrada gráficamente en la Figura 1.4, donde se indican los siguientes elementos constitutivos:

— *Hosts*: nodos o equipos terminales de datos, también conocidos como sistemas finales o estaciones de trabajo.
— *Subred*: conjunto de elementos que posibilitan la interconexión de los *hosts*. La subred está compuesta a su vez de:

- *Nodos de conmutación*: dispositivos cuya misión básica es la de posibilitar el transporte de los datos entre un origen y un destino dados.
- *Líneas de transmisión:* canales o enlaces de comunicación.

Tradicionalmente, se han venido clasificando las redes de computadores en función de su extensión o cobertura geográfica en redes *LAN* («Local Area Network», red de área local), *MAN* («Metropolitan Area Network», red de área metropolitana) y *WAN* («Wide Area Network», red de área amplia). Esta diferenciación tenía su justificación en las diferentes tecnologías que se utilizaban en cada una de ellas. En la actualidad no existen diferencias tecnológicas significativas entre las redes LAN y MAN, por lo que se diferencian las siguientes redes en función de su cobertura:

a) *PAN* («Personal Area Network», red de área personal). Son redes de alcance reducido (pocos metros) que se utilizan típicamente para interconectar los equipos de un usuario (de ahí el nombre).
b) *LAN*. El servicio proporcionado por las redes de área local se extiende hasta las centenas de metros o incluso unos pocos kilómetros.
c) *WAN*. Frente a las anteriores, las redes de área extensa o amplia pueden llegar a cubrir todo un país o incluso un continente, alcanzando así varios centenares o incluso miles de kilómetros.

A partir de la existencia de varias redes, su interconexión permite la accesibilidad global en todo el planeta. De este término, *interconexión de redes* («internetworking» en inglés), se deriva el nombre dado a la red de redes: Internet.

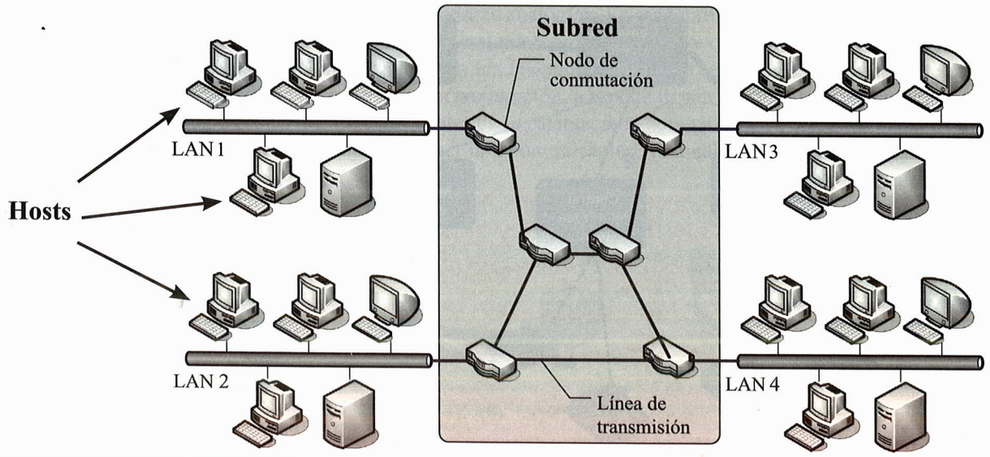


Figura 1.4. Elementos de una red de computadores.

Desde el punto de vista tecnológico, las redes LAN suelen caracterizarse por utilizar una tecnología de transmisión basada en difusión. En cambio, las redes WAN cubren distancias superiores que las LAN y su tecnología de transmisión se basa en la existencia de enlaces punto a punto y nodos de conmutación. Como se muestra en la Figura 1.4, habitualmente las redes WAN tienen su origen en la interconexión, mediante la subred correspondiente, de redes LAN.

1.3. Diseño y estandarización de redes: modelos de referencia OSI y TCP/IP

Cuando se plantea el diseño de una red de ordenadores hemos de solucionar diversos problemas a fin de conseguir una comunicación eficaz y transparente entre las estaciones o equipos finales involucrados: transmisión de los bits, acceso al medio de transmisión, control de errores, cifrado de los datos, etc. Para simplificar la solución de estas y otras cuestiones se adopta un diseño en *capas*, lo que equivale a agrupar funciones o tareas relacionadas. Idealmente, cada capa debe ocuparse de resolver uno o varios de los problemas involucrados en la comunicación de forma independiente a las funcionalidades del resto de las capas, minimizando, en consecuencia, el trasvase de información entre capas. Este hecho permitirá obtener un sistema más modular y, consecuentemente, más flexible.

