

Capítulo 4: Capa de Red

Capítulo 4: Capa de Red

Objetivos de capítulo:

- ❑ Entender los principios detrás de los servicios de la capa de red:
 - Ruteo (selección de la ruta)
 - Cómo funciona un router
 - Tópicos avanzados: IPv6, movilidad (Por tiempo sólo serán cubiertos parcialmente en ELO322)
- ❑ Aplicación e implementación en la Internet

Capítulo 4: Capa de Red

- ❑ 4.1 Introducción
- ❑ 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- ❑ 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- ❑ 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

Funciones claves de la capa de red

- ❑ *Re-envío (forwarding):* analogía:
mover paquetes desde la entrada del router a su salida apropiada
- ❑ *Ruteo:* determinar ruta a tomar por los paquetes desde fuente a destino.
 - *Algoritmos de Ruteo*
- ❑ *ruteo:* proceso de planear viaje de fuente a destino
- ❑ *Re-envío (forwarding):* proceso de dejar pasar un paquete único

Funciones de reenvío y ruteo

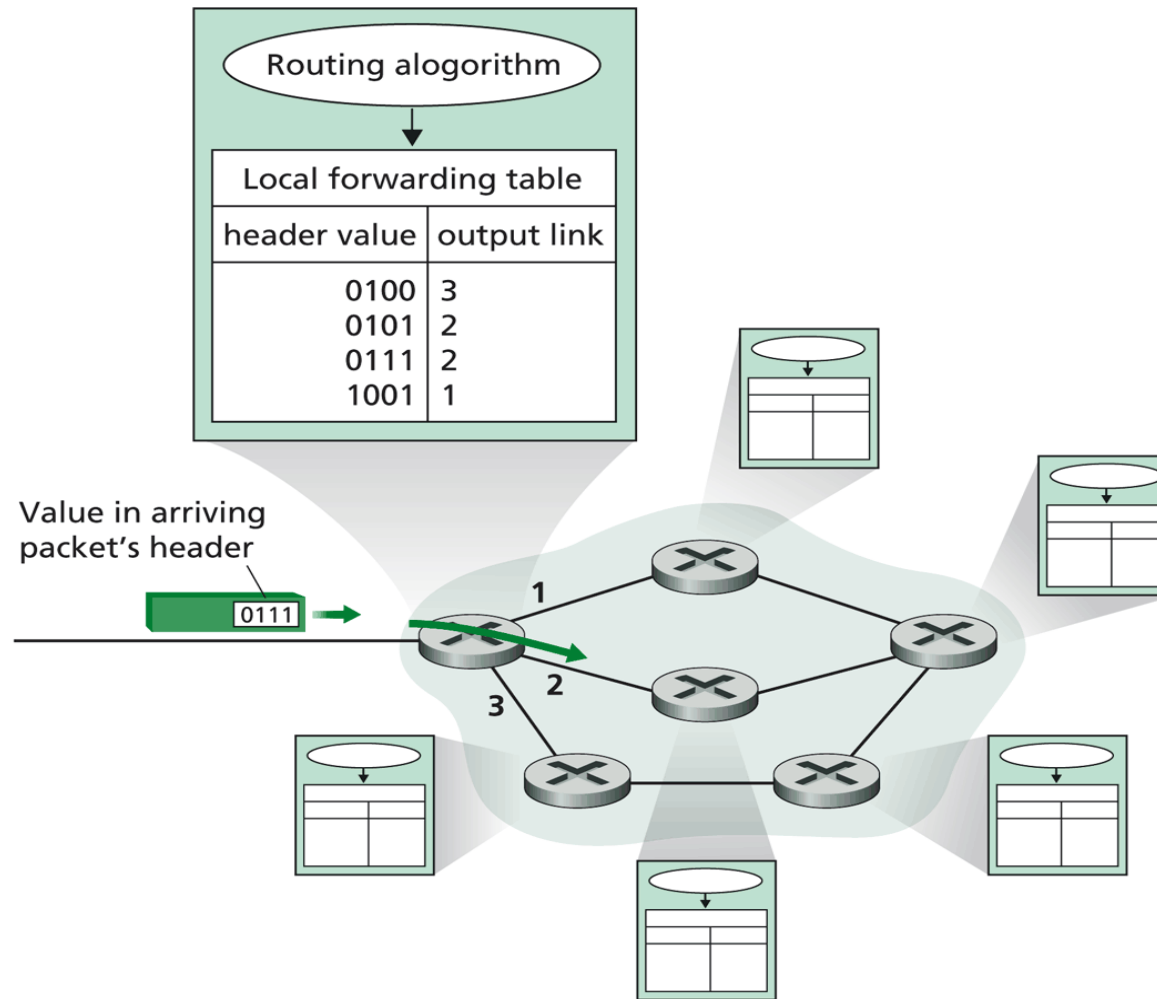


Figure 4.2 ♦ Routing algorithms determine values in forwarding tables

Establecimiento de Conexión

- ❑ Fuera de ruteo y re-envío, ésta es la 3^{ra} función de importancia en *algunas* arquitecturas de redes:
 - ATM, frame relay, X.25
- ❑ Antes que datagramas fluyan, los dos hosts y los routers que intervienen establecen una conexión virtual
 - Routers se involucran
- ❑ Servicio de conexión de capas Red y transporte:
 - **Red:** Entre dos hosts
 - **Transporte:** entre dos procesos

Modelos de servicio de Red

Q: ¿Cuál es el *modelo de servicio* para el “canal” que transporta los datagramas desde Tx a Rx?

Ejemplo: servicio para datagramas individuales:

- ❑ Entrega garantizada
- ❑ Entrega garantizada con retardo inferior a 40 [ms]

Ejemplo: Servicio para un flujo de datagramas:

- ❑ Entrega de datagramas en orden
