

## 8.1 Nivel de red

---

Este capítulo está destinado a describir las principales funciones del nivel de red de la arquitectura OSI. A nivel de red la unidad de información empleada suele denominarse paquete. El principal objetivo del nivel de red del modelo OSI es el realizar el correcto encaminamiento de los paquetes de información que van dirigidos desde el equipo origen al destino. Para realizar estas funciones de encaminamiento suelen emplearse los denominados routers o encaminadores que son capaces de interconectar entre sí redes con distintas topologías. Este tipo de dispositivos, que tienen como función exclusiva la de conmutar los paquetes de información, implementan el nivel físico, de enlace y red, pero no funciones correspondientes a niveles superiores. Véase, por ejemplo, la Figura 8-1 en la que se ha hecho uso de un router para interconectar 3 redes: una con topología en estrella, una con topología en bus y otra en anillo. La función fundamental del router es la de encaminar los paquetes de información procedentes de un determinado nodo origen de manera que se calcule el mejor camino para llegar a un nodo destino. Para determinar dicho camino pueden emplearse distintos criterios como puede ser el cálculo del camino que proporcione un menor número de saltos entre origen y destino (que pase por una menor cantidad de routers), cálculo del camino con el cual se alcance el destino con menor congestión, etc.

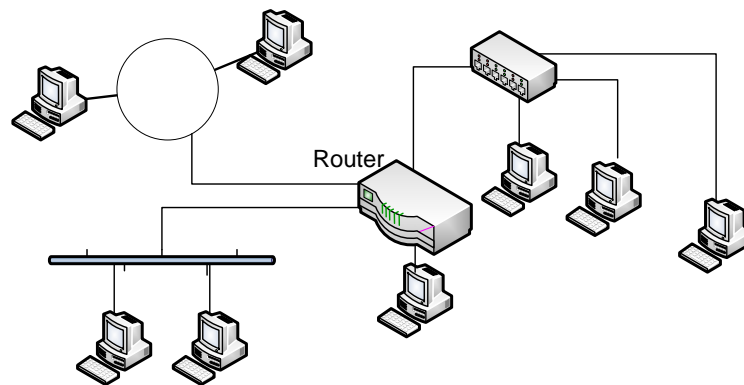


Figura 8-1. Router interconectando redes con distinta topología.

A lo largo de este capítulo se van a describir las funciones básicas de la capa de red del modelo OSI, destacando dentro de éstas las funciones de encaminamiento. Para ello, tras describir las funciones o servicios que proporciona el nivel de red al nivel de transporte, se describirán los métodos de conmutación. En los métodos de conmutación basados en circuitos virtuales el camino que seguirán los paquetes desde el origen al destino será el mismo durante toda la conexión. Sin embargo, empleando datagramas el encaminamiento puede variar, es decir, cada paquete puede seguir un camino distinto desde el origen al destino. Es por esto por lo que el capítulo finalizará realizando una clasificación de los tipos básicos de encaminamiento de paquetes empleando distintas estrategias y criterios. Será en el capítulo 9 cuando se describan algoritmos concretos que emplean protocolos de red reales para realizar el encaminamiento.

## 8.2 Servicios de la capa de red

---

Los servicios de red proporcionados a la capa superior deben ser capaces de aislar a la capa de transporte de tareas de direccionamiento. Como se ha indicado anteriormente esta es la principal función del nivel de red de manera que en el nivel superior se indicará el destino del paquete de información y a nivel de red se irá encaminando dicho paquete a través de los nodos intermedios hasta alcanzar el nodo destinatario. Además, la capa de red también aislará a las capas superiores de los diferentes esquemas de red que pueden haber a lo largo del camino del paquete desde el origen al destino (la tecnología de red puede ser diferente y esto no afectará al nivel de transporte). Otro aspecto del que será transparente la capa de transporte y superiores es el coste en la conexión, es decir, número de encaminadores necesarios, congestión, etc. De esta forma, los servicios que la capa de red ofrece a la capa de transporte se caracterizan por las siguientes propiedades:

- La capa de red ofrece servicios que son independientes de la tecnología de la subred en la que se encuentra el equipo correspondiente. Es decir, ofrece a la capa de transporte una serie de servicios independientes de si se emplea conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, etc.
- Todos los aspectos relativos al encaminamiento de los paquetes desde el nodo origen al destino son considerados en la capa de red, por lo tanto, la capa de transporte debe ser transparente a la cantidad, tipo y topología de las subredes presentes.
- El nivel de red debe proporcionar un sistema de identificación de cada equipo de la red independientemente del tipo de red en el que se encuentre.