Al conjunto de capas definido y funciones asociadas a las mismas se le denomina *modelo de referencia*. Tanto desde el punto de vista del operador o fabricante como desde el del usuario o cliente interesa la existencia de estándares que permitan, a los primeros, un mayor mercado y, a los segundos, un mejor servicio y menores costes. A pesar de los beneficios generales, y como sucede en tantos sectores, la estandarización suele entrar en conflicto con los intereses de las grandes empresas, las cuales persiguen su cuota de mercado a costa de hacer «dependientes» de sus productos a los consumidores.

Así, hemos de distinguir entre dos tipos de estándares: *de facto* y *de jure*. Los primeros se caracterizan por haber sido adoptados ampliamente en la práctica sin haber seguido para ello proceso alguno de estandarización formal. Por el contrario, los estándares *de jure* son aquellos desarrollados por organismos de estandarización reconocidos. Algunos de los organismos más conocidos en el mundo de las redes y las comunicaciones son los siguientes: ISO («International Organization for Standardization», http://www.iso.org), IAB («Internet Architecture Board», http://www.iab.org), ITU («International Telecommunications Union», http://www.itu.int), ETSI («European Telecommunication Standards Institute», http://www.etsi.org), IEEE («Institute of Electrical and Electronic Engineers», http://www.ieee.org), ANSI («American National Standards Institute», http://www.ansi.org), NIST («National Institute of Standards and Technology», http://www.nist.gov) y EIA («Electronic Industries Alliance», http://www.eia.org).

Numerosos son los modelos de referencia desarrollados, entre los que podemos encontrar OSI, TCP/IP, SNA, TMN, etc. Por ser los más conocidos, dos son los que aquí vamos a comentar brevemente: OSI («Open Systems Interconnection») y TCP/IP («Transmission Control Protocol/Internet Protocol»). El primero de ellos, normalizado por ISO, se define en siete capas (Figura 1.5), que, de abajo a arriba, son las siguientes:

1. *Física*. En ella se llevan a cabo funciones relacionadas con la transmisión de datos desde el punto de vista de la gestión de las características eléctricas, mecánicas y funcionales para una adecuada transferencia de información sobre el canal. De esta forma, la finalidad básica de esta capa es el intercambio de bits entre dos equipos conectados mediante un canal de transmisión. Resulta relevante indicar que los canales de transmisión introducen errores que pueden alterar la información transmitida.

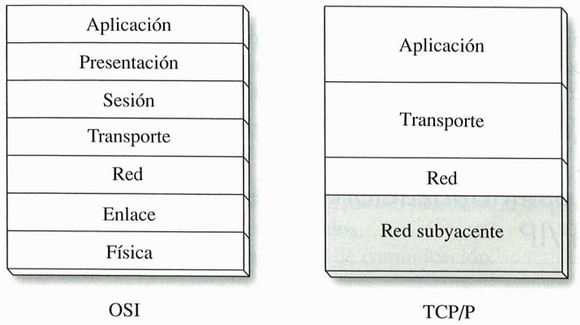


Figura 1.5. Capas de los modelos de referencia OSI y TCP/IP.

2. *Control del enlace de datos*. A partir del servicio proporcionado por la capa física, esto es, de la secuencia de bits, esta capa debe realizar las tres funciones básicas siguientes con la finalidad de gestionar adecuadamente conjuntos de bits, agrupados en una unidad denominada *trama:* (a) delimitación de tramas, con objeto de conocer el principio y fin de cada bloque de datos y así permitir la sincronización emisor-receptor, (b) control de errores, para conseguir que la información finalmente recibida se corresponda con la original emitida, y (c) control de flujo, función con la que se persigue evitar que el emisor sature la memoria de almacenamiento temporal (*buffer*) de recepción del destino debido a una velocidad u ocupación diferente de las dos partes. En consecuencia, el objetivo de la capa de control de enlace de datos es la entrega al receptor, de forma fiable y fidedigna, de todos y cada uno de los datos enviados por el emisor.
3. *Red*. En esta capa se consideran dos funciones principales: (a) encaminamiento, cuyo objetivo es el establecimiento de la ruta (secuencia de líneas y nodos de conmutación en la subred) a seguir desde un origen hasta un destino dados, y (b) control de congestión, que persigue evitar la saturación de la capacidad de la subred como consecuencia de un elevado tráfico. Adicionalmente a estas cuestiones, un tercer aspecto de importancia abordado en esta capa es el relativo a la interconexión de redes, de forma que se posibilita la transmisión de datos entre estaciones finales situadas en redes distintas. También se incluyen en esta capa las funcionalidades asociadas a la tarificación, es decir, a la evaluación de los consumos generados. Podemos afirmar que el objetivo de esta capa es hacer que las unidades de datos de este nivel, los *paquetes*, sean dirigidos hacia el destino a través de las diferentes subredes de la forma más eficiente posible.
4. *Transporte*. A diferencia del control de flujo y de errores realizado en la capa de enlace de datos, en este nivel se lleva a cabo un control de flujo y de errores extremo a extremo. Es decir, la capa de transporte ve la subred no como un conjunto de nodos y enlaces, sino como un solo ente (o canal de comunicación si se quiere) sobre el que los *hosts* o equipos finales emisor y destino deben controlar que la transmisión se lleve a cabo con éxito.

