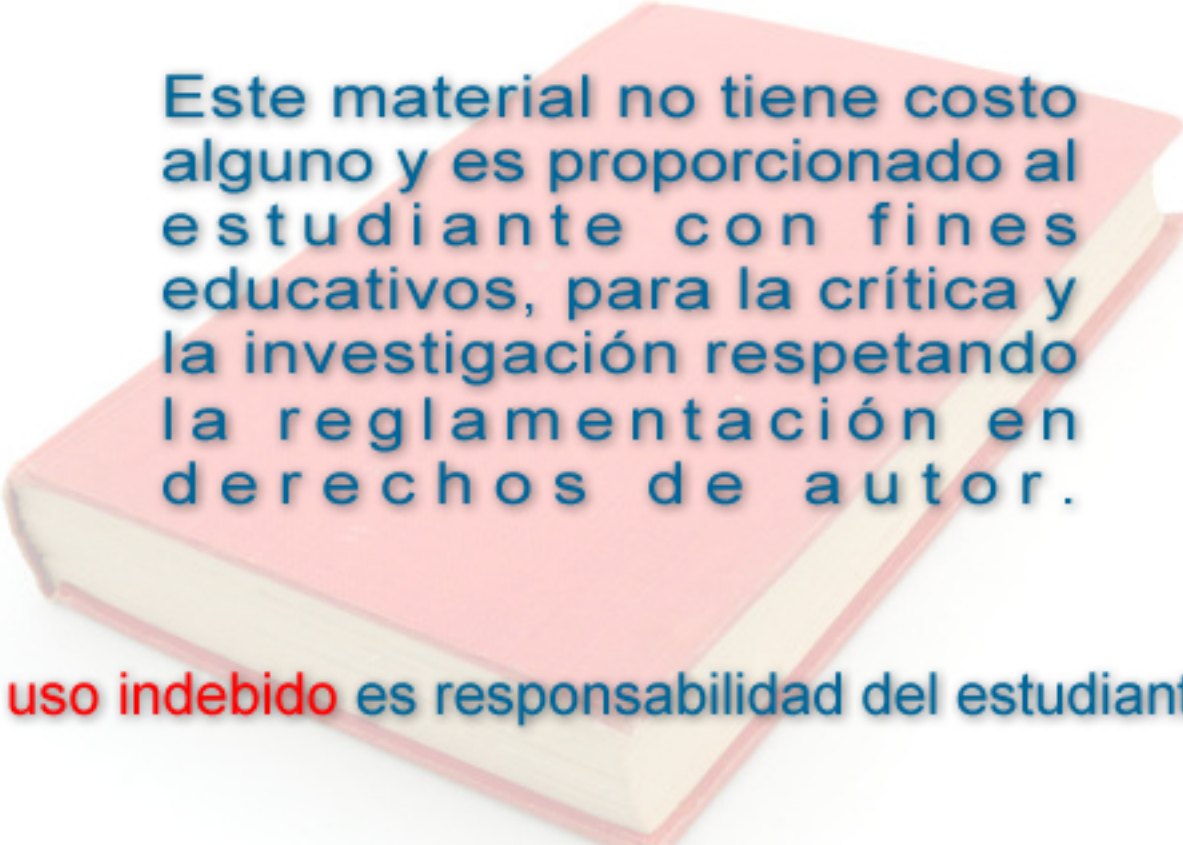




UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA



Este material no tiene costo alguno y es proporcionado al estudiante con fines educativos, para la crítica y la investigación respetando la reglamentación en derechos de autor.

El **uso indebido** es responsabilidad del estudiante.



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

Muchos protocolos antiguos no distinguían el servicio del protocolo. En efecto, una capa típica podría haber tenido una primitiva de servicio SEND PACKET y el usuario proveía un apuntador a un paquete ensamblado totalmente. Este arreglo significa que el usuario podía ver de inmediato todos los cambios del protocolo. En la actualidad, la mayoría de los diseñadores de redes señalan a este tipo de diseño como un error grave.

## 1.4 MODELOS DE REFERENCIA

Ahora que hemos visto en teoría las redes con capas, es hora de ver algunos ejemplos. En las dos secciones siguientes veremos dos arquitecturas de redes importantes: los modelos de referencia OSI y TCP/IP. Aunque los *protocolos* asociados con el modelo OSI ya casi no se usan, el *modelo* en sí es muy general y aún es válido, y las características tratadas en cada capa aún son muy importantes. El modelo TCP/IP tiene las propiedades opuestas: el modelo en sí no se utiliza mucho pero los protocolos sí. Por estas razones analizaremos con detalle ambos modelos. Además, a veces podemos aprender más de las fallas que de los aciertos.

### 1.4.1 El modelo de referencia OSI

El modelo OSI se muestra en la figura 1-20 (sin el medio físico). Este modelo está basado en una propuesta desarrollada por la ISO (Organización Internacional de Estándares) como un primer paso hacia la estandarización internacional de los protocolos utilizados en varias capas (Day y Zimmermann, 1983). Fue revisado en 1995 (Day, 1995). El modelo se llama **OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos)** de **ISO** porque tiene que ver con la conexión de sistemas abiertos, es decir, sistemas que están abiertos a la comunicación con otros sistemas. Para abreviar, lo llamaremos modelo OSI.