Además, los servicios ofrecidos por el nivel de red pueden clasificarse en servicios orientados a conexión y servicios no orientados a conexión. En el primer caso, la complejidad de la comunicación recae en los DTEs origen y destino, mientras que en el segundo la complejidad de la comunicación recae en los nodos intermedios o encaminadores de la subred. Las características de cada uno de estos dos tipos de servicios son las siguientes:

- Servicios no orientados a conexión. Se denominan así ya que no es necesario establecer ningún tipo de conexión entre el nodo origen y el destino antes de realizar el envío de los datos. En este caso, si fuera necesario, la capa de transporte sería la encargada de realizar el control de flujo y de errores. Además, los paquetes pueden circular desordenados por la red por lo que el equipo destino deberá realizar la ordenación de todos los paquetes antes de enviarlos a la capa superior. Esta aproximación es la empleada por el nivel de red IP dentro de la arquitectura TCP/IP. En general, este servicio es empleado cuando se pretende una mayor rapidez frente a una menor fiabilidad.
- Servicios orientados a conexión. Ahora sí que es necesario antes de enviar los datos establecer una conexión. Al establecer la conexión se negocian parámetros tales como el coste y la calidad del servicio. Como resultado de ese establecimiento de conexión se obtendrá un valor identificativo de la conexión. A diferencia de los servicios no orientados a conexión ahora sí que se garantiza el orden. La transmisión de información se realiza de forma secuencial y bidireccional. Además, se realiza control de flujo para evitar la saturación en el equipo destinatario de la información. Al igual que es necesario el establecimiento de conexión, también se requiere finalizarla. Por lo tanto, una vez realizada la transmisión de datos será necesario realizar la liberación de la conexión liberando también el identificador para poder ser empleado en sucesivas conexiones. Este es el tipo de servicio empleado en redes para telefonía. En general, este servicio es empleado cuando se exige una alta fiabilidad.

## 8.3 Métodos de conmutación

Independientemente del tipo de servicio proporcionado por la capa de red, el funcionamiento interno de la subred puede ser mediante conmutación de circuitos o conmutación de paquetes (véase apartado 1.2.3):

- Conmutación de circuitos. Se crea una conexión física directa entre dos dispositivos, estableciéndose un circuito dedicado entre las estaciones para la comunicación (ver Figura 8-2). Es el método empleado por la Red Telefónica Conmutada para la transmisión de señales de voz y se caracteriza por:
  - En este caso se emplea un servicio orientado a conexión por lo que previo a la transmisión de datos es necesario realizar un establecimiento de la conexión. Una vez establecida se realiza la transmisión de datos. Finalizada la transmisión de datos también se requiere realizar la liberación de la conexión
  - Emplea caminos físicos fijos origen-destino. Estos caminos son establecidos tras la conexión.
  - Habitualmente, el establecimiento de conexión introduce un retardo de tiempo elevado.
  - Empleando conmutación de circuitos es frecuente que los nodos intermedios no realicen comprobaciones de errores.
  - Como se ha indicado anteriormente este tipo de conmutación es empleada para la transmisión con flujo constante de datos (p. ej. transmisión de voz).

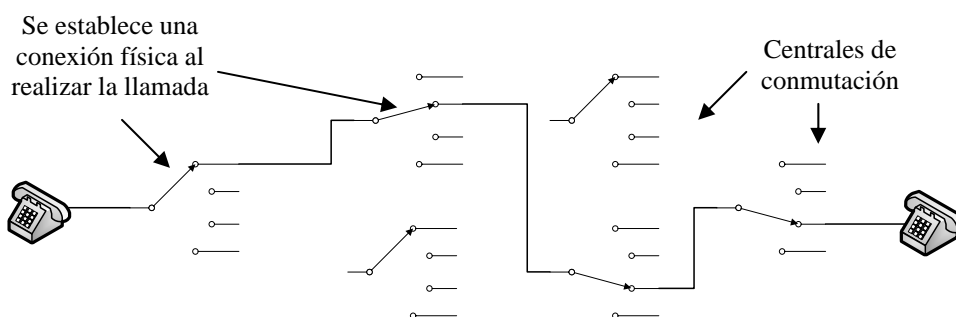


Figura 8-2. Conmutación de circuitos.