   Otra función importante planteada en esta capa es la relativa a la multiplexación de aplicaciones sobre una misma conexión de red, es decir, posibilitar varias comunicaciones entre los mismos hosts.

   La unidad de datos del nivel de transporte es el *segmento*, siendo la finalidad básica de esta capa la entrega fiable de los segmentos entre el origen y el destino, esto es, extremo a extremo.

5. *Sesión*. Esta capa se encarga de gestionar el diálogo o «turno de palabra» en una comunicación entre los *hosts* participantes.
6. *Presentación*. En ella se aborda la representación de los datos que provienen de la capa superior, por ejemplo a través del cifrado o codificación de los mismos. Esta capa permite resolver las heterogeneidades respecto de la diferente representación interna de la información en cada uno de los *hosts* extremos.
7. *Aplicación*. Esta capa hace referencia a los distintos servicios finales que se ofrecen al usuario: correo electrónico, transferencia de ficheros, etc. Es decir, esta capa trata la información como tal intercambiada entre los usuarios finales.

Si bien el modelo OSI, por su interés didáctico, se usa para explicar las distintas funciones que deben llevarse a cabo en la implementación de una red de ordenadores, algunas de las siete capas en él establecidas están prácticamente vacías de contenido o, cuando menos, desequilibradas respecto de otras. Este hecho explica que en otros modelos distintos a OSI se especifique un número menor de capas mediante el simple trasvase de las funciones asociadas a otros niveles. Así, por ejemplo, el modelo TCP/IP, de conocido renombre dado su empleo en Internet, se compone básicamente de tres capas. Empezando por arriba estas son (Figura 1.5):

1. *Aplicación*: incluye servicios de usuario como *ssh* (acceso remoto), *ftp* (transferencia de ficheros), *smtp* (correo electrónico), *http* (web), etc.
2. *Transporte*: realiza el control de flujo, de errores, de congestión y de conexión (extremo a extremo).
3. *Red*: ejecuta la función de encaminamiento y fragmentación.

Esta descripción de TCP/IP no es completa por cuanto que las tres capas mencionadas deben sustentarse necesariamente sobre otras inferiores que permitan en última instancia la comunicación entre los sistemas finales. Sin embargo, aunque dentro del modelo TCP/IP se contemplan protocolos de capa inferior a la de red, estos son los menos y se refieren generalmente a la necesidad de integrar TCP/IP con la tecnología de red subyacente. Es desde este punto de vista que se dice que TCP/IP es una red software, de modo que puede implementarse sobre cualquier tecnología de red sin ser dependiente de ella. Esta característica es una de las razones que ha hecho de TCP/IP el modelo dominante, convirtiéndolo en un claro ejemplo de estándar *de facto*.

Para concluir este apartado relativo a funciones y capas hemos de señalar que las funciones hasta la capa de red se implementan tanto en los dispositivos de la subred como en las estaciones finales (salto a salto), siendo exclusivas de los *hosts* (extremo a extremo) las funciones relacionadas con las capas superiores (desde transporte, esta incluida, hacia arriba).

1.4. Terminología y servicios

En este apartado se presentan algunos conceptos y terminología básicos en el estudio de las redes. Si bien estos pueden resultar *a priori* un tanto superfluos, resultan de interés a fin de comprender el funcionamiento de la transmisión de datos en una red de computadores. El hecho de que esta terminología básica sea la seguida en OSI no limita ni modifica el objetivo mencionado. Para comenzar diremos que, dadas dos capas adyacentes, N y $N+1$, la capa inferior se denomina *proveedora* de *servicios* y la superior *usuaria de servicios* por cuanto que la capa N ofrece una serie de funciones o prestaciones (*servicios*) transparentes para la superior. Así, por ejemplo, la capa física es proveedora del servicio de transmisión eléctrica sobre el canal respecto de la de enlace, siendo esta la usuaria de dicho servicio.