El modelo OSI tiene siete capas. Podemos resumir brevemente los principios que se aplicaron para llegar a dichas capas:

1. Una capa se debe crear donde se necesite una abstracción diferente.
2. Cada capa debe realizar una función bien definida.
3. La función de cada capa se debe elegir con la intención de definir protocolos estandarizados internacionalmente.
4. Los límites de las capas se deben elegir a fin de minimizar el flujo de información a través de las interfaces.
5. La cantidad de capas debe ser suficientemente grande para no tener que agrupar funciones distintas en la misma capa y lo bastante pequeña para que la arquitectura no se vuelva inmanejable.

A continuación analizaremos una por una cada capa del modelo, comenzando con la capa inferior. Observe que el modelo OSI no es en sí una arquitectura de red, debido a que no especifica los servicios y protocolos exactos que se utilizarán en cada capa. Sólo indica lo que debe hacer cada capa. Sin embargo, ISO también ha producido estándares para todas las capas, aunque éstos no son parte del modelo de referencia mismo. Cada uno se ha publicado como un estándar internacional separado.

### La capa física

En esta capa se lleva a cabo la transmisión de bits puros a través de un canal de comunicación. Los aspectos del diseño implican asegurarse de que cuando un lado envía un bit 1, éste se reciba en el otro lado como tal, no como bit 0. Las preguntas típicas aquí son: ¿cuántos voltios se deben emplear para representar un 1 y cuántos para representar un 0?, ¿cuántos nanosegundos dura un bit?, ¿la transmisión se debe llevar a cabo en ambas direcciones al mismo tiempo?, ¿cómo se establece la conexión inicial y cómo se finaliza cuando ambos lados terminan?, ¿cuántos pines tiene un conector de red y para qué se utiliza cada uno? Los aspectos de diseño tienen que ver mucho con interfaces mecánicas, eléctricas y de temporización, además del medio físico de transmisión, que está bajo la capa física.

### La capa de enlace de datos

La tarea principal de esta capa es transformar un medio de transmisión puro en una línea de comunicación que, al llegar a la capa de red, aparezca libre de errores de transmisión. Logra esta tarea haciendo que el emisor fragmente los datos de entrada en **tramas de datos** (típicamente, de algunos cientos o miles de bytes) y transmitiendo las tramas de manera secuencial. Si el servicio es confiable, el receptor confirma la recepción correcta de cada trama devolviendo una **trama de confirmación de recepción**.

Otra cuestión que surge en la capa de enlace de datos (y en la mayoría de las capas superiores) es cómo hacer que un transmisor rápido no sature de datos a un receptor lento. Por lo general se necesita un mecanismo de regulación de tráfico que indique al transmisor cuánto espacio de búfer tiene el receptor en ese momento. Con frecuencia, esta regulación de flujo y el manejo de errores están integrados.