- Conmutación de paquetes. Es el método de conmutación empleado para la transmisión de datos y se caracteriza por:
  - La información se envía como fragmentos más pequeños denominados paquetes con un determinado formato compuesto por una cabecera con información de control y datos procedentes del nivel de transporte.
  - Los nodos intermedios pueden realizar comprobación de errores.
  - Los nodos de la red reenvían los paquetes de datos atendiendo a un determinado criterio. Atendiendo a la forma en la que se realiza el reenvío existen dos variantes: conmutación de circuitos y datagramas.

Como se ha indicado anteriormente los métodos de conmutación basados en circuitos virtuales y datagramas se trata de dos variantes de conmutación de paquetes que se caracterizan por:

- Circuitos virtuales. Presenta un comportamiento similar a la Red Telefónica Conmutada de circuitos conmutada y se caracteriza por las siguientes propiedades:
  - Está orientada a conexión de forma que en una primera fase, durante la conexión, se establece el camino que seguirán los paquetes de información desde el origen hasta el destino (Figura 8-3a). Una vez finalizada la conexión se realiza la transmisión de datos (Figura 8-3b). Esta transmisión finaliza con la desconexión del canal.
  - Se establece un camino fijo para la transmisión de datos, pero no exclusivo. Por lo tanto, el mismo camino (o un determinado enlace perteneciente al camino) puede ser utilizado por varias conexiones.
  - Generalmente los circuitos virtuales presentan una calidad alta en la transmisión, es decir, se producen pocos errores.
  - Este tipo de circuitos es adecuado par la transmisión tanto de datos normales como señales analógicas digitalizadas (p. ej. voz o vídeo). Se trata, por tanto, de la tendencia actual ya que permite la transmisión de datos multimedia que presentan características muy variadas.
  - Los circuitos virtuales pueden ser permanentes o no. Un circuito virtual permanente es aquel que se mantiene fijo en sucesivas conexiones. Sin embargo, si el circuito virtual no es permanente, dado un mismo origen y un mismo destino, si se establecen varias conexiones los caminos obtenidos para interconectarlos puede variar.

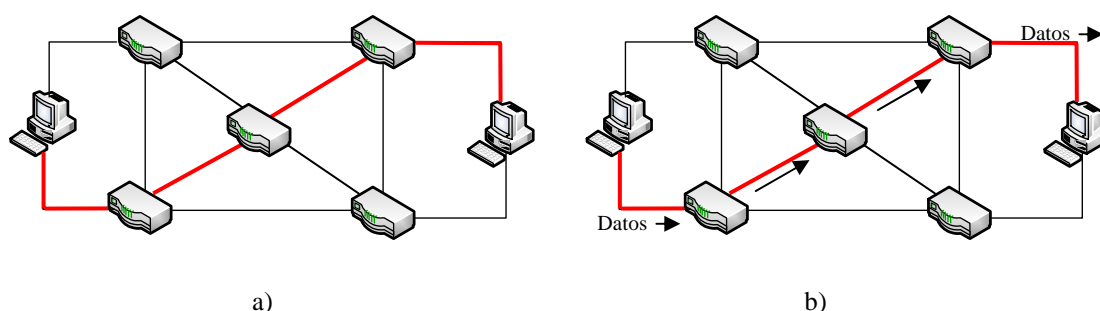


Figura 8-3. a) Establecimiento de conexión en circuitos virtuales. b) Envío de datos empleando circuitos virtuales.

- Datagramas. Se trata del método de conmutación empleado en TCP/IP y se caracteriza por:
  - No hay conexión ni caminos fijos para conectar un origen con un destino. Cada paquete es independiente y en dicho paquete se especifica la dirección del equipo origen que envió el paquete y la dirección destino del mismo. De esta manera, cada nodo intermedio encamina el paquete atendiendo a un determinado criterio. En la Figura 8-4 se muestra un ejemplo en el que el equipo A quiere enviar las tramas 1, 2 y 3 al B. En esta figura se ha indicado el camino seguido por cada trama hasta llegar al destino. Se observa como cada una de las trama puede ser enviada por cada encaminador por un enlace distinto.
  - Cada paquete sigue su camino en la red, según el estado de ésta y pueden llegar desordenados. Por lo tanto, el equipo destino deberá ser capaz de ordenar los datos.