Los elementos activos, hardware o software, existentes en una capa dada *N* se conocen como *entidades de nivel N*. Por su parte, las entidades de nivel *N* en el emisor y en el receptor reciben el nombre de *entidades pares* o *paritarias*. A partir de este concepto ha de señalarse la existencia de dos tipos de comunicación entre un emisor y un receptor (Figura 1.6):

1. *Real* o *vertical*. Es el flujo que sigue la información entre el emisor y el receptor: intercambio de datos entre capas adyacentes, en sentido descendente (de aplicación a física) en el emisor y ascendente (de física a aplicación) en el receptor.
2. *Virtual* u *horizontal*. Es la comunicación observada desde el punto de vista de las entidades paritarias. Es decir, la realización de una función dada implica la colaboración de las entidades pares emisora y receptora. A este respecto se ha de señalar que, como se indica en la Figura 1.6, en cada capa (salvo en la física) se añade una serie de información suplementaria, generalmente en forma de cabecera, destinada a permitir una comunicación coherente entre las entidades paritarias involucradas. Esta información únicamente es relevante para dichas entidades paritarias, estando asociada a funcionalidades o parámetros relativos a los servicios que debe proporcionar. Por tanto, las cabeceras se irán eliminando al ir pasando los datos a las capas superiores. Se produce, así, el denominado encapsulado de los datos: el bloque de datos de la capa *N+1*, en el que se incluyen cabeceras, es tratado como un bloque de datos sin significado ni estructura, en la capa *N*. A los datos transportados en cada bloque de datos se le denomina *carga útil* (*payload*). A modo de ejemplo, el funcionamiento sería similar a la utilización

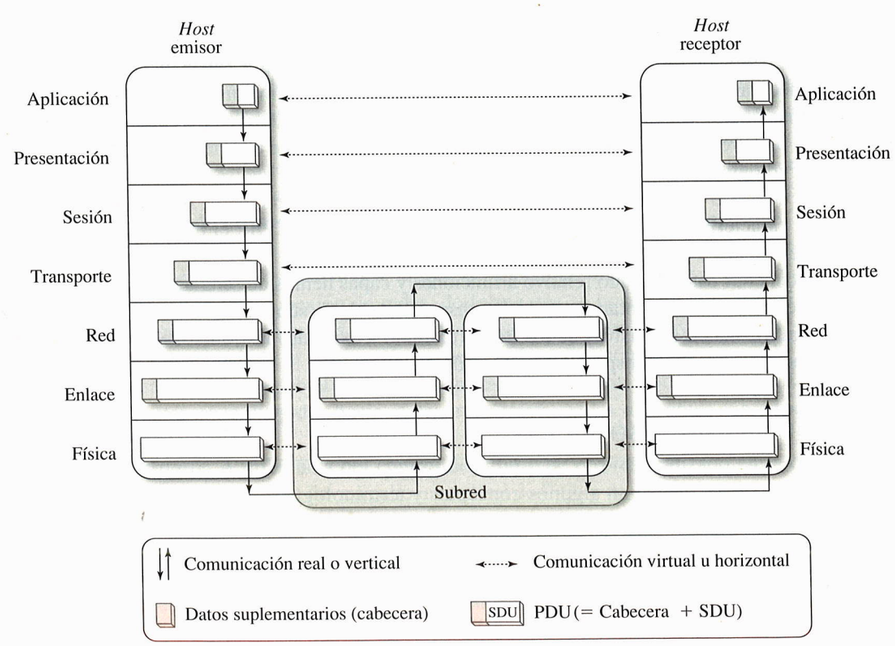


Figura 1.6. Comunicación real y virtual en el modelo OSI. Representación de los conceptos de unidad de datos de servicio (SDU), cabecera y unidad de datos de protocolo (PDU).

sucesiva de sobres en una organización jerárquica. En cada sobre se escribe la información a utilizar en el destino por el igual (las cabeceras) y, a su vez, este sobre corresponderá al mensaje a entregar por la entidad inferior que lo introducirá en otro sobre y añadirá también información en el mismo.

En relación a la comunicación horizontal, se define *protocolo* como el conjunto de reglas y convenciones a aplicar en una comunicación entre dos entidades paritarias con objeto de llevar a cabo una cierta función o servicio. Habitualmente, los protocolos se basan en el paso de mensajes que desencadenan determinadas actuaciones por parte de una de las entidades sobre la comunicación o los datos transportados. Estos mensajes presentan una estructura (sintaxis) conocida y establecida a partir de la que es posible determinar la semántica de los mismos. Al conjunto de capas y protocolos asociados se le denomina *arquitectura de red*. Así pues, en sentido estricto, OSI no es una arquitectura dado que en él se definen las capas y funciones asociadas, pero no los protocolos implementados en ellas. Por el contrario, TCP/IP sí es una arquitectura de red, puesto que para cada capa se definen los protocolos concretos a considerar. La especificación en capas de los protocolos que constituyen una arquitectura de red se denomina *pila de protocolos*.