- ❑ Garantía de bandwidth mínimo para el flujo
- ❑ Restricciones sobre cambios en el espacio (tiempo) entre paquetes

Modelos de servicio de Capa de red:

| Arquitectura de la Red | Modelo de servicio | Garantías ? | | | | Realimentación de Congestión |
|------------------------|--------------------|--------------------|------|-------|--------|------------------------------|
| | | Bandwidth | Loss | Order | Timing | |
| Internet | best effort | none | no | no | no | no (inferida vía pérdidas) |
| ATM | CBR | constant rate | yes | yes | yes | no congestión |
| ATM | ABR | guaranteed minimum | no | yes | no | yes |

CBR: Constant bit rate

ABR: Available bit rate

Capítulo 4: Capa de Red

- ❑ 4. 1 Introducción
- ❑ 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- ❑ 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- ❑ 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

Servicios de conexión y sin conexión de la capa de red

- ❑ Las redes de datagramas proveen servicio sin conexión en su capa de red
- ❑ Redes de VC proveen servicio de conexión en su capa de red
- ❑ Análogo a los servicios de capa transporte, pero:
 - **Servicio es:** host-a-host
 - **No hay opción:** la capa de red provee sólo uno
 - **Implementación:** es hecha en la red interna (core)

Circuitos virtuales (VC)

“Camino de fuente a destino se comporta como un circuito telefónico”

- ❑ Hay tres fases identificables:
 - Establecimiento de la llamada,
 - Transferencia de datos, y
 - Término de la llamada
- ❑ Cada paquete lleva un identificador del VC (no dirección de máquina destino)
- ❑ *Cada* router en el camino de fuente a destino mantiene el “estado” por cada conexión que pasa por él
- ❑ Enlace y recursos del router (ancho de banda, buffers) pueden ser *asignados* al VC

Implementación de VC

Un VC consiste de:

1. Camino desde fuente a destino
 2. Número de VC, un número por cada enlace a lo largo del camino
 3. Entradas en tablas de re-envío en los routers a lo largo del camino
- ❑ Los paquetes que pertenecen a un VC llevan el número de VC correspondiente.
 - ❑ El número de VC debe ser cambiado en cada enlace.
 - El nuevo número de VC es tomado de la tabla de re-envío

Implementación de VC: Establecimiento del circuito virtual

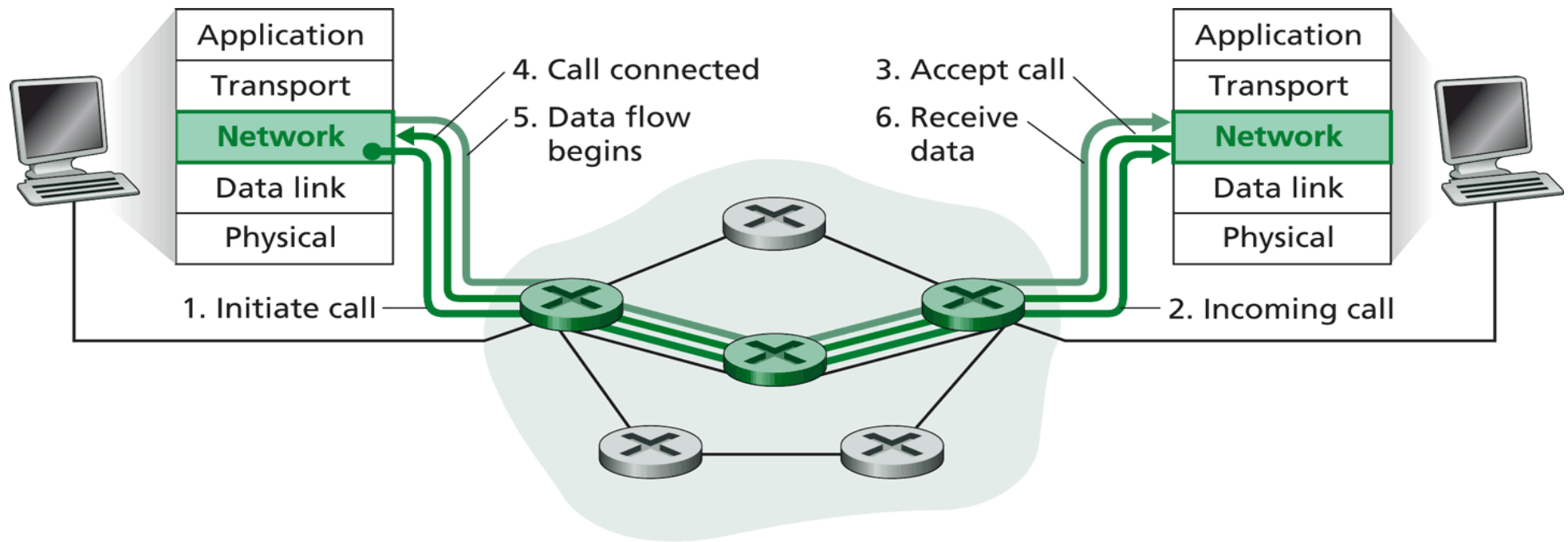


Figure 4.4 ♦ Virtual-circuit setup

Redes de Datagramas

- ❑ Tx pone dirección destino en paquete.
- ❑ No hay estado mantenido en cada router por cada conexión.