- Se trata de un método tolerante a fallos ya que si falla un enlace sólo se pierde un paquete. El resto de paquetes podrán reenviarse por un camino alternativo.
- El método de conmutación basado en datagramas está totalmente orientado a datos informáticos y no a señales digitales

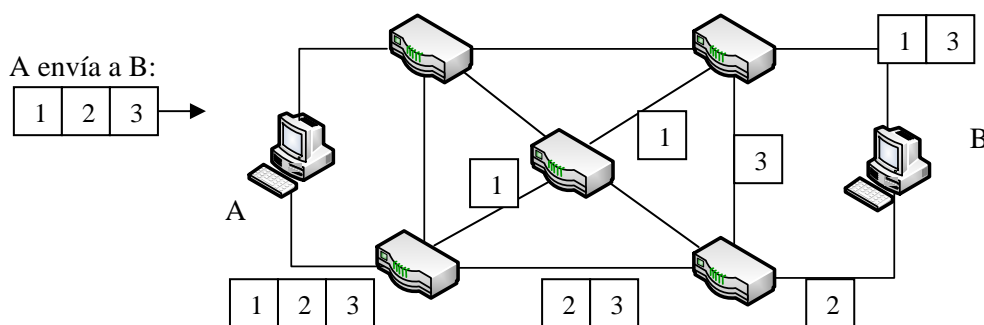


Figura 8-4. Transmisión de datos mediante datagramas.

## 8.4 Algoritmos de encaminamiento

Los algoritmos de encaminamiento son implementados en el nivel de red para determinar el camino que han de seguir los paquetes para alcanzar su destino. Por lo tanto, estos algoritmos son ejecutados en los nodos intermedios de una red para establecer el enlace de datos por el cual se retransmitirá el paquete atendiendo a la dirección origen y destino del mismo. La forma en la que se ejecutan estos algoritmos depende de si se emplean circuitos virtuales o datagramas:

- Circuitos virtuales. La decisión de encaminamiento se toma sólo una vez en cada establecimiento de conexión entre el origen y destino. De forma que en este establecimiento se determina el camino fijo que se empleará para comunicar los dos extremos de la comunicación.
- Datagramas. La decisión de encaminamiento se tomará por cada nodo intermedio. De manera que es responsabilidad del nivel de red de cada uno de estos nodos el reenviar el paquete por el enlace más adecuado atendiendo al criterio que se considere oportuno.

Los principales tipos de encaminamiento empleando datagramas pueden clasificarse en encaminamiento fijo, inundación y encaminamiento adaptativo o dinámico.

### 8.4.1 Encaminamiento fijo

Empleando este tipo de encaminamiento cada vez que se vaya a transmitir datos desde un determinado origen hasta un destino los paquetes seguirán el mismo camino. Habitualmente, en cada nodo se definen unas tablas de encaminamiento de forma que indican por que enlace de datos se transmitirá el paquete dependiendo del origen y el destino del mismo. Presenta una baja tolerancia a fallos ya que si cae un determinado enlace de datos el nodo no podrá escoger otra alternativa para realizar la transmisión del paquete. Se trata de un método sencillo y rápido ya que en los nodos intermedios no se ejecutan complejos algoritmos de encaminamiento.

#### 8.4.2 Encaminamiento por inundación

Haciendo uso de este tipo de encaminamiento cada paquete de datos entrante en un nodo intermedio se enviará por todas las rutas o enlaces del nodo, excepto por el de llegada. Este método garantiza que al menos uno de los paquetes llegará al destino por el camino óptimo. Sin embargo, se generan un gran número de paquetes duplicados lo cual puede provocar que la red se congestione. Para tratar de evitar esta congestión pueden emplearse mecanismos que limiten la cantidad de paquetes generados:

- Contador de salto. Se trata de un valor almacenado en la cabecera y que va siendo disminuido por cada nodo por el que pasa el paquete. En el momento que un determinado nodo detecte que el valor es 0 se encargará de eliminarlo.
- Número de secuencia. En este caso cada nodo fuente asigna un valor distinto a cada paquete denominado número de secuencia. Los nodos intermedios generan una lista de secuencias de paquetes enviados por cada nodo, de forma que si aparece un paquete con un número de secuencia que ya está en la lista, se descarta.