La comunicación (vertical) entre dos capas adyacentes se realiza a través de la «superficie» de separación entre ellas, a la que se conoce con el nombre de *interfaz* (Figura 1.7), más concretamente sobre los llamados *puntos de acceso al servicio* («Service Access Point», SAP). Respecto a la información transmitida sobre los SAP entre dos entidades, hemos de señalar dos términos importantes: *unidad de datos de servicio* («Service Data Unit», SDU), correspondiente a los datos manejados por la entidad y que proceden de la capa inmediatamente superior, y *unidad de datos de protocolo* («Protocol Data Unit», PDU), relativa a la SDU recibida de la capa superior más la cabecera añadida a efectos de llevar a cabo la función específica desarrollada en colaboración con la entidad o entidades paritarias. Existen así TPDU (PDU de transporte), SSDU (SDU de sesión), NSDU (SDU de red), etc. Del mismo modo, un TSAP («Transport SAP») no es más que un SAP situado en la interfaz sesión-transporte (son los conocidos *sockets* en la terminología TCP/IP de Unix, aunque hemos de recordar que en este caso la interfaz es aplicación-transporte), un NSAP («Network SAP») es uno situado en la interfaz transporte-red (un número de teléfono en el caso de un servicio telefónico, por ejemplo), etc.

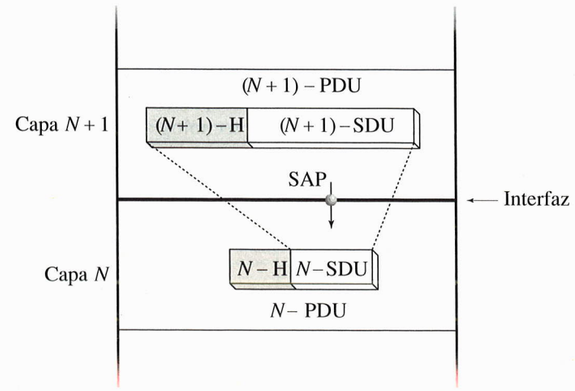


Figura 1.7. Comunicación vertical: interfaz y SAP.

Los servicios ofrecidos por cada una de las capas pueden ser de dos tipos:

— *Orientado a conexión*: caracterizado por el hecho de establecerse una conexión como paso previo a la transmisión de datos entre el emisor y el receptor. Como ejemplo de este tipo de servicio suele indicarse el de telefonía, donde antes de que tenga lugar una conversación es preciso el establecimiento de la conexión.
— *No orientado a conexión*: frente al anterior, no precisa la existencia de una conexión previa a la transmisión de la información. El ejemplo típico de este tipo de servicio es el envío postal, en el cual se realiza la transferencia de la información entre un emisor y un receptor sin requerir el establecimiento previo de una conexión entre ambos.

Aparte de la característica comentada, un servicio puede ser *confirmado*, cuando el emisor tiene constancia de algún modo acerca de la recepción en el destino, o *no confirmado*, en cuyo caso no se produce la realimentación necesaria acerca de este hecho. Como ejemplo, pensemos en un envío postal normal (servicio no confirmado) frente a uno certificado con acuse de recibo (servicio confirmado).

Para concluir este apartado de terminología básica definiremos *primitiva de servicio*, o simplemente *primitiva*, como cada uno de los procesos elementales en que se desarrolla un servicio. Existen un total de cuatro primitivas (Figura 1.8), empleándose todas ellas en el desarrollo de un servicio orientado a conexión y, en cambio, solo las dos primeras en uno no orientado a conexión:

— *Solicitud* (*Request*): se refiere al requerimiento de servicio por parte de un solicitante (emisor). Haciendo la analogía con el servicio telefónico, este proceso correspondería al marcado del número de teléfono de destino por parte del origen.
— *Indicación* (*Indication*): es la recepción de la solicitud en el destino; es decir, el *ring* del teléfono del ejemplo anterior.
— *Respuesta* (*Response*): si el destino acepta el servicio, responde a la solicitud. Esta primitiva es la equivalente a descolgar el teléfono por parte del receptor en el ejemplo telefónico.
— *Confirmación* (*Confirm*): de forma análoga al caso de la primitiva *Indicación*, la confirmación de la aceptación del servicio corresponde a la recepción de la *Respuesta* en el emisor. Este proceso equivale en el ejemplo telefónico planteado al hecho de que el emisor se percate de que el terminal ha sido descolgado en el otro extremo.