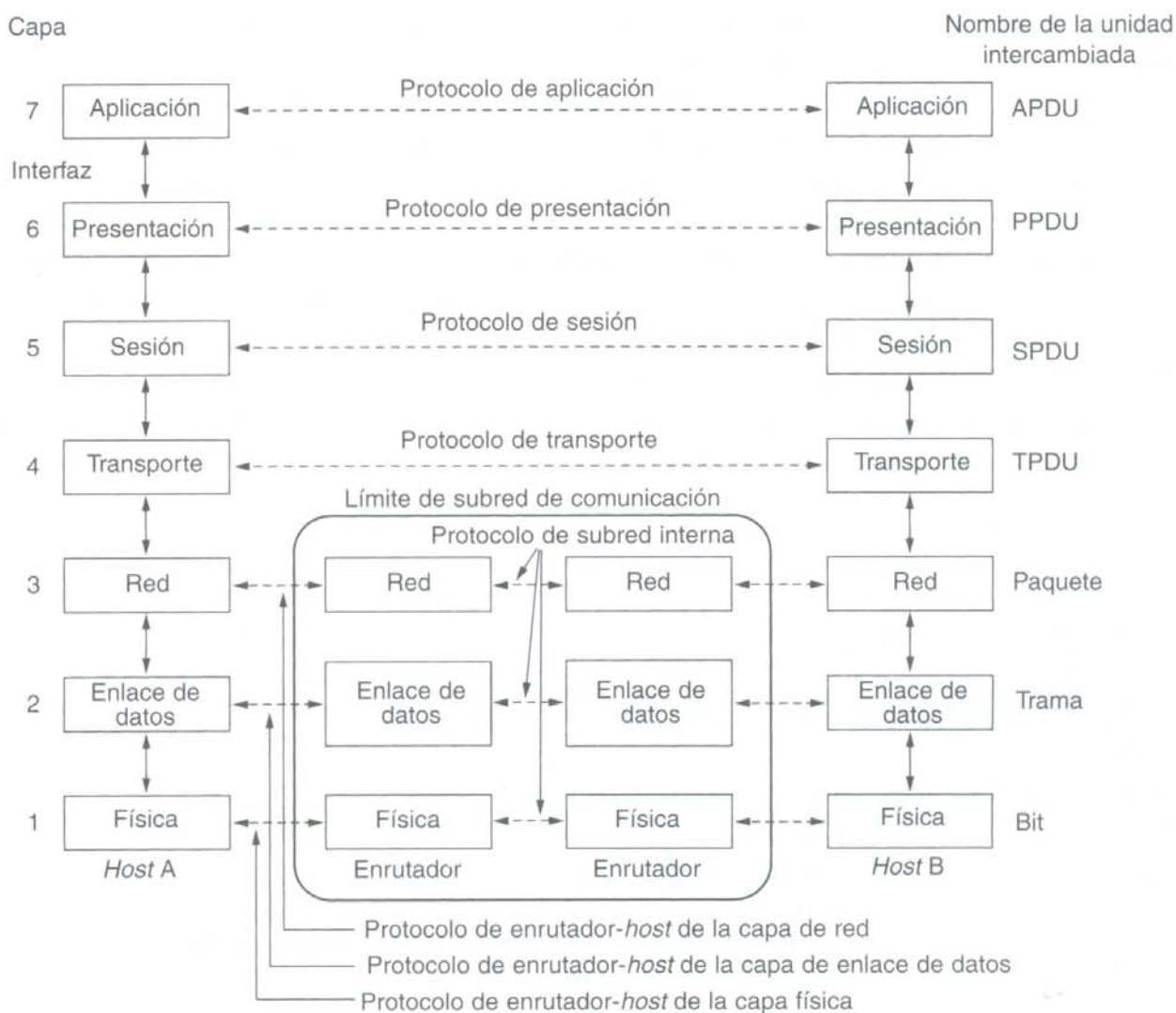


Figura 1-20. El modelo de referencia OSI.

Las redes de difusión tienen un aspecto adicional en la capa de enlace de datos: cómo controlar el acceso al canal compartido. Una subcapa especial de la capa de enlace de datos, la subcapa de control de acceso al medio, se encarga de este problema.\*

## La capa de red

Esta capa controla las operaciones de la subred. Un aspecto clave del diseño es determinar cómo se enrutan los paquetes desde su origen a su destino. Las rutas pueden estar basadas en tablas estáticas (enrutamiento estático) codificadas en la red y que rara vez cambian.\*\*

\*En esta capa se define el direccionamiento físico, que permite a los *hosts* identificar las tramas destinadas a ellos. Este direccionamiento es único, identifica el hardware de red que se está usando y el fabricante, y no se puede cambiar. (N. del R.T.)

\*\*En el enrutamiento estático la ruta que seguirán los paquetes hacia un destino particular es determinada por el administrador de la red. Las rutas también pueden determinarse cuando los enrutadores intercambian información de enrutamiento (enrutamiento dinámico). En este tipo de enrutamiento los enrutadores deciden la ruta que seguirán los paquetes hacia un destino sin la intervención del administrador de red. En el enrutamiento dinámico las rutas pueden cambiar para reflejar la topología o el estado de la red. (N. del R.T.)

Si hay demasiados paquetes en la subred al mismo tiempo, se interpondrán en el camino unos y otros, lo que provocará que se formen cuellos de botella. La responsabilidad de controlar esta congestión también pertenece a la capa de red, aunque esta responsabilidad también puede ser compartida por la capa de transmisión. De manera más general, la calidad del servicio proporcionado (retardo, tiempo de tránsito, inestabilidad, etcétera) también corresponde a la capa de red.

Cuando un paquete tiene que viajar de una red a otra para llegar a su destino, pueden surgir muchos problemas. El direccionamiento utilizado por la segunda red podría ser diferente del de la primera.\* La segunda podría no aceptar todo el paquete porque es demasiado largo. Los protocolos podrían ser diferentes, etcétera. La capa de red tiene que resolver todos estos problemas para que las redes heterogéneas se interconecten.

En las redes de difusión, el problema de enrutamiento es simple, por lo que la capa de red a veces es delgada o, en ocasiones, ni siquiera existe.

### La capa de transporte

La función básica de esta capa es aceptar los datos provenientes de las capas superiores, dividirlos en unidades más pequeñas si es necesario, pasar éstas a la capa de red y asegurarse de que todas las piezas lleguen correctamente al otro extremo. Además, todo esto se debe hacer con eficiencia y de manera que aisle a las capas superiores de los cambios inevitables en la tecnología del hardware.

La capa de transporte también determina qué tipo de servicio proporcionar a la capa de sesión y, finalmente, a los usuarios de la red. El tipo de conexión de transporte más popular es un canal punto a punto libre de errores que entrega mensajes o bytes en el orden en que se enviaron. Sin embargo, otros tipos de servicio de transporte posibles son la transportación de mensajes aislados, que no garantiza el orden de entrega, y la difusión de mensajes a múltiples destinos. El tipo de servicio se determina cuando se establece la conexión. (Como observación, es imposible alcanzar un canal libre de errores; lo que se quiere dar a entender con este término es que la tasa de error es tan baja que se puede ignorar en la práctica.)

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

### La capa de sesión

Esta capa permite que los usuarios de máquinas diferentes establezcan **sesiones** entre ellos. Las sesiones ofrecen varios servicios, como el **control de diálogo** (dar seguimiento de a quién le toca

\*El direccionamiento usado en esta capa es un direccionamiento lógico, diferente al direccionamiento físico empleado en la capa de enlace de datos. Este direccionamiento lógico permite que una interfaz o puerto pueda tener más de una dirección de capa de red. (N. del R.T.)



transmitir), **administración de token** (que impide que las dos partes traten de realizar la misma operación crítica al mismo tiempo) y **sincronización** (la adición de puntos de referencia a transmisiones largas para permitirles continuar desde donde se encontraban después de una caída).

