

CAPÍTULO 8

REDES DE COMPUTADORAS

INTRODUCCIÓN:

Definimos “redes de computadoras” a un conjunto de computadoras interconectadas. Se dice que dos computadoras están interconectadas si pueden intercambiar información. Los enlaces pueden ser: cables de cobre, fibras ópticas, microondas, rayos infrarrojos, etc.

Una red de computadoras no requiere homogeneidad de hardware ni de software. Las diferentes máquinas pueden tener diferentes procesadores y sistemas operativos.

Definimos “sistema distribuido” a un conjunto de computadoras independientes que aparece ante sus usuarios como un sistema consistente y único.

Una capa de software que se ejecuta sobre el sistema operativo, denominada middleware, es la responsable de implementar este modelo. Un ejemplo de un sistema distribuido es World Wide Web, en la cual todo se ve como un documento (una página Web).

Entonces, un sistema distribuido es un sistema de software construido sobre una red. Entonces, la diferencia entre una red y un sistema distribuido está en el software más que en el hardware.

Nota: Para más información acerca de los sistemas distribuidos, vea (Tanenbaum y Van Steen, 2002).

8.1 USOS DE LAS REDES DE COMPUTADORAS

8.1.1 Aplicaciones de negocios

Muchas compañías tienen una cantidad considerable de computadoras. Por ejemplo, una compañía podría tener computadoras separadas para supervisar la producción, controlar inventarios y hacer la nómina. Al principio estas computadoras tal vez hayan trabajado por separado, pero, en algún momento, la administración decidió conectarlas para extraer y correlacionar información acerca de toda la compañía.

Dicho de una manera más general, el asunto aquí es **compartir los recursos** y el objetivo es hacer que todos los programas, el equipo y, en particular, los datos estén disponibles para todos los que se conecten a la red, independientemente de la ubicación física del recurso y del usuario.

Un ejemplo claro y muy difundido es el de un grupo de oficinistas que comparten una impresora. Ninguno de los individuos necesita una impresora privada, y una impresora de alto volumen en red suele ser más barata, rápida y fácil de mantener que varias impresoras individuales.

Sin embargo, compartir información es tal vez más importante que compartir recursos físicos, como impresoras, escáneres y quemadores de CDs. Para las compañías grandes y medianas, así como para muchas pequeñas, la información computarizada es vital. La mayoría de las compañías tiene en línea registros de clientes, inventarios, cuentas por cobrar, estados financieros, información de impuestos, etcétera. Si todas las computadoras de un banco se cayeran, éste no duraría más de cinco minutos. Una moderna planta manufacturera, con una línea de ensamblado controlada por computadora, ni siquiera duraría ese tiempo. Incluso una pequeña agencia de viajes o un despacho jurídico de tres personas ahora dependen en gran medida de las

redes de computadoras para que sus empleados puedan tener acceso de manera instantánea a la información y a los documentos importantes.

En las compañías más pequeñas, es posible que todas las computadoras estén en una sola oficina o en un solo edificio, pero en las más grandes, las computadoras y los empleados pueden estar dispersos en docenas de oficinas y plantas en varios países. No obstante, un vendedor en Nueva York podría requerir algunas veces tener acceso a una base de datos de inventario de productos que se encuentra en Singapur. En otras palabras, el hecho de que un usuario esté a 15,000 km de sus datos no debe ser impedimento para que utilice esos datos como si fueran locales. Esta meta se podría resumir diciendo que es un intento por acabar con la “tiranía de la geografía”.

En términos aún más sencillos, es posible imaginar el sistema de información de una compañía como si consistiera en una o más bases de datos y algunos empleados que necesitan acceder a ellas de manera remota. En este modelo, los datos están almacenados en computadoras poderosas que se llaman **servidores**. Con frecuencia, éstos se encuentran alojados en una central y un administrador de sistemas les da mantenimiento. En contraste, los empleados tienen en sus escritorios máquinas más sencillas, llamadas **clientes**, con las que pueden acceder a datos remotos —por ejemplo, para incluirlos en las hojas de cálculo que están elaborando. (Algunas veces nos referiremos a los usuarios de las máquinas como “el cliente”, pero debe quedar claro, por el contexto, si el término se refiere a la computadora o a su usuario.) Las máquinas cliente y servidor están conectadas por una red, como se ilustra en la figura 8.1. Observe que hemos representado a la red como un óvalo sencillo, sin detalle alguno. Utilizaremos esta forma cuando nos refiramos a una red en sentido general. Cuando se requieran más detalles, los proporcionaremos.

Este conjunto se conoce como **modelo cliente-servidor**. Se utiliza ampliamente y forma la base en gran medida del uso de redes. Es aplicable cuando el cliente y el servidor están en el mismo edificio (por ejemplo, cuando pertenecen a la misma compañía), pero también cuando están bastante retirados. Por ejemplo, cuando una persona en casa accede a una página Web, se emplea el mismo modelo, en el que el servidor remoto de Web es el servidor y la computadora personal del usuario es el cliente. En la mayoría de los casos, un servidor puede manejar una gran cantidad de clientes.

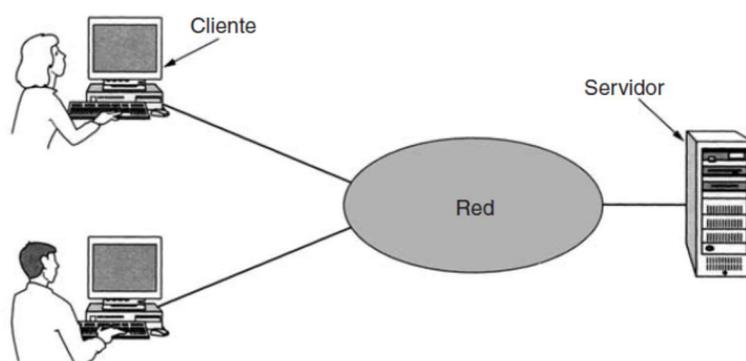


Figura 8.1 – Red con dos clientes y un servidor

Si vemos el modelo cliente-servidor en detalle, nos daremos cuenta de que hay dos procesos involucrados, uno en la máquina cliente y otro en la máquina servidor. La comunicación toma la siguiente forma: el proceso cliente envía una solicitud a través de la red al proceso servidor y espera una respuesta. Cuando el proceso servidor recibe la solicitud, realiza el

trabajo que se le pide o busca los datos solicitados y devuelve una respuesta. Estos mensajes se muestran en la figura 8.2.

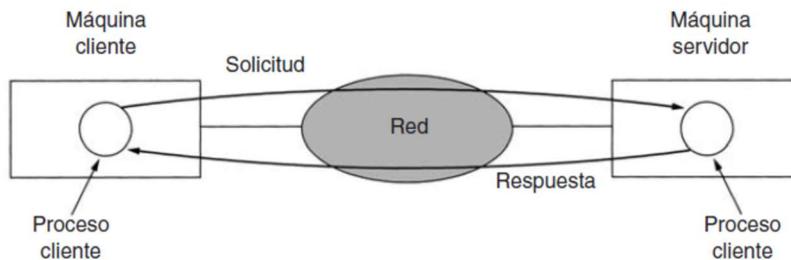


Figura 8.2 - El modelo cliente-servidor implica solicitudes y respuestas.

Un segundo objetivo de la configuración de una red de computadoras tiene que ver más con la gente que con la información e, incluso, con las computadoras mismas. Una red de computadoras es un poderoso **medio de comunicación** entre los empleados. Casi todas las compañías que tienen dos o más computadoras cuentan con **correo electrónico**, mediante el cual los empleados mantienen generalmente una comunicación diaria. De hecho, una queja común es la gran cantidad de correo electrónico que tenemos que atender, mucho de él sin sentido porque los jefes han descubierto que pueden enviar el mismo mensaje (a menudo sin contenido) a todos sus subordinados con sólo oprimir un botón.