1.5. Ejemplos de redes

Concluiremos este tema introductorio haciendo referencia a dos tipos de redes ampliamente extendidas y de filosofía bien diferente: UMTS e Internet. La primera de ellas, UMTS («Universal Mobile Telecommunications System»), corresponde a una tecnología utilizada por los móviles de tercera

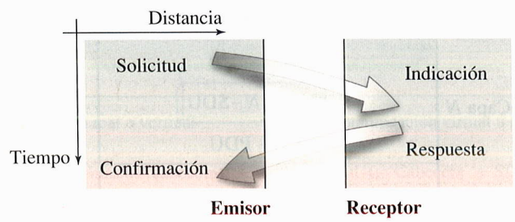


Figura 1.8. Primitivas de servicio y temporización.

generación. Permite la transmisión de audio, vídeo y datos a alta velocidad (hasta 2 Mbps). En esta red se definen tres tipos de elementos: los equipos de usuario (UE, «User Equipment»), que son los nodos terminales, la red de acceso radio (UTRAN, «UMTS Terrestrial Radio Access Network»), que es la que proporciona el acceso a los equipos de usuario a través de una interfaz radio, y el núcleo de la red, que proporciona servicios de transporte de datos hacia otras redes. En el acceso radio (UTRAN), se especifican 3 capas que incluyen funcionalidades comunes (Figura 1.9(a)): física (L1), de control de acceso al medio (MAC) y de control del enlace radio (RLC, «Radio Link Control»). Sobre estas tres capas, para los datos de usuario (plano de usuario) se define el protocolo de convergencia de paquetes de datos (PDCP, «Packet Convergence Protocol») que posibilita el uso de otros protocolos de capa de red sobre el enlace. En el plano de control se define el control de recursos radio (RRC, «Radio Resource Control»), que incluye funcionalidades para la gestión de los recursos radio y sobre el que se establecen capas superiores con protocolos auxiliares. De esta forma, UMTS es una tecnología de acceso sobre la que pueden implementarse protocolos y servicios de capas superiores diversos (entre los que se encuentra, cómo no, TCP/IP).

Más allá de UMTS o de otras redes, ¡quién no ha oído hablar de Internet! Es la red por antonomasia. Ahora bien, hemos de decir que Internet no es una red en sí misma, sino la interconexión de redes LAN y WAN a nivel internacional (incluidas, por qué no, redes UMTS). Precisamente a ello se debe su nombre, proveniente del término inglés *internetworking*. En ese sentido, como se muestra en la Figura 1.10, Internet es una gran red WAN en la que la subred está compuesta por nodos de encaminamiento y (sub)redes (LAN y WAN) que los interconectan.

La arquitectura TCP/IP es la que se adopta en Internet. Una de sus premisas de diseño fue situar la complejidad en los extremos, es decir, realizar las tareas complicadas y que requieran más recursos (como por ejemplo el control de errores, de flujo y de congestión) en los nodos terminales. Por el contrario, en TCP/IP, la capa de red se caracteriza por proporcionar salto a salto un servicio no orientado a conexión no confirmado, reduciendo así la complejidad de los nodos de interconexión, ya que su funcionalidad se restringe básicamente al encaminamiento.

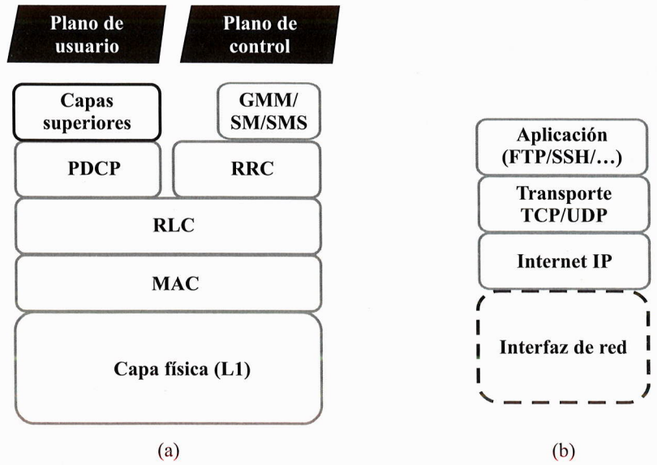


Figura 1.9. Modelo de capas para la red de acceso radio en UMTS (a) y pila de protocolos Internet (b).

E.T.S.I.I.T. BIBLIOTECA GRANADA

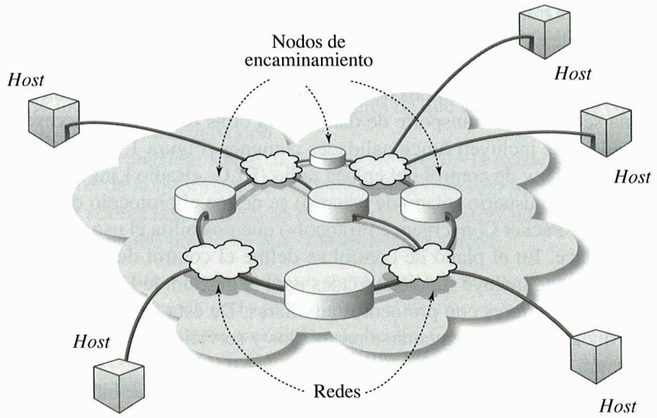


Figura 1.10. Visión conceptual de Internet.