### La capa de presentación

A diferencia de las capas inferiores, a las que les corresponde principalmente mover bits, a la **capa de presentación** le corresponde la sintaxis y la semántica de la información transmitida. A fin de que las computadoras con diferentes representaciones de datos se puedan comunicar, las estructuras de datos que se intercambiarán se pueden definir de una manera abstracta, junto con una codificación estándar para su uso “en el cable”. La capa de presentación maneja estas estructuras de datos abstractas y permite definir e intercambiar estructuras de datos de un nivel más alto (por ejemplo, registros bancarios).

### La capa de aplicación

Esta capa contiene varios protocolos que los usuarios requieren con frecuencia. Un protocolo de aplicación de amplio uso es **HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto)**, que es la base de World Wide Web. Cuando un navegador desea una página Web, utiliza este protocolo para enviar al servidor el nombre de dicha página. A continuación, el servidor devuelve la página. Otros protocolos de aplicación se utilizan para la transferencia de archivos, correo electrónico y noticias en la red.

## 1.4.2 El modelo de referencia TCP/IP

Tratemos ahora el modelo de referencia usado en la abuela de todas las redes de computadoras de área amplia, ARPANET, y en su sucesora, la Internet mundial. Aunque daremos más adelante una breve historia de ARPANET, es útil mencionar algunos de sus aspectos ahora. ARPANET fue una red de investigación respaldada por el DoD (Departamento de Defensa de Estados Unidos). Con el tiempo, conectó cientos de universidades e instalaciones gubernamentales mediante líneas telefónicas alquiladas. Posteriormente, cuando se agregaron redes satelitales y de radio, los protocolos existentes tuvieron problemas para interactuar con ellas, por lo que se necesitaba una nueva arquitectura de referencia. De este modo, la capacidad para conectar múltiples redes en una manera sólida fue una de las principales metas de diseño desde sus inicios. Más tarde, esta arquitectura se llegó a conocer como el **modelo de referencia TCP/IP**, de acuerdo con sus dos protocolos primarios. Su primera definición fue en (Cerf y Kahn, 1974). Posteriormente se definió en (Leiner y cols., 1985). La filosofía del diseño que respalda al modelo se explica en (Clark, 1988).

Ante el temor del DoD de que algunos de sus valiosos *hosts*, enrutadores y puertas de enlace de interredes explotaran en un instante, otro objetivo fue que la red pudiera sobrevivir a la pérdida de hardware de la subred, sin que las conversaciones existentes se interrumpieran. En otras palabras, el DoD quería que las conexiones se mantuvieran intactas en tanto las máquinas de origen

y destino estuvieran funcionando, aunque algunas de las máquinas o líneas de transmisión intermedias quedaran fuera de operación repentinamente. Además, se necesitaba una arquitectura flexible debido a que se preveían aplicaciones con requerimientos divergentes, desde transferencia de archivos a transmisión de palabras en tiempo real.

### La capa de interred

Todos estos requerimientos condujeron a la elección de una red de conmutación de paquetes basada en una capa de interred no orientada a la conexión. Esta capa, llamada **capa de interred**, es la pieza clave que mantiene unida a la arquitectura. Su trabajo es permitir que los *hosts* inyecten paquetes dentro de cualquier red y que éstos viajen a su destino de manera independiente (podría ser en una red diferente). Tal vez lleguen en un orden diferente al que fueron enviados, en cuyo caso las capas más altas deberán ordenarlos, si se desea una entrega ordenada. Observe que aquí el concepto “interred” se utiliza en un sentido genérico, aun cuando esta capa se presente en Internet.

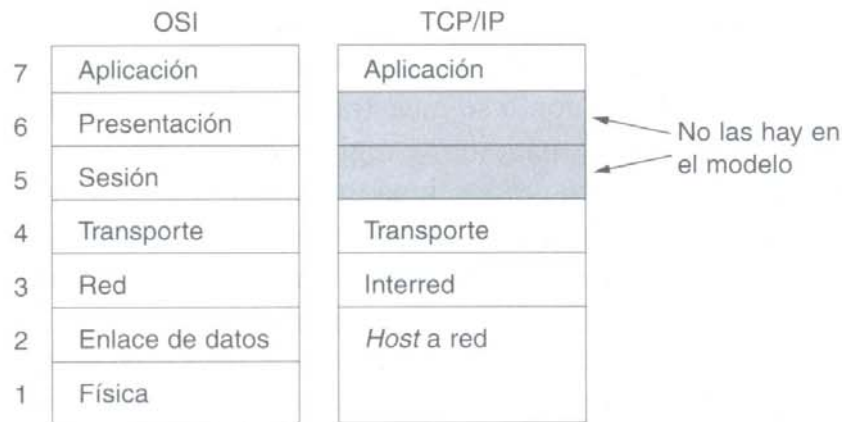
Aquí la analogía es con el sistema de correo tradicional. Una persona puede depositar una secuencia de cartas internacionales en un buzón y, con un poco de suerte, la mayoría de ellas se entregará en la dirección correcta del país de destino. Es probable que durante el trayecto, las cartas viajen a través de una o más puertas de enlace de correo internacional, pero esto es transparente para los usuarios. Además, para los usuarios también es transparente el hecho de que cada país (es decir, cada red) tiene sus propios timbres postales, tamaños preferidos de sobre y reglas de entrega.