Pero el correo electrónico no es la única forma de comunicación mejorada que las redes de computadoras hacen posible. Con una red es fácil que dos o más personas que trabajan a distancia escriban en conjunto un informe. Si un empleado hace un cambio a un documento en línea, los demás pueden ver el cambio de inmediato, en vez de esperar una carta durante varios días. Esta agilización facilita la cooperación entre grupos de personas que no se encuentran en el mismo lugar, lo cual antes había sido imposible.

Otra forma de comunicación asistida por computadora es la videoconferencia. Con esta tecnología, los empleados en ubicaciones distantes pueden tener una reunión, viéndose y escuchándose unos a otros e incluso escribiendo en una pizarra virtual compartida. La videoconferencia es una herramienta poderosa para eliminar el costo y el tiempo que anteriormente se empleaba en viajar. A veces se dice que la comunicación y el transporte están en competencia, y que el que gane hará obsoleto al otro.

Una tercera meta para cada vez más compañías es hacer negocios de manera electrónica con otras compañías, sobre todo proveedores y clientes. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles, de aviones, de computadoras, etcétera, compran subsistemas de diversos proveedores y luego ensamblan las partes. Mediante las redes de computadoras los fabricantes pueden hacer pedidos electrónicamente conforme se requieran. Tener la capacidad de hacer pedidos en tiempo real (es decir, conforme se requieren) reduce la necesidad de tener grandes inventarios y mejora la eficiencia.

Una cuarta meta que se está volviendo más importante es la de hacer negocios con consumidores a través de Internet. Las líneas aéreas, las librerías y los vendedores de música han descubierto que muchos consumidores prefieren realizar sus compras desde casa. Por consiguiente, muchas compañías proporcionan en línea catálogos de sus productos y servicios y levantan pedidos de la misma manera. Es lo que se conoce como **comercio electrónico**.

8.1.2 Aplicaciones domésticas

En 1977 Ken Olsen era presidente de Digital Equipment Corporation, que en esa época era el segundo proveedor de computadoras en el mundo (después de IBM). Cuando se le preguntó por qué Digital no perseguía el mercado de las computadoras personales en gran volumen, contestó: “No hay razón alguna para que un individuo tenga una computadora en su casa”. La historia demostró lo contrario y Digital ya no existe. ¿Por qué la gente compra computadoras para uso doméstico?

En principio, para procesamiento de texto y juegos, pero en los últimos años esto ha cambiado radicalmente. Tal vez la razón más importante ahora sea por el acceso a Internet. Algunos de los usos más comunes de Internet por parte de usuarios domésticos son los siguientes:

1. Acceso a información remota.
2. Comunicación de persona a persona.
3. Entretenimiento interactivo.
4. Comercio electrónico.

El acceso a la información remota se puede realizar por diversas razones. Puede ser que navegue por World Wide Web para obtener información o sólo por diversión. La información disponible incluye artes, negocios, cocina, gobiernos, salud, historia, pasatiempos, recreación, ciencia, deportes, viajes y muchas otras cosas más. La diversión viene en demasiadas formas como para mencionarlas, más algunas otras que es mejor no mencionar.

Muchos periódicos ahora están disponibles en línea y pueden personalizarse. Por ejemplo, en algunos casos le puede indicar a un periódico que desea toda la información acerca de políticos corruptos, incendios, escándalos que involucran a las celebridades y epidemias, pero nada sobre fútbol. Incluso puede hacer que los artículos que usted desea se descarguen en su disco duro o se impriman mientras usted duerme, para que cuando se levante a desayunar los tenga disponibles.

Mientras continúe esta tendencia, se provocará el desempleo masivo de los niños de 12 años que entregan los diarios, pero los periódicos lo quieren así porque la distribución siempre ha sido el punto débil en la gran cadena de producción.

El tema más importante después de los periódicos (además de las revistas y periódicos científicos) son las bibliotecas digitales en línea. Muchas organizaciones profesionales, como la ACM (www.acm.org) y la Sociedad de Computación del IEEE (www.computer.org), ya cuentan con muchos periódicos y presentaciones de conferencias en línea. Otros grupos están creciendo de manera rápida. Dependiendo del costo, tamaño y peso de las computadoras portátiles, los libros impresos podrían llegar a ser obsoletos. Los escépticos deben tomar en cuenta el efecto que la imprenta tuvo sobre los manuscritos ilustrados del medioevo.

Todas las aplicaciones anteriores implican las interacciones entre una persona y una base de datos remota llena de información. La segunda gran categoría del uso de redes es la comunicación de persona a persona, básicamente la respuesta del siglo XXI al teléfono del siglo XIX. Millones de personas en todo el mundo utilizan a diario el correo electrónico y su uso está creciendo rápidamente. Ya es muy común que contenga audio y vídeo, así como texto y figuras. Los aromas podrían tardar un poco más.

Muchas personas utilizan los **mensajes instantáneos**. Esta característica, derivada del programa *talk* de UNIX, que se utiliza aproximadamente desde 1970, permite que las personas se escriban mensajes en tiempo real. Una versión, para varias personas, de esta idea es el **salón de**

conversación (*chat room*), en el que un grupo de personas puede escribir mensajes para que todos los vean.

Los grupos de noticias mundiales, con debates sobre todo tema imaginable, ya son un lugar común entre un grupo selecto de personas y este fenómeno crecerá para abarcar a la población en general. Estos debates, en los que una persona envía un mensaje y todos los demás suscriptores del grupo de noticias lo pueden leer, van desde los humorísticos hasta los apasionados. A diferencia de los salones de conversación, los grupos de noticias no son en tiempo real y los mensajes se guardan para que cuando alguien vuelva de vacaciones, encuentre todos los mensajes que hayan sido enviados en el ínterin, esperando pacientemente a ser leídos.

Otro tipo de comunicación de persona a persona a menudo se conoce como comunicación de **igual a igual** (*peer to peer*), para distinguirla del modelo cliente-servidor (Parameswaran y cols., 2001). De esta forma, los individuos que forman un grupo esparcido se pueden comunicar con otros del grupo, como se muestra en la figura 8.3. Cada persona puede, en principio, comunicarse con una o más personas; no hay una división fija de clientes y servidores.

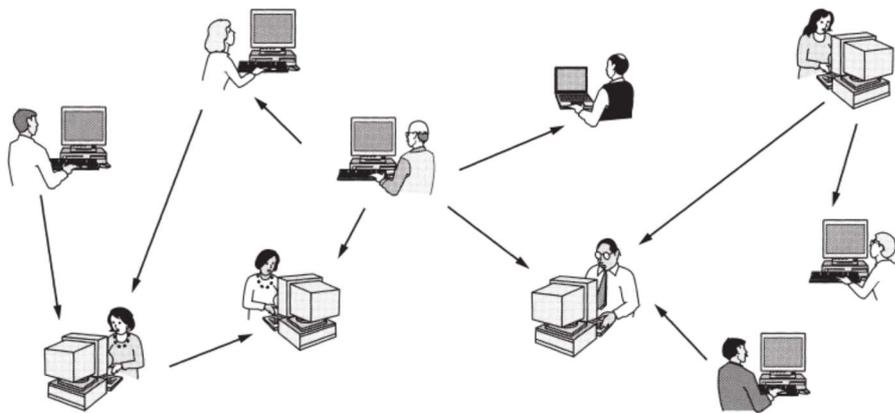


Figura 8.3 - En el sistema de igual a igual no hay clientes ni servidores fijos.

8.1.3 Usuarios móviles

Las computadoras portátiles, como las *notebook* y los asistentes personales digitales (PDAs), son uno de los segmentos de crecimiento más rápido de la industria de la computación.

Muchos propietarios de estas computadoras poseen máquinas de escritorio en la oficina y desean estar conectados a su base doméstica cuando están de viaje o fuera de casa. Puesto que no es posible tener una conexión alámbrica en autos y aviones, hay un gran interés en las redes inalámbricas.

En esta sección veremos brevemente algunos usos de ellas.