En la Figura 8-5 se muestra un ejemplo de inundación. En el esquema de la Figura 8-5a se representa el esquema de la red compuesto por 4 equipos interconectados a través de 4 encaminadores. Se desea establecer el camino para que A envíe información a B. Para ello, tras enviar la información de A a R1, este encaminador reenvía la información a sus encaminadores adyacentes, es decir, R2 y R4. Estos a su vez la reenviarán a sus adyacentes y así sucesivamente se alcanzará el destino. El esquema de cómo se realiza la difusión se ha representado en la Figura 8-5b. Se ha resaltado con un cuadro el momento en el que aparece en la ruta el encaminador R1, que ya se había visitado anteriormente. Tal y como se ha indicado anteriormente, el encaminador verá que su número de secuencia ya se encuentra en la ruta y, por lo tanto, deberá descartar el paquete.

En general este tipo de encaminamiento no es empleado en la práctica, pero sí que es utilizado por determinados protocolos de nivel de red para enviar mensajes urgentes.

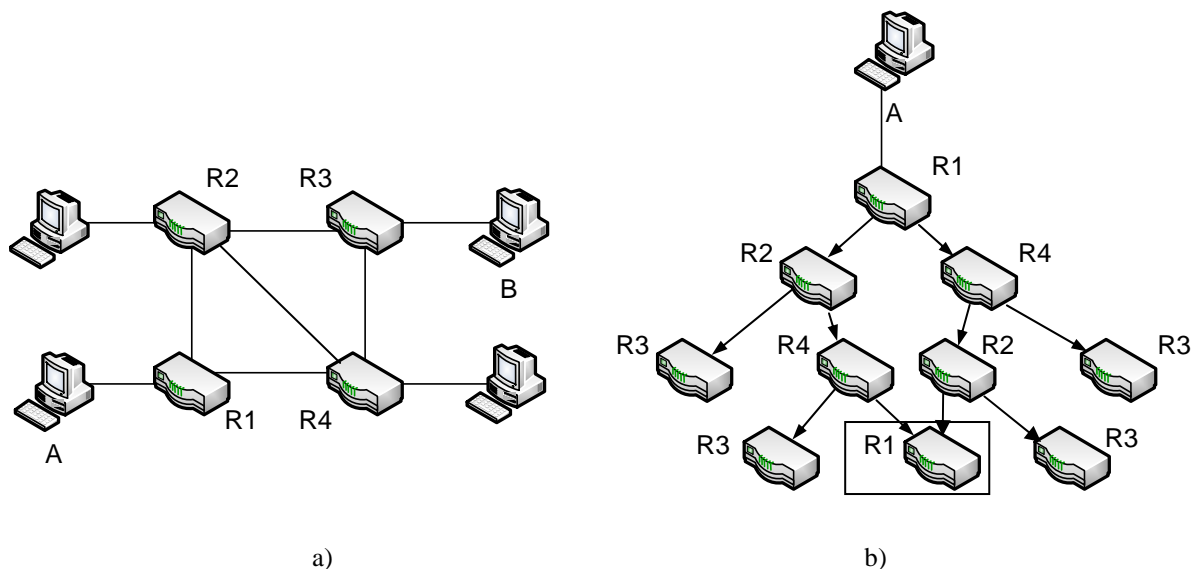


Figura 8-5. Ejemplo de inundación.

### **8.4.3 Encaminamiento adaptativo**

En este caso los caminos generados no son fijos sino que se adaptan a las condiciones de cambio de la subred. Cada nodo intermedio encaminará los paquetes por un enlace u otro atendiendo al estado de la red; por lo que es necesario que dichos nodos presenten una mayor capacidad de proceso. Este método de encaminamiento puede clasificarse en:

- Encaminamiento adaptativo centralizado. En la red existirá un nodo intermedio que se denominará centro de control del encaminamiento. Este nodo calcula las rutas óptimas entre los nodos que constituyen la red y las transmitirá a cada uno de ellos.
- Encaminamiento adaptativo aislado. Las decisiones de encaminamiento sólo se basan en información propia de cada nodo.
- Encaminamiento adaptativo distribuido. Empleando este tipo de encaminamiento la elección de la ruta del paquete al destino se realiza obteniendo la ruta menos congestionada en una determinada vecindad de nodos.