Otra característica importante es que TCP/IP no exige nada ni supone ningún requisito especial a la tecnología de la red subyacente, lo que permite la interconexión de cualquier tipo de subred, independientemente de sus características.

Alternativamente, se podría haber adoptado un diseño con un servicio en la capa de red orientado a conexión y confirmado. ¿Cuál de las dos filosofías planteadas es mejor? Ambas presentan ventajas e inconvenientes. Aunque su estudio se pospone al Capítulo 6, diremos que la principal característica de un servicio orientado a conexión es que, una vez establecida la conexión, los datos se reciben en el receptor sin otro retardo que el lógico de propagación y en el mismo orden en que fueron enviados por el emisor. Por su parte, la principal ventaja de un servicio no orientado a conexión es su robustez: dado que no se establece una conexión esta no puede «caer» ni, en consecuencia, abortarse la transmisión, pudiendo encontrarse de forma dinámica una ruta alternativa (¡si la hubiese!) para alcanzar el destino deseado.

RESUMEN

Como capítulo introductorio, en este tema se han identificado las entidades y definido la terminología más relevante en las redes de ordenadores. Comenzó el tema presentando conceptos básicos en sistemas de comunicación y definiendo las redes de computadores como caso particular de estos. Seguidamente se describió la estructura de las redes, introduciendo las redes LAN y WAN así como los conceptos de subred y *host*.

A continuación se ha presentado el diseño en capas de una red y, planteada la necesidad de estandarización de redes, los modelos de referencia OSI y TCP/IP. Relacionados con la estructura en capas, a continuación se han definido conceptos de suma importancia como son arquitectura de red, protocolo, entidades paritarias y primitivas de servicio.

El capítulo ha concluido con la presentación, a modo de ejemplo, de dos redes de amplio uso, UMTS e Internet, de filosofía distinta en cuanto al tipo de servicio proporcionado por cada una de ellas, orientado a conexión en el primer caso y no orientado a conexión en el segundo.

En los capítulos que siguen se aborda el estudio en mayor detalle de las distintas funciones desarrolladas en cada una de las capas en que se dispone una red de computadores.

EJERCICIOS

1. Ponga tres ejemplos de equipo *transmisor/receptor* propios de una red de comunicaciones.
2. Clasifique la transmisión (en términos de *difusión* o *punto a punto*) de cada uno de los siguientes sistemas:
   a) Radio y TV.
   b) Redes inalámbricas (WLAN).
   c) ADSL.
   d) Redes de cable.
   e) Comunicaciones móviles (p.e., GSM, UMTS).
3. Conocida la estructura general de una red de computadores, compuesta por *hosts* y *subred*, formada a su vez por *líneas de transmisión* y *nodos de conmutación*, identifique cada uno de estos elementos en los dos siguientes ejemplos de redes:
   a) Red telefónica tradicional.
   b) Red inalámbrica *ad-hoc* (sin puntos de acceso).
4. Suponga el siguiente «sistema de comunicaciones»: Intercambio de información (en inglés) por correo postal entre los directores de dos multinacionales A y B, situadas respectivamente en España y Japón. Proponga un modelo de referencia lo más completo posible para representar este sistema.
5. Indique a qué capa del modelo OSI corresponde cada una de las siguientes funciones:
   a) Delimitación de tramas.
   b) Encaminamiento.
   c) Sincronización.
   d) Control de congestión.
   e) Comprobación de errores e integridad de los datos extremo a extremo.
   f) Correo electrónico.
6. El número de capas del modelo de referencia TCP/IP es inferior al contemplado en OSI. ¿Significa eso que la funcionalidad global de un sistema TCP/IP es inferior a la de uno OSI? Justifique razonadamente su respuesta.
7. Suponga la siguiente expresión para el proceso de encapsulado en una red:

   $$N_\text{PDU} = N_\text{PCI} + N_\text{SDU} = N_\text{PCI} + [(N+1)_\text{PCI} + (N+1)_\text{SDU}]$$

   siendo N y $(N+1)$ las capas N y $(N+1)$-ésima, respectivamente; *PCI* («Protocol Control Information») es la información de control necesaria en la interfaz; y *SDU* y *PDU* las unidades del servicio de datos y del protocolo, respectivamente, descritas en el Apartado 1.4.

   A partir de lo anterior:
   a) Indique la secuencia de información enviada por la capa de enlace a la capa física del *host* emisor, en términos exclusivos de PCI y de datos originales del usuario, si se asume que este sigue el modelo OSI.
   b) ¿Qué información se intercambiarán las entidades paritarias del nivel de red? ¿A qué se refiere y para qué sirve dicha información?
8. Un sistema tiene una jerarquía de protocolos de N capas. Las aplicaciones generan mensajes de M bytes de longitud. En cada capa se añade una cabecera de H bytes. ¿Qué fracción de la cantidad

de información total corresponde a las cabeceras? Aplique el resultado a una conexión a 512 kbps con tamaño de datos de 1.500 bytes y 4 capas, cada una de las cuales añade 64 bytes cabecera.