¿Por qué querría alguien una? Un argumento común es la oficina portátil. Con frecuencia, las personas que están de viaje desean utilizar sus equipos portátiles para enviar y recibir llamadas telefónicas, faxes y correo electrónico, navegar en Web, acceder a archivos remotos e iniciar sesión en máquinas remotas. Y desean hacer esto desde cualquier punto, ya sea por tierra, mar o aire. Por ejemplo, actualmente en las conferencias por computadora, los organizadores suelen configurar una red inalámbrica en el área de la conferencia. Cualquiera que tenga una computadora portátil y un módem inalámbrico puede conectarse a Internet, como si la computadora estuviera conectada a una red cableada. Del mismo modo, algunas universidades han instalado redes inalámbricas en sus campus para que los estudiantes se puedan sentar entre los árboles y consultar los archivos de la biblioteca o leer su correo electrónico.

Las redes inalámbricas son de gran utilidad para las flotas de camiones, taxis, vehículos de entrega y reparadores, para mantenerse en contacto con la casa. Por ejemplo, en muchas ciudades los taxistas trabajan por su cuenta, más que para una empresa de taxis. En algunas de estas ciudades, los taxis tienen una pantalla que el conductor puede ver. Cuando el cliente solicita un servicio, un despachador central escribe los puntos en los que el chofer deberá recoger y dejar al cliente. Esta información se despliega en las pantallas de los conductores y suena un timbre. El conductor que oprima primero un botón en la pantalla recibe la llamada.

Las redes inalámbricas también son importantes para la milicia. Si tiene que estar disponible en breve para pelear una guerra en cualquier parte de la Tierra, probablemente no sea bueno pensar en utilizar la infraestructura de conectividad de redes local. Lo mejor sería tener la propia.

Aunque la conectividad inalámbrica y la computación portátil se relacionan frecuentemente, no son idénticas, como se muestra en la figura 8.4, en la que vemos una diferencia entre **inalámbrica fija** e **inalámbrica móvil**. Incluso en ocasiones las computadoras portátiles son cableadas. Por ejemplo, si un viajero conecta una portátil a una toma telefónica en su habitación del hotel, tiene movilidad sin una red inalámbrica.

Inalámbrica	Móvil	Aplicaciones
No	No	Computadoras de escritorio en oficinas
No	Sí	Una computadora portátil usada en un cuarto de hotel
Sí	No	Redes en construcciones antiguas sin cableado
Sí	Sí	Oficina portátil; PDA para inventario de almacén

Figura 8.4 - Combinaciones de redes inalámbricas y computación móvil.

8.1.4 Temas sociales

La amplia introducción de las redes ha presentado problemas sociales, éticos y políticos. Mencionemos brevemente algunos de ellos; un estudio completo requeriría todo un libro, por lo menos.

Un rasgo popular de muchas redes son los **grupos de noticias** o boletines electrónicos mediante los cuales las personas pueden intercambiar mensajes con individuos de los mismos intereses. Siempre y cuando los asuntos se restrinjan a temas técnicos o pasatiempos como la jardinería, no surgirán demasiados problemas. El problema viene cuando los grupos de noticias se enfocan en temas que las personas en realidad tocan con cuidado, como política, religión o sexo. Los puntos de vista enviados a tales grupos podrían ser ofensivos para algunas personas. Peor aún, podrían no ser políticamente correctos.

Además, los mensajes no tienen que limitarse a texto. En la actualidad se pueden enviar fotografías en alta resolución e incluso pequeños videoclips a través de redes de computadoras.

Algunas personas practican la filosofía de vive y deja vivir, pero otras sienten que enviar cierto material (por ejemplo, ataques a países o religiones en particular, pornografía, etcétera) es sencillamente inaceptable y debe ser censurado. Los diversos países tienen diferentes y conflictivas leyes al respecto. De esta manera, el debate se aviva.

Las personas han demandado a los operadores de redes, afirmando que son responsables, como sucede en el caso de los periódicos y las revistas, del contenido que transmiten. La respuesta inevitable es que una red es como una compañía de teléfonos o la oficina de correos, por lo que no se puede esperar que vigilen lo que dicen los usuarios. Más aún, si los operadores de redes censuraran los mensajes, borrarían cualquier contenido que contuviera incluso la

mínima posibilidad de que se les demandara, pero con esto violarían los derechos de sus usuarios a la libre expresión. Probablemente lo más seguro sería decir que este debate seguirá durante algún tiempo.

Otra área divertida es la de los derechos de los empleados en comparación con los de los empleadores. Muchas personas leen y escriben correo electrónico en el trabajo. Muchos empleadores han exigido el derecho a leer y, posiblemente, censurar los mensajes de los empleados, incluso los enviados desde un equipo doméstico después de las horas de trabajo. No todos los empleados están de acuerdo con esto.

Incluso si los empleadores tienen poder sobre los empleados, ¿esta relación también rige a las universidades y los estudiantes? ¿Qué hay acerca de las escuelas secundarias y los estudiantes? En 1994, la Carnegie-Mellon University decidió suspender el flujo de mensajes entrantes de varios grupos de noticias que trataban sexo porque la universidad sintió que el material era inapropiado para menores (es decir, menores de 18 años). Tomó años recuperarse de este suceso.

Otro tema de importancia es el de los derechos del gobierno y los de los ciudadanos. El FBI ha instalado un sistema en muchos proveedores de servicios de Internet para curiosear entre todos los correos electrónicos en busca de fragmentos que le interesen (Blaze y Bellovin, 2000; Sobel, 2001; Zacks, 2001). El sistema se llamaba originalmente **Carnivore** pero la mala publicidad provocó que se cambiara el nombre por uno menos agresivo que sonara como DCS1000. Pero su objetivo sigue siendo el de espiar a millones de personas con la esperanza de encontrar información acerca de actividades ilegales. Por desgracia, la Cuarta Enmienda de la Constitución de Estados Unidos prohíbe que el gobierno realice investigaciones sin una orden de cateo. Decidir si estas palabras, escritas en el siglo XVIII, aún son válidas en el siglo XXI es un asunto que podría mantener ocupadas a las cortes hasta el siglo XXII.

8.2 HARDWARE DE REDES

Ya es tiempo de centrar nuevamente la atención en los temas técnicos correspondientes al diseño de redes (la parte de trabajo) y dejar a un lado las aplicaciones y los aspectos sociales de la conectividad (la parte divertida). Por lo general, no hay una sola clasificación aceptada en la que se ajusten todas las redes de computadoras, pero hay dos que destacan de manera importante: la tecnología de transmisión y la escala. Examinaremos cada una a la vez.

En un sentido amplio, hay dos tipos de tecnología de transmisión que se utilizan de manera extensa. Son las siguientes:

1. Enlaces de difusión.
2. Enlaces de punto a punto.

Las **redes de difusión** (*broadcast*) tienen un solo canal de comunicación, por lo que todas las máquinas de la red lo comparten. Si una máquina envía un mensaje corto —en ciertos contextos conocido como **paquete**—, todas las demás lo reciben. Un campo de dirección dentro del paquete especifica el destinatario. Cuando una máquina recibe un paquete, verifica el campo de dirección.

Si el paquete va destinado a esa máquina, ésta lo procesa; si va destinado a alguna otra, lo ignora. En una analogía, imagine a alguien que está parado al final de un corredor con varios cuartos a los lados y que grita: “Jorge, ven. Te necesito”. Aunque en realidad el grito (paquete) podría haber sido escuchado (recibido), por muchas personas, sólo Jorge responde (lo procesa). Los demás simplemente lo ignoran. Otra analogía es la de los anuncios en un aeropuerto que piden a todos los pasajeros del vuelo 644 se reporten en la puerta 12 para abordar de inmediato.

Por lo general, los sistemas de difusión también permiten el direccionamiento de un paquete a *todos* los destinos utilizando un código especial en el campo de dirección. Cuando se transmite un paquete con este código, todas las máquinas de la red lo reciben y procesan. Este modo de operación se conoce como **difusión** (*broadcasting*). Algunos sistemas de difusión también soportan la transmisión a un subconjunto de máquinas, algo conocido como **multidifusión** (*multicasting*).