La capa de interred define un paquete de formato y protocolo oficial llamado **IP (Protocolo de Internet)**. El trabajo de la capa de interred es entregar paquetes IP al destinatario. Aquí, el enrutamiento de paquetes es claramente el aspecto principal, con el propósito de evitar la congestión. Por estas razones es razonable decir que la capa de interred del modelo TCP/IP es similar en funcionalidad a la capa de red del modelo OSI. La figura 1-21 muestra esta correspondencia.

### La capa de transporte

La capa que está arriba de la capa de interred en el modelo TCP/IP se llama **capa de transporte**. Está diseñada para permitir que las entidades iguales en los *hosts* de origen y destino puedan llevar a cabo una conversación, tal como lo hace la capa de transporte OSI. Aquí se han definido dos protocolos de transporte de extremo a extremo. El primero, **TCP (Protocolo de Control de Transmisión)**, es un protocolo confiable, orientado a la conexión, que permite que un flujo de bytes que se origina en una máquina se entregue sin errores en cualquier otra máquina en la interred. Divide el flujo de bytes entrantes en mensajes discretos y pasa cada uno de ellos a la capa de interred. En el destino, el proceso TCP receptor reensambla en el flujo de salida los mensajes recibidos. TCP también maneja el control de flujo para asegurarse de que un emisor rápido no sature a un receptor lento con más mensajes de los que puede manejar.





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

El segundo protocolo de esta capa, **UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario)**, es un protocolo no confiable y no orientado a la conexión para aplicaciones que no desean la secuenciación o el control de flujo de TCP y que desean proporcionar el suyo. También tiene un amplio uso en consultas únicas de solicitud-respuesta de tipo cliente-servidor en un solo envío, así como aplicaciones en las que la entrega puntual es más importante que la precisa, como en la transmisión de voz o vídeo. La relación de IP, TCP y UDP se muestra en la figura 1-22. Puesto que el modelo se desarrolló, se ha implementado IP en muchas otras redes.



**Figura 1-22.** Protocolos y redes en el modelo TCP/IP inicialmente.

## La capa de aplicación

El modelo TCP/IP no tiene capas de sesión ni de presentación. No se han necesitado, por lo que no se incluyen. La experiencia con el modelo OSI ha probado que este punto de vista es correcto: son de poco uso para la mayoría de las aplicaciones.



Arriba de la capa de transporte está la **capa de aplicación**. Contiene todos los protocolos de nivel más alto. Los primeros incluyeron una terminal virtual (TELNET), transferencia de archivos (FTP) y correo electrónico (SMTP), como se muestra en la figura 1-22. El protocolo de terminal virtual permite que un usuario en una máquina se registre en una máquina remota y trabaje ahí. El protocolo de transferencia de archivos proporciona una manera de mover con eficiencia datos de una máquina a otra. El correo electrónico era originalmente sólo un tipo de transferencia de archivos, pero más tarde se desarrolló un protocolo especializado (SMTP) para él. Con el tiempo, se han agregado muchos otros protocolos: DNS (Sistema de Nombres de Dominio) para la resolución de nombres de *host* en sus direcciones de red; NNTP, para transportar los artículos de noticias de USENET; HTTP, para las páginas de World Wide Web, y muchos otros.

### La capa *host* a red

Debajo de la capa de interred hay un gran vacío. El modelo de referencia TCP/IP en realidad no dice mucho acerca de lo que pasa aquí, excepto que puntualiza que el *host* se tiene que conectar a la red mediante el mismo protocolo para que le puedan enviar paquetes IP. Este protocolo no está definido y varía de un *host* a otro y de una red a otra. Este tema rara vez se trata en libros y artículos sobre TCP/IP.

### 1.4.3 Comparación entre los modelos de referencia OSI y TCP/IP

Los modelos de referencia OSI y TCP/IP tienen mucho en común. Los dos se basan en el concepto de una pila de protocolos independientes. Asimismo, la funcionalidad de las capas es muy parecida. Por ejemplo, en ambos modelos las capas que están arriba de, incluyendo a, la capa de transporte están ahí para proporcionar un servicio de transporte independiente de extremo a extremo a los procesos que desean comunicarse. Estas capas forman el proveedor de transporte. De nuevo, en ambos modelos, las capas que están arriba de la de transporte son usuarias orientadas a la aplicación del servicio de transporte.

A pesar de estas similitudes fundamentales, los dos modelos también tienen muchas diferencias. En esta sección nos enfocaremos en las diferencias clave entre estos dos modelos de referencia. Es importante tener en cuenta que estamos comparando los *modelos de referencia*, no las *pilas de protocolos* correspondientes. Más adelante explicaremos los protocolos. Si desea un libro dedicado a comparar y contrastar TCP/IP y OSI, vea (Piscitello y Chapin, 1993).

Tres conceptos son básicos para el modelo OSI:

1. Servicios.
2. Interfaces.
3. Protocolos.

Probablemente la contribución más grande del modelo OSI es que hace explícita la distinción entre estos tres conceptos. Cada capa desempeña algunos servicios para la capa que está arriba de ella. La definición de *servicio* indica qué hace la capa, no la forma en que la entidad superior tiene acceso a ella, o cómo funciona dicha capa. Define el aspecto semántico de la capa.