9. Identifique los SAP en los siguientes sistemas de comunicación: radiodifusión FM, red telefónica, correo postal.

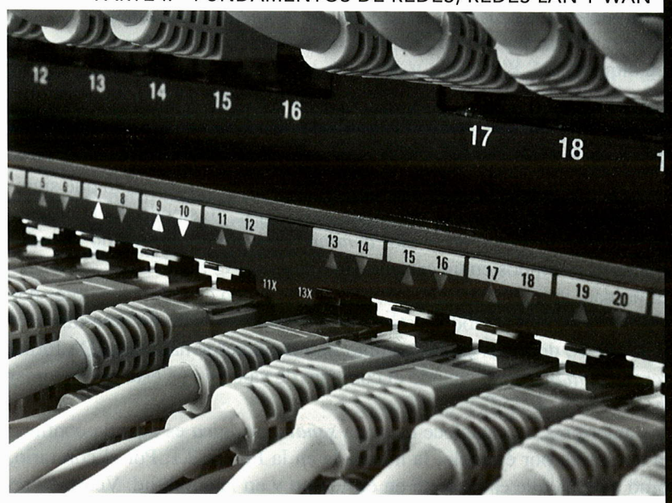
10. Justifique la veracidad o falsedad de la siguiente afirmación: todo servicio de comunicaciones se lleva a cabo usando cuatro primitivas de servicio: *Request, Indication, Response* y *Confirm*.

11. Clasifique los siguientes servicios como orientados a conexión / no orientados a conexión y confirmados / sin confirmación, razonando adecuadamente la respuesta:

a) Correo postal ordinario.
b) Correo certificado.
c) Envío y recepción de fax.
d) Conversación telefónica.
e) Domiciliación bancaria de recibos.
f) Solicitud de certificado de empadronamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Forouzan, B. A.: *Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones*. McGraw-Hill, 2007, 4.ª edición.
León-García, A.; Widjaja, I.: *Redes de Comunicación. Conceptos Fundamentales y Arquitecturas Básicas*. McGraw-Hill, 2001.
Peterson, L. L.; Davie, B. S.: *Computer Networks. A System Approach*. Morgan Kaufmann, 2011, 5.ª edición.
Stallings, W.: *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Pearson Educación, 2004. 7.ª edición.
Tanenbaum, A. D.; Wetherall, D. J.: *Computer Networks*. Prentice-Hall, 2011. 5.ª edición.



CAPÍTULO 2

TRANSMISIÓN DE DATOS

2.1. Análisis de señal
2.2. Medios de transmisión
2.3. Modos de transmisión. Modulación
2.4. Interfaces

Como inicio al estudio de las funciones y servicios realizados en las distintas capas en que se organiza una red de computadores, a lo largo de este tema se tratan los aspectos relativos a la capa física, centrada en la transmisión de la información sobre un canal de comunicaciones, sea este una red local, un simple cable, la atmósfera o cualquier otro soporte de transmisión existente entre un emisor y un receptor. De esta forma, el objetivo del presente capítulo es presentar los aspectos involucrados en el envío de información sin estructurar, es decir, de bits, mediante un sistema de comunicación que permita el intercambio de señales entre dos equipos. Estas señales, de tipo electromagnético en los sistemas actuales, deben poder ser interpretadas, de forma que se pueda asignar un significado en forma de bits a las mismas. En este contexto, el canal de transmisión, esto es, el medio físico por el que se propaga la información, desempeña un papel fundamental, dado que altera de diversas formas la señal que esté siendo propagada. Esto introduce limitaciones y problemas que deben ser resueltos para la correcta transmisión de la información. Las funcionalidades y servicios de la capa física deben, en consecuencia, proporcionar mecanismos que permitan el intercambio eficaz de información en presencia de dichas limitaciones.

Con este objetivo, el esquema del capítulo es el que sigue. En el primer apartado se introducen conceptos básicos sobre teoría de la señal tales como espectro y ancho de banda. Seguidamente se presentan distintos tipos de medios de transmisión, comentando sus características principales y sus limitaciones. Una cuestión fundamental en la transmisión de datos es la relativa a la modulación de señales, aspecto que se desarrolla a lo largo del Apartado 2.3 como proceso necesario para la adecuación de las señales a transmitir sobre el canal a las características de este. Finalmente, el capítulo concluye con la descripción de algunos tipos de interfaces empleadas en la interconexión de las estaciones finales con los dispositivos de transmisión/recepción que, en última instancia, son los que posibilitan la comunicación sobre el canal (Figura 1.1).