Un esquema posible es la reserva de un bit para indicar la multidifusión. Los bits de dirección $n - 1$ restantes pueden contener un número de grupo. Cada máquina puede “suscribirse” a alguno o a todos los grupos. Cuando se envía un paquete a cierto grupo, se distribuye a todas las máquinas que se suscriben a ese grupo.

En contraste, las redes **punto a punto** constan de muchas conexiones entre pares individuales de máquinas. Para ir del origen al destino, un paquete en este tipo de red podría tener que visitar primero una o más máquinas intermedias. A menudo es posible que haya varias rutas o longitudes diferentes, de manera que encontrar las correctas es importante en redes de punto a punto. Por regla general (aunque hay muchas excepciones), las redes más pequeñas localizadas en una misma área geográfica tienden a utilizar la difusión, mientras que las más grandes suelen ser de punto a punto. La transmisión de punto a punto con un emisor y un receptor se conoce como **unidifusión** (*unicasting*).

Un criterio alternativo para la clasificación de las redes es su escala. En la figura 8.5 clasificamos los sistemas de procesadores múltiples por tamaño físico. En la parte superior se muestran las **redes de área personal**, que están destinadas para una sola persona. Por ejemplo, una red inalámbrica que conecta una computadora con su ratón, teclado e impresora, es una red de área personal.

Incluso un PDA que controla el audífono o el marcapaso de un usuario encaja en esta categoría. A continuación de las redes de área personal se encuentran redes más grandes. Se pueden dividir en redes de área local, de área metropolitana y de área amplia. Por último, la conexión de dos o más redes se conoce como interred.

Distancia entre procesadores	Procesadores ubicados en el mismo	Ejemplo
1 m	Metro cuadrado	Red de área personal
10 m	Cuarto	
100 m	Edificio	Red de área local
1 km	Campus	
10 km	Ciudad	Red de área metropolitana
100 km	País	Red de área amplia
1,000 km	Continente	
10,000 km	Planeta	Internet

Figura 8.5 - Clasificación de procesadores interconectados por escala.

8.2.1 Redes de área local

Las **redes de área local** (generalmente conocidas como LANs) son redes de propiedad privada que se encuentran en un solo edificio o en un campus de pocos kilómetros de longitud. Se utilizan ampliamente para conectar computadoras personales y estaciones de trabajo en oficinas de una empresa y de fábricas para compartir recursos (por ejemplo, impresoras) e intercambiar información.

Las LANs son diferentes de otros tipos de redes en tres aspectos: 1) tamaño; 2) tecnología de transmisión y 3) topología.

Las LANs están restringidas por tamaño, es decir, el tiempo de transmisión en el peor de los casos es limitado y conocido de antemano. El hecho de conocer este límite permite utilizar ciertos tipos de diseño, lo cual no sería posible de otra manera. Esto también simplifica la administración de la red.

Las LANs podrían utilizar una tecnología de transmisión que consiste en un cable al cual están unidas todas las máquinas, como alguna vez lo estuvo parte de las líneas de las compañías telefónicas en áreas rurales. Las LANs tradicionales se ejecutan a una velocidad de 10 a 100 Mbps, tienen un retardo bajo (microsegundos o nanosegundos) y cometen muy pocos errores. Las LANs más nuevas funcionan hasta a 10 Gbps. Nosotros continuaremos con lo tradicional y mediremos las velocidades de las líneas en megabits por segundo (1 Mbps es igual a 1,000,000 de bits por segundo) y gigabits por segundo (1 Gbps es igual a 1,000,000,000 de bits por segundo). Para las LANs de difusión son posibles varias topologías. La figura 8.6 muestra dos de ellas.

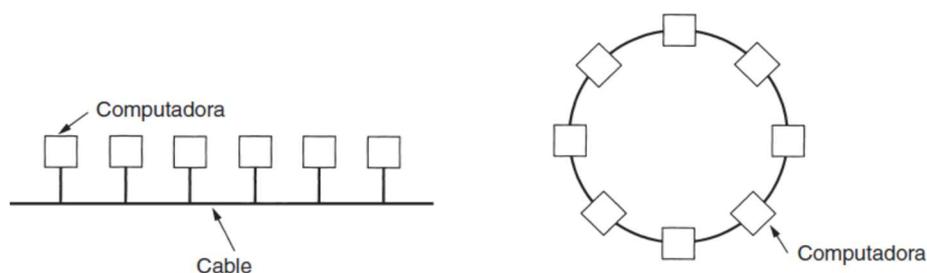


Figura 8.6 - Dos redes de difusión. (a) De bus. (b) De anillo.

En una red de bus (es decir, un cable lineal), en cualquier instante al menos una máquina es la maestra y puede transmitir. Todas las demás máquinas se abstienen de enviar. Cuando se presenta el conflicto de que dos o más máquinas desean transmitir al mismo tiempo, se requiere un mecanismo de arbitraje. Tal mecanismo podría ser centralizado o distribuido. Por ejemplo, el IEEE 802.3, popularmente conocido como **Ethernet**, es una red de difusión basada en bus con control descentralizado, que por lo general funciona de 10 Mbps a 10 Gbps. Las computadoras que están en una Ethernet pueden transmitir siempre que lo deseen; si dos o más paquetes entran en colisión, cada computadora espera un tiempo aleatorio y lo intenta de nuevo más tarde.

8.2.2 Redes de área metropolitana

Una **red de área metropolitana (MAN)** abarca una ciudad. El ejemplo más conocido de una MAN es la red de televisión por cable disponible en muchas ciudades. Este sistema creció a partir de los primeros sistemas de antena comunitaria en áreas donde la recepción de la televisión al aire era pobre. En dichos sistemas se colocaba una antena grande en la cima de una colina cercana y la señal se canalizaba a las casas de los suscriptores.

Al principio eran sistemas diseñados de manera local con fines específicos. Después las compañías empezaron a pasar a los negocios, y obtuvieron contratos de los gobiernos de las ciudades para cablear toda una ciudad. El siguiente paso fue la programación de televisión e incluso canales designados únicamente para cable. Con frecuencia, éstos emitían programas de un solo tema, como sólo noticias, deportes, cocina, jardinería, etcétera. Sin embargo, desde su inicio y hasta finales de la década de 1990, estaban diseñados únicamente para la recepción de televisión.

A partir de que Internet atrajo una audiencia masiva, los operadores de la red de TV por cable se dieron cuenta de que, con algunos cambios al sistema, podrían proporcionar servicio de Internet de dos vías en las partes sin uso del espectro. En ese punto, el sistema de TV por cable empezaba a transformarse de una forma de distribución de televisión a una red de área metropolitana. Para que se dé una idea, una MAN podría verse como el sistema que se muestra en la figura 8.7, donde se aprecia que las señales de TV e Internet se alimentan hacia un **amplificador head end** para enseguida transmitirse a las casas de las personas.

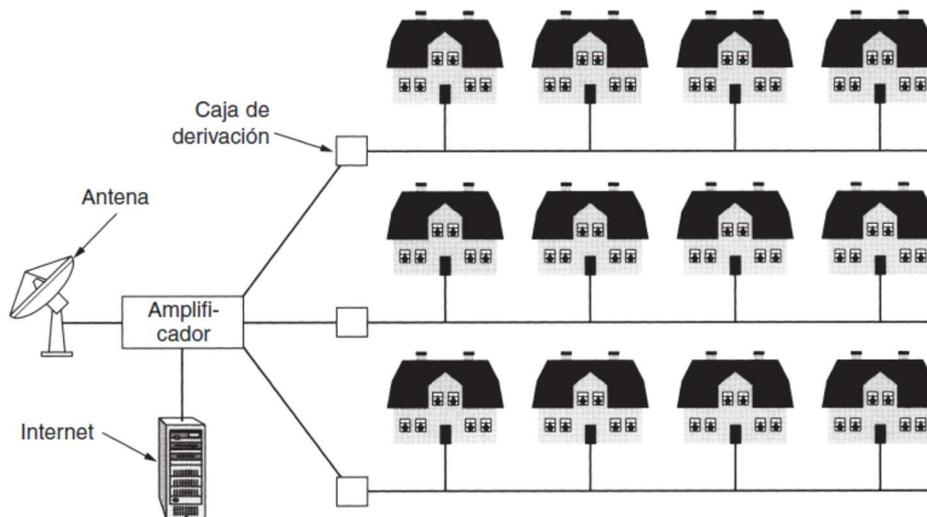


Figura 8.7 - Una red de área metropolitana, basada en TV por cable.