La *interfaz* de una capa indica a los procesos que están sobre ella cómo accederla. Especifica cuáles son los parámetros y qué resultados se esperan. Incluso, no dice nada sobre cómo funciona internamente la capa.

Por último, una capa es quien debe decidir qué *protocolos* de iguales utilizar. Puede usar cualesquier protocolos que desee, en tanto consiga que se haga el trabajo (es decir, proporcione los servicios ofrecidos). También puede cambiarlos cuando desee sin afectar el software de las capas superiores.

Estas ideas encajan muy bien con las ideas modernas sobre la programación orientada a objetos. Un objeto, como una capa, cuenta con un conjunto de métodos (operaciones) que pueden ser invocados por procesos que no estén en dicho objeto. La semántica de estos métodos define el conjunto de servicios que ofrece el objeto. Los parámetros y resultados de los métodos forman la interfaz del objeto. El código interno del objeto es su protocolo y no es visible o no tiene importancia fuera del objeto.

Originalmente, el modelo TCP/IP no distinguía entre servicio, interfaz y protocolo, aunque las personas han tratado de readaptarlo con el propósito de hacerlo más parecido al OSI. Por ejemplo, los únicos servicios ofrecidos realmente por la capa de interred son SEND IP PACKET y RECEIVE IP PACKET.

Como consecuencia, los protocolos del modelo OSI están mejor ocultos que los del modelo TCPI/IP y se pueden reemplazar fácilmente conforme cambia la tecnología. La facilidad para realizar tales cambios es uno de los objetivos principales de tener protocolos en capas.

El modelo de referencia OSI se vislumbró *antes* de que se inventaran los protocolos correspondientes. Esta clasificación significa que el modelo no estaba diseñado para un conjunto particular de protocolos, un hecho que lo hizo general. Una deficiencia de esta clasificación es que los diseñadores no tenían mucha experiencia con el asunto y no tenían una idea concreta de qué funcionalidad poner en qué capa.

Por ejemplo, originalmente la capa de enlace de datos sólo trataba con redes de punto a punto. Cuando llegaron las redes de difusión, se tuvo que extender una nueva subcapa en el modelo. Cuando las personas empezaron a construir redes reales utilizando el modelo OSI y los protocolos existentes, se descubrió que estas redes no coincidían con las especificaciones de los servicios solicitados (maravilla de maravillas), por lo que se tuvieron que integrar subcapas convergentes en el modelo para proporcionar un espacio para documentar las diferencias. Por último, el comité esperaba en un principio que cada país tuviera una red, controlada por el gobierno y que utilizara los protocolos OSI, pero nunca pensaron en la interconectividad de redes. Para no hacer tan larga la historia, las cosas no sucedieron como se esperaba.

Con TCP/IP sucedió lo contrario: los protocolos llegaron primero y el modelo fue en realidad una descripción de los protocolos existentes. No había problemas para ajustar los protocolos al modelo. Encajaban a la perfección. El único problema era que el *modelo* no aceptaba otras pilas de protocolos. Como consecuencia, no era útil para describir otras redes que no fueran TCP/IP.

Volviendo de los asuntos filosóficos a los más específicos, una diferencia patente entre los dos modelos es el número de capas: el modelo OSI tiene siete y el TCP/IP sólo cuatro. Los dos tienen capas de (inter)red, transporte y aplicación, pero las otras capas son diferentes.



Otra diferencia está en el área de la comunicación orientada a la conexión comparada con la no orientada a la conexión. El modelo OSI soporta ambas comunicaciones en la capa de red, pero sólo la de comunicación orientada a la conexión en la capa de transporte, donde es importante (porque el servicio de transporte es transparente para los usuarios). El modelo TCP/IP sólo tiene un modo en la capa de red (no orientado a la conexión) pero soporta ambos modos en la capa de transporte, lo que da a los usuarios la oportunidad de elegir. Esta elección es importante especialmente para protocolos sencillos de solicitud-respuesta.

#### 1.4.4 Crítica al modelo OSI y los protocolos

Ni el modelo OSI y sus protocolos ni el modelo TCP/IP y sus protocolos son perfectos. Se les pueden hacer, y se les han hecho, críticas. En ésta y en la siguiente sección veremos algunas de estas críticas. Empezaremos con el modelo OSI y más adelante examinaremos el modelo TCP/IP.

En la época en la que se publicó la segunda edición de este libro (1989), a muchos expertos en el campo les pareció que el modelo OSI y sus protocolos iban a dominar el mundo y a desplazar a todos los demás. Eso no sucedió. ¿Por qué? Sería útil echar un vistazo a algunas lecciones. Éstas se pueden resumir así:

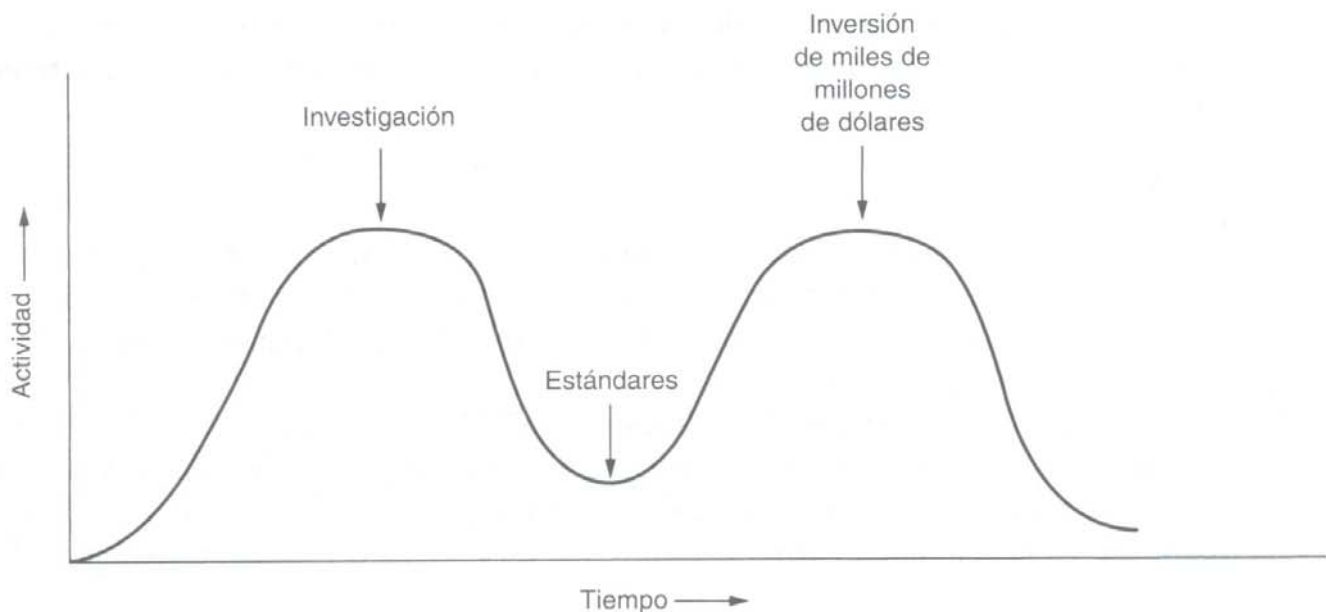
1. Aparición inoportuna.
2. Mala tecnología.
3. Malas implementaciones.
4. Malas políticas.

#### Aparición inoportuna

Primero veamos la razón número uno: aparición inoportuna. El tiempo en que se establece un estándar es absolutamente crítico para el éxito. David Clark, del M.I.T., tiene una teoría de estándares que llama *apocalipsis de los dos elefantes*, la cual se ilustra en la figura 1-23.

Esta figura muestra la cantidad de actividad que rodea a un sujeto nuevo. Cuando se descubre primero el sujeto, hay una explosión de actividad de investigación en forma de exposiciones, documentos y reuniones. Después de un tiempo esta actividad disminuye, las empresas descubren el sujeto y surge la ola de miles de millones de dólares de inversión.

Es esencial que los estándares se escriban en el punto intermedio entre los dos “elefantes”. Si los estándares se escriben demasiado pronto, antes de que se termine la investigación, el tema podría no estar entendido por completo; el resultado son malos estándares. Si se escriben demasiado tarde, varias empresas podrían haber hecho ya inversiones importantes en diversas maneras de hacer las cosas que los estándares han ignorado. Si el intervalo entre los dos elefantes es muy corto (porque cada cual tiene prisa por empezar), las personas que están desarrollando los estándares podrían fracasar.



**Figura 1-23.** El apocalipsis de los dos elefantes.

Al parecer, los protocolos OSI estándar han sido vencidos. Los protocolos TCP/IP competidores ya eran ampliamente utilizados por las universidades investigadoras al momento en que aparecieron los protocolos OSI. Mientras la ola de los miles de millones de inversión aún no golpeaba, el mercado académico era bastante grande para que los proveedores empezaran a hacer ofertas cautas de los productos TCP/IP. Cuando OSI llegó, no quisieron soportar una segunda pila de protocolos hasta que se vieran forzados, por lo que no hubo ofertas iniciales. Puesto que cada empresa esperaba que la otra diera el primer paso, ninguna lo hizo y OSI nunca prosperó.

### **Mala tecnología**

La segunda razón por la que OSI no tuvo éxito es que tanto el modelo como los protocolos tienen defectos. La elección de las siete capas fue más política que técnica, y dos de las capas (la de sesión y la de presentación) están casi vacías, mientras que las otras dos (la de enlace de datos y la de red) están saturadas.

El modelo OSI, junto con el servicio asociado de definiciones y protocolos, es extraordinariamente complejo. Si se apilan, los estándares impresos ocupan una fracción importante de un metro de papel. Incluso son difíciles de implementar y de operación deficiente. En este contexto, nos viene a la mente un enigma propuesto por Paul Mockapetris y citado en (Rose, 1993):

P: ¿Qué obtiene cuando cruza un gángster con un estándar internacional?

R: Alguien que le hace una oferta que usted no entiende.

Además de ser incomprensible, otro problema con OSI es que algunas funciones, como direccionamiento, control de flujo y control de errores, reaparecen una y otra vez en cada capa. Por



ejemplo, Saltzer y cols. (1984) han apuntado que para ser efectivo el control de errores, se debe hacer en la capa superior, puesto que repetirlo una y otra vez en cada una de las capas inferiores suele ser innecesario e ineficaz.