8.2.3 Redes de área amplia

Una red de área amplia (WAN), abarca una gran área geográfica, con frecuencia un país o un continente. Contiene un conjunto de máquinas diseñado para programas (es decir, aplicaciones) de usuario. Seguiremos el uso tradicional y llamaremos *hosts* a estas máquinas. Los *hosts* están conectados por una subred de comunicación, o simplemente subred, para abreviar. Los clientes son quienes poseen a los *hosts* (es decir, las computadoras personales de los usuarios), mientras que, por lo general, las compañías telefónicas o los proveedores de servicios de Internet poseen y operan la subred de comunicación. La función de una subred es llevar mensajes de un *host* a otro, como lo hace el sistema telefónico con las palabras del que habla al que escucha. La separación de los aspectos de la comunicación pura de la red (la subred) de los aspectos de la aplicación (los *hosts*), simplifica en gran medida todo el diseño de la red.

En la mayoría de las redes de área amplia la subred consta de dos componentes distintos: líneas de transmisión y elementos de conmutación. Las **líneas de transmisión** mueven bits entre máquinas.

Pueden estar hechas de cable de cobre, fibra óptica o, incluso, radioenlaces. Los **elementos de conmutación** son computadoras especializadas que conectan tres o más líneas de transmisión.

Cuando los datos llegan a una línea de entrada, el elemento de conmutación debe elegir una línea de salida en la cual reenviarlos. Estas computadoras de conmutación reciben varios nombres; conmutadores y enrutadores son los más comunes.

En este modelo, que se muestra en la figura 8.8, cada *host* está conectado frecuentemente a una LAN en la que existe un enrutador, aunque en algunos casos un *host* puede estar conectado

de manera directa a un enrutador. El conjunto de líneas de comunicación y enrutadores (pero no de *hosts*) forma la subred.

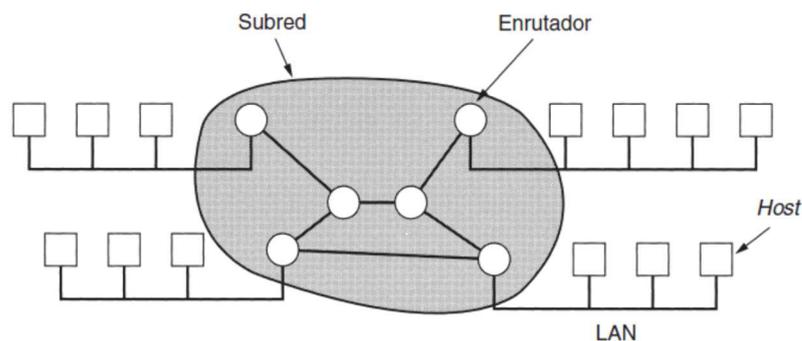


Figura 8.8 - Relación entre *hosts* de LANs y la subred.

A continuación, se presenta un breve comentario acerca del término “subred”. Originalmente, su **único** significado era el conjunto de enrutadores y líneas de comunicación que movía paquetes del *host* de origen al de destino. Sin embargo, algunos años más tarde también adquirió un segundo significado junto con el direccionamiento de redes. Desgraciadamente, no existe una alternativa de amplio uso con respecto a su significado inicial por lo que, con algunas reservas, utilizaremos este término en ambos sentidos. El contexto dejará en claro su significado.

En la mayoría de las WANs, la red contiene numerosas líneas de transmisión, cada una de las cuales conecta un par de enrutadores. Si dos enrutadores que no comparten una línea de transmisión quieren conectarse, deberán hacerlo de manera indirecta, a través de otros enrutadores. Cuando un paquete es enviado desde un enrutador a otro a través de uno o más enrutadores intermedios, el paquete se recibe en cada enrutador intermedio en su totalidad, se almacena ahí hasta que la línea de salida requerida esté libre y, por último, se reenvía. Una subred organizada a partir de este principio se conoce como subred de **almacenamiento y reenvío** (*store and forward*) o de **conmutación de paquetes**. Casi todas las redes de área amplia (excepto las que utilizan satélites) tienen subredes de almacenamiento y reenvío. Cuando los paquetes son pequeños y tienen el mismo tamaño, se les llama **celdas**.

El principio de una WAN de conmutación de paquetes es tan importante que vale la pena dedicarle algunas palabras más. En general, cuando un proceso de cualquier *host* tiene un mensaje que se va a enviar a un proceso de algún otro *host*, el *host* emisor divide primero el mensaje en paquetes, los cuales tienen un número de secuencia. Estos paquetes se envían entonces por la red de uno en uno en una rápida sucesión. Los paquetes se transportan de forma individual a través de la red y se depositan en el *host* receptor, donde se reensamblan en el mensaje original y se entregan al proceso receptor. En la figura 8.9 se ilustra un flujo de paquetes correspondiente a algún mensaje inicial.

En esta figura todos los paquetes siguen la ruta *ACE* en vez de la *ABDE* o *ACDE*. En algunas redes todos los paquetes de un mensaje determinado *deben* seguir la misma ruta; en otras, cada paquete se enruta por separado. Desde luego, si *ACE* es la mejor ruta, todos los paquetes se podrían enviar a través de ella, incluso si cada paquete se enruta de manera individual.

Las decisiones de enrutamiento se hacen de manera local. Cuando un paquete llega al enrutador *A*, éste debe decidir si el paquete se enviará hacia *B* o hacia *C*. La manera en que el enrutador *A* toma esa decisión se conoce como **algoritmo de enrutamiento**.

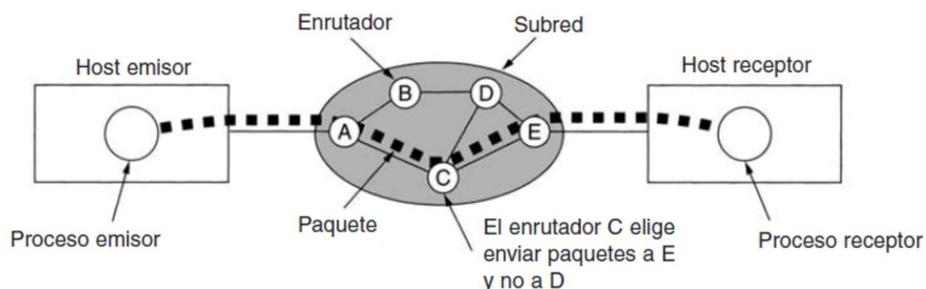


Figura 8.9 - Flujo de paquetes desde un emisor a un receptor.

8.2.4 Redes inalámbricas

La comunicación inalámbrica digital no es una idea nueva. A principios de 1901, el físico italiano Guillermo Marconi demostró un telégrafo inalámbrico desde un barco a tierra utilizando el código Morse (después de todo, los puntos y rayas son binarios). Los sistemas inalámbricos digitales de la actualidad tienen un mejor desempeño, pero la idea básica es la misma.

Como primera aproximación, las redes inalámbricas se pueden dividir en tres categorías principales:

1. Interconexión de sistemas.
2. LANs inalámbricas.
3. WANs inalámbricas.

La interconexión de sistemas se refiere a la interconexión de componentes de una computadora que utiliza radio de corto alcance. La mayoría de las computadoras tiene un monitor, teclado, ratón e impresora, conectados por cables a la unidad central. Son tantos los usuarios nuevos que tienen dificultades para conectar todos los cables en los enchufes correctos (aun cuando suelen estar codificados por colores) que la mayoría de los proveedores de computadoras ofrece la opción de enviar a un técnico a la casa del usuario para que realice esta tarea. En consecuencia, algunas compañías se reunieron para diseñar una red inalámbrica de corto alcance llamada **Bluetooth** para conectar sin cables estos componentes. Bluetooth también permite conectar cámaras digitales, auriculares, escáneres y otros dispositivos a una computadora con el único requisito de que se encuentren dentro del alcance de la red. Sin cables, sin instalación de controladores, simplemente se colocan, se encienden y funcionan. Para muchas personas, esta facilidad de operación es algo grandioso.

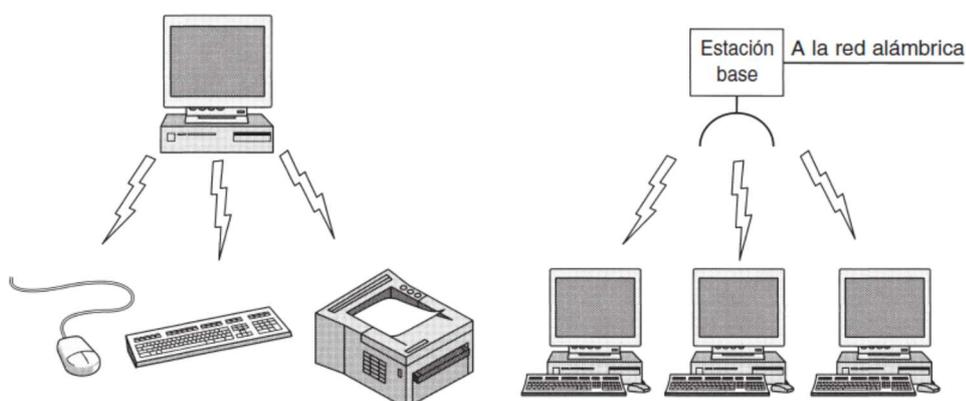


Figura 8.10 - (a) Configuración Bluetooth. (b) LAN inalámbrica.

En la forma más sencilla, las redes de interconexión de sistemas utilizan el paradigma del maestro y el esclavo de la figura 8.10 (a). La unidad del sistema es, por lo general, el maestro que trata al ratón, al teclado, etcétera, como a esclavos. El maestro le dice a los esclavos qué direcciones utilizar, cuándo pueden difundir, durante cuánto tiempo pueden transmitir, qué frecuencias pueden utilizar, etcétera.

El siguiente paso en la conectividad inalámbrica son las LANs inalámbricas. Son sistemas en los que cada computadora tiene un módem de radio y una antena mediante los que se puede comunicar con otros sistemas. En ocasiones, en el techo se coloca una antena con la que las máquinas se comunican, como se ilustra en la figura 8.10 (b). Sin embargo, si los sistemas están lo suficientemente cerca, se pueden comunicar de manera directa entre sí en una configuración de igual a igual. Las LANs inalámbricas se están haciendo cada vez más comunes en casas y oficinas pequeñas, donde instalar Ethernet se considera muy problemático, así como en oficinas ubicadas en edificios antiguos, cafeterías de empresas, salas de conferencias y otros lugares. Existe un estándar para las LANs inalámbricas, llamado **IEEE 802.11**, que la mayoría de los sistemas implementa y que se ha extendido ampliamente.

El tercer tipo de red inalámbrica se utiliza en sistemas de área amplia. La red de radio utilizada para teléfonos celulares es un ejemplo de un sistema inalámbrico de banda ancha baja. Este sistema ha pasado por tres generaciones. La primera era analógica y sólo para voz. La segunda era digital y sólo para voz. La tercera generación es digital y es tanto para voz como para datos. En cierto sentido, las redes inalámbricas celulares son como las LANs inalámbricas, excepto porque las distancias implicadas son mucho más grandes y las tasas de bits son mucho más bajas. Las LANs inalámbricas pueden funcionar a tasas de hasta 50 Mbps en distancias de decenas de metros.

Los sistemas celulares funcionan debajo de 1 Mbps, pero la distancia entre la estación base y la computadora o teléfono se mide en kilómetros más que en metros. Además de estas redes de baja velocidad, también se han desarrollado las redes inalámbricas de área amplia con alto ancho de banda. El enfoque inicial es el acceso inalámbrico a Internet a alta velocidad, desde los hogares y las empresas, dejando a un lado el sistema telefónico. Este servicio se suele llamar servicio de distribución local multipuntos. También se ha desarrollado un estándar para éste, llamado IEEE 802.16.

La mayoría de las redes inalámbricas se enlaza a la red alámbrica en algún punto para proporcionar acceso a archivos, bases de datos e Internet. Hay muchas maneras de efectuar estas conexiones, dependiendo de las circunstancias.

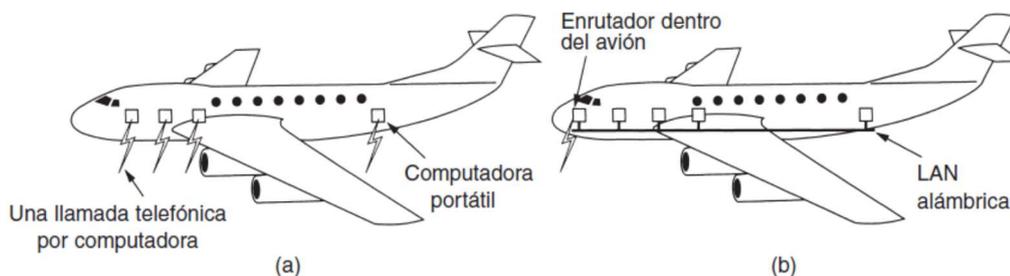


Figura 8.11 - (a) Computadoras móviles individuales. (b) LAN dentro del avión.

Por ejemplo, en la figura 8.11 (a) mostramos un aeroplano con una serie de personas que utilizan módems y los teléfonos de los respaldos para llamar a la oficina. Cada llamada es independiente de las demás. Sin embargo, una opción mucho más eficiente es la LAN dentro del

avión de la figura 8.11 (b), donde cada asiento está equipado con un conector Ethernet al cual los pasajeros pueden acoplar sus computadoras. El avión tiene un solo enrutador, el cual mantiene un enlace de radio con algún enrutador que se encuentre en tierra, y cambia de enrutador conforme avanza el vuelo. Esta configuración es una LAN tradicional, excepto porque su conexión al mundo exterior se da mediante un enlace por radio en lugar de una línea cableada.

8.2.5 Redes domésticas

La conectividad doméstica está en el horizonte. La idea fundamental es que en el futuro la mayoría de los hogares estarán preparados para conectividad de redes. Cualquier dispositivo del hogar será capaz de comunicarse con todos los demás dispositivos y todos podrán accederse por Internet. Éste es uno de esos conceptos visionarios que nadie solicitó (como los controles remotos de TV o los teléfonos celulares), pero una vez que han llegado nadie se puede imaginar cómo habrían podido vivir sin ellos.

Muchos dispositivos son capaces de estar conectados en red. Algunas de las categorías más evidentes (con ejemplos) son las siguientes:

1. Computadoras (de escritorio, portátiles, PDAs, periféricos compartidos).
2. Entretenimiento (TV, DVD, videocámara, cámara fotográfica, estereofónicos, MP3).
3. Telecomunicaciones (teléfono, teléfono móvil, intercomunicadores, fax).
4. Aparatos electrodomésticos (horno de microondas, refrigerador, reloj, horno, aire acondicionado, luces).
5. Telemetría y vigilancia (utilidades para medición, alarma contra fuego y robo, termostato, cámaras inalámbricas).

La conectividad de computadoras domésticas ya está aquí. Muchas casas ya cuentan con un dispositivo para conectar varias computadoras para una conexión rápida a Internet.