### **Malas implementaciones**

Ante la enorme complejidad del modelo y los protocolos, no es de sorprender que las implementaciones iniciales fueran grandes, pesadas y lentas. Todos los que lo intentaron fracasaron. No le tomó mucho tiempo a las personas asociar OSI con “baja calidad”. Aunque los productos mejoraron con el paso del tiempo, la imagen persistió.

En contraste, una de las primeras implementaciones de TCP/IP era parte de UNIX de Berkeley y fue bastante buena (sin mencionar que era gratis). Las personas pronto empezaron a utilizarla, lo que la llevó a un uso mayor por la comunidad, y esto a su vez condujo a mejoras que la llevaron a un mayor uso en la comunidad. Aquí la espiral fue ascendente en vez de descendente.

### **Malas políticas**

A causa de la implementación inicial, muchas personas, sobre todo en el nivel académico, pensaban que TCP/IP era parte de UNIX, y en la década de 1980, UNIX no parecía tener paternidad alguna en la universidad.

Por otra parte, se tenía la idea de que OSI sería la criatura de los ministerios de telecomunicación de Europa, de la comunidad europea y más tarde del gobierno de los Estados Unidos. Esta creencia era cierta en parte, pero no ayudaba mucho la idea de un manojito de burócratas gubernamentales intentando poner en marcha un estándar técnicamente inferior al mando de los investigadores y programadores pobres que estaban en las trincheras desarrollando realmente redes de computadoras. Algunas personas compararon este desarrollo con la ocasión en que IBM anunció, en la década de 1960, que PL/I era el lenguaje del futuro, o cuando más tarde el DoD corregía esto anunciando que en realidad era Ada.

### **1.4.5 Crítica del modelo de referencia TCP/IP**

El modelo de referencia TCP/IP y los protocolos también tienen sus problemas. En primer lugar, el modelo no distingue claramente los conceptos de servicio, interfaz y protocolo. Una buena ingeniería de software requiere la diferenciación entre la especificación y la implementación, algo que OSI hace con mucho cuidado y que TCP/IP no hace. En consecuencia, el modelo TCP/IP no es una guía para diseñar redes nuevas mediante tecnologías nuevas.

En segundo lugar, el modelo TCP/IP no es general del todo y no está bien ajustado para describir ninguna pila de protocolos más que de TCP/IP. Por ejemplo, es completamente imposible tratar de utilizar el modelo TCP/IP para describir Bluetooth.

En tercer lugar, la capa *host* a red no es en realidad una capa del todo en el sentido normal del término, como se utiliza en el contexto de los protocolos de capas. Es una interfaz (entre la capa de red y la de enlace de datos). La distinción entre una interfaz y una capa es crucial y nadie debe ser descuidado al respecto.

En cuarto lugar, el modelo TCP/IP no distingue (ni menciona) las capas física y de enlace de datos. Son completamente diferentes. La capa física tiene que ver con las características de transmisión de comunicación por cable de cobre, por fibra óptica e inalámbrica. El trabajo de la capa de enlace de datos es delimitar el inicio y fin de las tramas y captarlas de uno a otro lado con el grado deseado de confiabilidad. Un modelo adecuado debería incluir ambas como capas separadas. El modelo TCP/IP no hace esto.

Por último, aunque los protocolos IP y TCP se idearon e implementaron con sumo cuidado, muchos de los demás protocolos fueron hechos con fines específicos, producidos por lo general por estudiantes de licenciatura que los mejoraban hasta que se aburrían. Posteriormente, las implementaciones de tales protocolos se distribuyeron de manera gratuita, lo que dio como resultado un uso amplio y profundo y, por lo tanto, que fueran difíciles de reemplazar. Algunos de ellos ahora están en apuros. Por ejemplo, el protocolo de terminal virtual, TELNET, se diseñó para una terminal de teletipo mecánica de 10 caracteres por segundo. No sabe nada de interfaces gráficas de usuario ni de ratones. No obstante, 25 años más tarde aún tiene un amplio uso.

En resumen, a pesar de sus problemas, el *modelo* OSI (excepto las capas de sesión y presentación) ha probado ser excepcionalmente útil en la exposición de redes de computadoras. En contraste, los *protocolos* OSI no han sido muy populares. Sucede lo contrario con TCP/IP: el *modelo* es prácticamente inexistente, pero los *protocolos* tienen un amplio uso. En este libro utilizaremos un modelo OSI modificado pero nos concentraremos principalmente en el modelo TCP/IP y los protocolos relacionados, así como en los novísimos 802, SONET y Bluetooth. En efecto, utilizaremos el modelo híbrido de la figura 1-24 como marco de trabajo para este libro.

5	Capa de aplicación
4	Capa de transporte
3	Capa de red
2	Capa de enlace de datos
1	Capa física

**Figura 1-24.** Modelo de referencia híbrido que se usará en este libro.

## 1.5 REDES DE EJEMPLO

El tema de las redes de computadoras cubre muchos y diversos tipos de redes, grandes y pequeñas, bien conocidas y no tan bien conocidas. Tiene diferentes objetivos, escalamientos y tecnologías. En las siguientes secciones veremos algunos ejemplos para tener una idea de la variedad que se puede encontrar en el área de la conectividad de redes.