El entretenimiento por red ya existe, en cuanto más y más música y películas se puedan descargar de Internet, habrá más demanda para que los equipos de audio y las televisiones que se conectan a Internet. Incluso las personas que desean compartir sus propios vídeos con amigos y familiares, usan una conexión en ambos sentidos. Los dispositivos de telecomunicaciones no sólo están conectados al mundo exterior de forma analógica: ya se comercializan TV digitales con capacidad de funcionar sobre Internet. También existen cajas que adaptan un TV analógico a Internet y la red del hogar. Por último, el monitoreo remoto de la casa y su contenido es el probable ganador. Es muy factible que muchos padres deseen invertir en monitorear con sus PDAs a sus bebés dormidos cuando van a cenar fuera de casa, aun cuando contraten a una niñera. Si bien podemos imaginar una red separada para cada área de aplicación, la integración de todas en una sola red es probablemente una mejor idea.

La conectividad doméstica tiene algunas propiedades diferentes a las de otro tipo de redes. Primero, la red y los dispositivos deben ser fáciles de instalar. El autor ha instalado numerosas piezas de hardware y software en varias computadoras durante varios años con resultados diferentes. Al realizar una serie de llamadas telefónicas al personal de soporte técnico del proveedor por lo general recibió respuestas como: 1) Lea el manual; 2) Reinicie la computadora; 3) Elimine todo el hardware y software, excepto los nuestros, y pruebe de nuevo; 4) Descargue de nuestro sitio Web el controlador más reciente y, si todo eso falla, 5) Reformatee el disco duro y reinstale Windows desde el DVD. Decirle al comprador de un refrigerador con capacidad de Internet que descargue e instale una nueva versión del sistema operativo del refrigerador, no conduce a tener clientes contentos. Los usuarios de computadoras están acostumbrados a soportar productos que no funcionan; los clientes que compran automóviles, televisiones y

refrigeradores son mucho menos tolerantes y esperan productos que trabajen al 100% desde que se compran.

Segundo, la red y los dispositivos deben estar plenamente probados en operación. Los equipos de aire acondicionado solían tener una perilla con cuatro parámetros: OFF, LOW, MEDIUM y HIGH (apagado, bajo, medio, alto). Ahora tienen manuales de 30 páginas. Una vez que puedan conectarse en red, no se le haga extraño que tan sólo el capítulo de seguridad tenga 30 páginas. Esto estará más allá de la comprensión de prácticamente todos los usuarios.

Tercero, el precio bajo es esencial para el éxito. Muy pocas personas, si no es que ninguna, pagarán un precio adicional de \$50 por un termostato con capacidad de Internet, debido a que no considerarán que monitorear la temperatura de sus casas desde sus trabajos sea algo importante. Tal vez por \$5 sí lo comprarían.

Cuarto, la principal aplicación podría implicar multimedia, por lo que la red necesita capacidad suficiente. No hay mercado para televisiones conectadas a Internet que proyecten películas inseguras a una resolución de 320 · 240 píxeles y 10 cuadros por segundo. Fast Ethernet, el caballo de batalla en la mayoría de las oficinas, no es bastante buena para multimedia. En consecuencia, para que las redes domésticas lleguen a ser productos masivos en el mercado, requerirán mejor desempeño que el de las redes de oficina actuales, así como precios más bajos.

Quinto, se podría empezar con uno o dos dispositivos y expandir de manera gradual el alcance de la red. Esto significa que no habrá problemas con el formato. Decir a los consumidores que adquieran periféricos con interfaces IEEE 1394 (FireWire) y años después retractarse y decir que USB 3.0 es la interfaz del futuro, es hacer clientes caprichosos. La interfaz de red tendrá que permanecer estable durante algunos años.

Sexto, la seguridad y la confianza serán muy importantes. Perder algunos archivos por un virus de correo electrónico es una cosa; que un ladrón desarme su sistema de seguridad desde su PDA y luego saquee su casa es algo muy diferente.

Una pregunta interesante es si las redes domésticas serán cableadas o inalámbricas. La mayoría de los hogares ya tiene seis redes instaladas: electricidad, teléfono, televisión por cable, agua, gas y alcantarillado. Agregar una séptima durante la construcción de una casa no es difícil, pero acondicionar las casas existentes para agregar dicha red es costoso. Los costos favorecen la conectividad inalámbrica, pero la seguridad favorece la conectividad alámbrica. El problema con la conectividad inalámbrica es que las ondas de radio que utiliza traspasan las paredes con mucha facilidad. No a todos les gusta la idea de que cuando vaya a imprimir, se tope con la conexión de su vecino y pueda leer el correo electrónico de éste. En el capítulo 7 estudiamos cómo se puede utilizar la encriptación para proporcionar seguridad, pero en el contexto de una red doméstica la seguridad debe estar bien probada, incluso para usuarios inexpertos. Es más fácil decirlo que hacerlo, incluso en el caso de usuarios expertos.

Para abreviar, la conectividad doméstica ofrece muchas oportunidades y retos. La mayoría de ellos se relaciona con la necesidad de que sean fáciles de manejar, confiables y seguros, en particular en manos de usuarios no técnicos, y que al mismo tiempo proporcionen alto desempeño a bajo costo.

8.2.6 Interredes

Existen muchas redes en el mundo, a veces con hardware y software diferentes. Con frecuencia, las personas conectadas a una red desean comunicarse con personas conectadas a otra red diferente.

La satisfacción de este deseo requiere que se conecten diferentes redes, con frecuencia incompatibles, a veces mediante máquinas llamadas **puertas de enlace** (*gateways*) para hacer la conexión y proporcionar la traducción necesaria, tanto en términos de hardware como de software.

Un conjunto de redes interconectadas se llama **interred**.

Una forma común de interred es el conjunto de LANs conectadas por una WAN. De hecho, si tuviéramos que reemplazar la etiqueta “subred” en la figura 8.8 por “WAN”, no habría nada más que cambiar en la figura. En este caso, la única diferencia técnica real entre una subred y una WAN es si hay *hosts* presentes. Si el sistema que aparece en el área gris contiene solamente enrutadores, es una subred; si contiene enrutadores y *hosts*, es una WAN. Las diferencias reales se relacionan con la propiedad y el uso.

Subredes, redes e interredes con frecuencia se confunden. La subred tiene más sentido en el contexto de una red de área amplia, donde se refiere a un conjunto de enrutadores y líneas de comunicación poseídas por el operador de redes. Como una analogía, el sistema telefónico consta de oficinas de conmutación telefónica que se conectan entre sí mediante líneas de alta velocidad, y a los hogares y negocios, mediante líneas de baja velocidad. Estas líneas y equipos, poseídas y administradas por la compañía de teléfonos, forman la subred del sistema telefónico. Los teléfonos mismos (los *hosts* en esta analogía) no son parte de la subred. La combinación de una subred y sus *hosts* forma una red. En el caso de una LAN, el cable y los *hosts* forman la red. En realidad, ahí no hay una subred.

Una interred se forma cuando se interconectan redes diferentes. Desde nuestro punto de vista, al conectar una LAN y una WAN o conectar dos LANs se forma una interred, pero existe poco acuerdo en la industria en cuanto a la terminología de esta área. Una regla de oro es que, si varias empresas pagaron por la construcción de diversas partes de la red y cada una mantiene su parte, tenemos una interred más que una sola red. Asimismo, si la terminología subyacente es diferente en partes diferentes (por ejemplo, difusión y punto a punto), probablemente tengamos dos redes.

8.3 SOFTWARE DE REDES

Las primeras redes de computadoras se diseñaron teniendo al hardware como punto principal y al software como secundario. Esta estrategia ya no funciona. Actualmente el software de redes está altamente estructurado. En las siguientes secciones examinaremos en detalle la técnica de estructuración de software. El método descrito aquí es la clave de todo el libro y se presentará con mucha frecuencia más adelante.

8.3.1 Jerarquías de protocolos

Para reducir la complejidad de su diseño, la mayoría de las redes está organizada como una pila de **capas** o **niveles**, cada una construida a partir de la que está debajo de ella. El número de capas, así como el nombre, contenido y función de cada una de ellas difieren de red a red. El propósito de cada capa es ofrecer ciertos servicios a las capas superiores, a las cuales no se les muestran los detalles reales de implementación de los servicios ofrecidos.

Este concepto es muy conocido y utilizado en la ciencia computacional, donde se conoce de diversas maneras, como ocultamiento de información, tipos de datos abstractos, encapsulamiento de datos y programación orientada a objetos. La idea básica es que una pieza particular de software (o hardware) proporciona un servicio a sus usuarios, pero nunca les muestra los detalles de su estado interno ni sus algoritmos.

La capa n de una máquina mantiene una conversación con la capa n de otra máquina. Las reglas y convenciones utilizadas en esta conversación se conocen de manera colectiva como protocolo de capa n . Básicamente, un **protocolo** es un acuerdo entre las partes en comunicación sobre cómo se debe llevar a cabo la comunicación. Como una analogía, cuando se presenta una mujer con un hombre, ella podría elegir no darle la mano. Él, a su vez, podría decidir saludarla de mano o de beso, dependiendo, por ejemplo, de si es una abogada americana o una princesa europea en una reunión social formal. Violar el protocolo hará más difícil la comunicación, si no es que imposible.

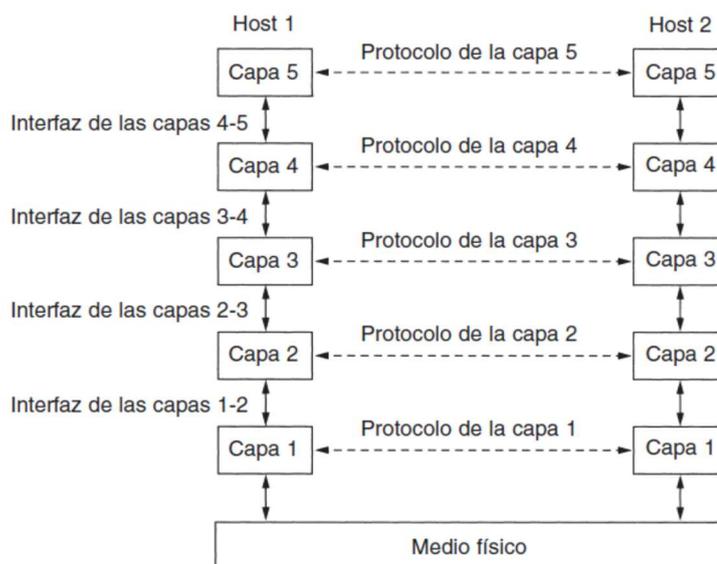


Figura 8.12 - Capas, protocolos e interfaces.

En la figura 8.12 se ilustra una red de cinco capas. Las entidades que abarcan las capas correspondientes en diferentes máquinas se llaman **iguales** (*peers*). Los iguales podrían ser procesos, dispositivos de hardware o incluso seres humanos. En otras palabras, los iguales son los que se comunican a través del protocolo.

En realidad, los datos no se transfieren de manera directa desde la capa n de una máquina a la capa n de la otra máquina, sino que cada capa pasa los datos y la información de control a la capa inmediatamente inferior, hasta que se alcanza la capa más baja. Debajo de la capa 1 se encuentra el **medio físico** a través del cual ocurre la comunicación real. En la figura 8.12, la comunicación virtual se muestra con líneas punteadas, en tanto que la física, con líneas sólidas.

Entre cada par de capas adyacentes está una **interfaz**. Ésta define qué operaciones y servicios primitivos pone la capa más baja a disposición de la capa superior inmediata. Cuando los diseñadores de redes deciden cuántas capas incluir en una red y qué debe hacer cada una, una de las consideraciones más importantes es definir interfaces limpias entre las capas. Hacerlo así, a su vez, requiere que la capa desempeñe un conjunto específico de funciones bien entendidas.

Además de minimizar la cantidad de información que se debe pasar entre las capas, las interfaces bien definidas simplifican el reemplazo de la implementación de una capa con una implementación totalmente diferente (por ejemplo, todas las líneas telefónicas se reemplazan con canales por satélite) porque todo lo que se pide de la nueva implementación es que ofrezca exactamente el mismo conjunto de servicios a su vecino de arriba, como lo hacía la implementación anterior. De hecho, es muy común que diferentes *hosts* utilicen diferentes implementaciones.

Un conjunto de capas y protocolos se conoce como **arquitectura de red**. La especificación de una arquitectura debe contener información suficiente para permitir que un implementador escriba el programa o construya el hardware para cada capa de modo que se cumpla correctamente con el protocolo apropiado. Ni los detalles de la implementación ni las especificaciones de las interfaces son parte de la arquitectura porque están ocultas en el interior de las máquinas y no son visibles desde el exterior. Incluso, tampoco es necesario que las interfaces de todas las máquinas en una red sean las mismas, siempre y cuando cada máquina pueda utilizar correctamente todos los protocolos. La lista de protocolos utilizados por un sistema, un protocolo por capa, se conoce como **pila de protocolos**.

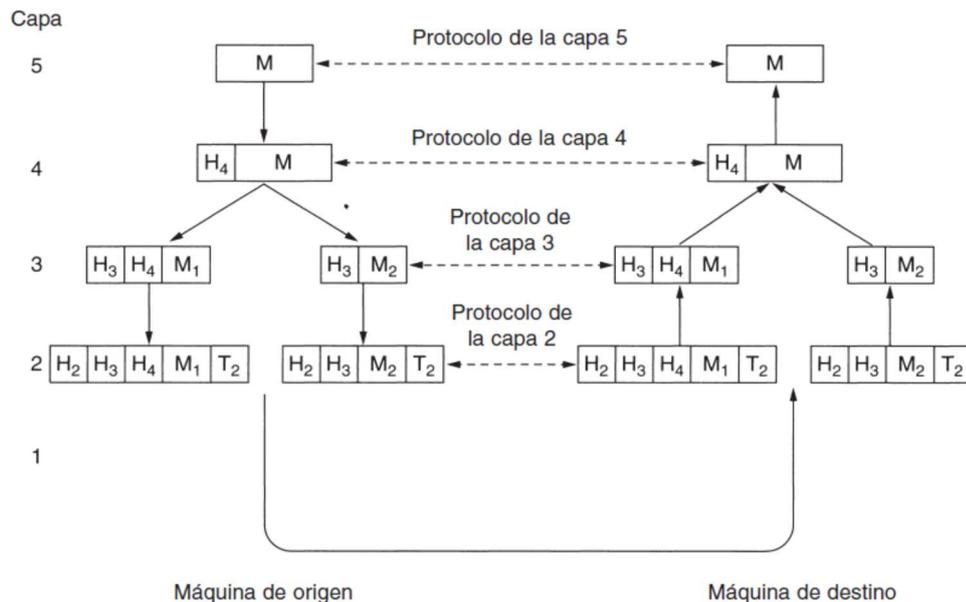


Figura 8.13 - Ejemplo de flujo de información que soporta una comunicación virtual en la capa 5.

Veamos un ejemplo: cómo proporcionar comunicación a la capa superior de la red de cinco capas de la figura 8.13. Un proceso de aplicación que se ejecuta en la capa 5 produce un mensaje, *M*, y lo pasa a la capa 4 para su transmisión.

La capa 4 pone un **encabezado** al frente del mensaje para identificarlo y pasa el resultado a la capa 3. El encabezado incluye información de control, como números de secuencia, para que la capa 4 de la máquina de destino entregue los mensajes en el orden correcto si las capas inferiores no mantienen la secuencia. En algunas capas los encabezados también pueden contener tamaños, medidas y otros campos de control.

Bibliografía: Redes de Computadoras – 5ª edición (2013) - Andrew S. Tanenbaum – PEARSON EDUCACION

Recomendaciones para el lector:

Habrá notado que en solo 10 años las predicciones de Tanenbaum se han cumplido con creces, a excepción de los manuales de 30 páginas, que hoy nadie leería. 😊.

Para cada situación donde se mencionan tecnologías “actuales” a la fecha de publicación del libro, puede verificar que nuestro material de soporte en PPT, que puede descargar de <https://frsn.utn.edu.ar/tecnicas3>, está actualizado a 2024. No deje de consultarlo.