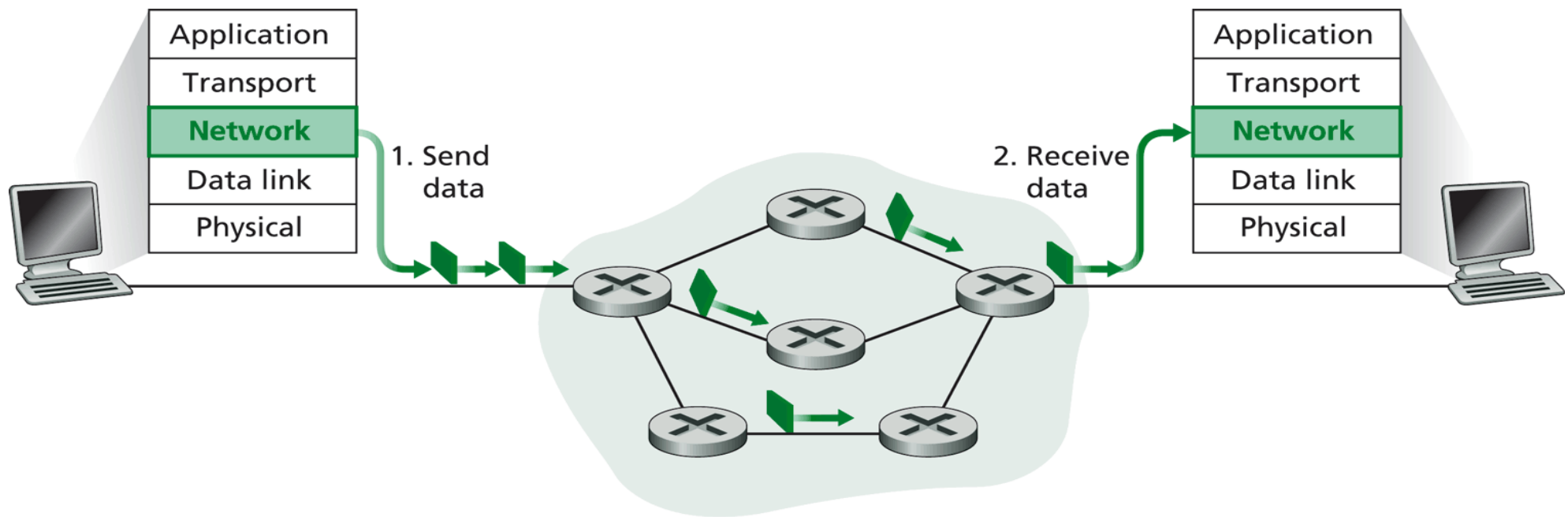


Figure 4.5 ♦ Datagram network

Tabla de re-envío IP

4 billones de
Posibles entradas

Rango de direcciones destinos

Enlace Interfaz

11001000 00010111 00010000 00000000

a

0

11001000 00010111 00010111 11111111

11001000 00010111 00011000 00000000

a

1

11001000 00010111 00011000 11111111

11001000 00010111 00011001 00000000

a

2

11001000 00010111 00011111 11111111

en otro caso

3

Coincidencia del prefijo más largo

| <u>Prefijo Coincidente</u> | <u>Interfaz del Enlace</u> |
|----------------------------|----------------------------|
| 11001000 00010111 00010 | 0 |
| 11001000 00010111 00011000 | 1 |
| 11001000 00010111 00011 | 2 |
| Otro caso | 3 |

Ejemplos

Dirección destino: 11001000 00010111 00010110 10100001 ¿Qué interfaz?

Dirección destino: 11001000 00010111 00011000 10101010 ¿Qué interfaz?

Red de Datagrama o de VC: ¿Por qué?

Internet

- ❑ Datos intercambiados entre computadores
 - Servicio “elástico”, sin requerimientos de tiempo estricto.
- ❑ Sistemas terminales “inteligentes” (computadores)
 - Se pueden adaptar, hacer control, recuperación de errores
 - Red interna simple, la complejidad en “periferia”
- ❑ Muchos tipos de enlaces
 - Características diferentes: satélite, radio, fibra, cable
 - Es difícil uniformar servicios: tasas, pérdidas, BW

ATM

- ❑ Evoluciona desde telefonía
- ❑ Conversación humana:
 - Tiempos estrictos, requerimientos de confiabilidad
 - Necesidad de servicios garantizados
- ❑ Sistemas terminales “torpes”
 - teléfonos
 - Complejidad dentro de la red

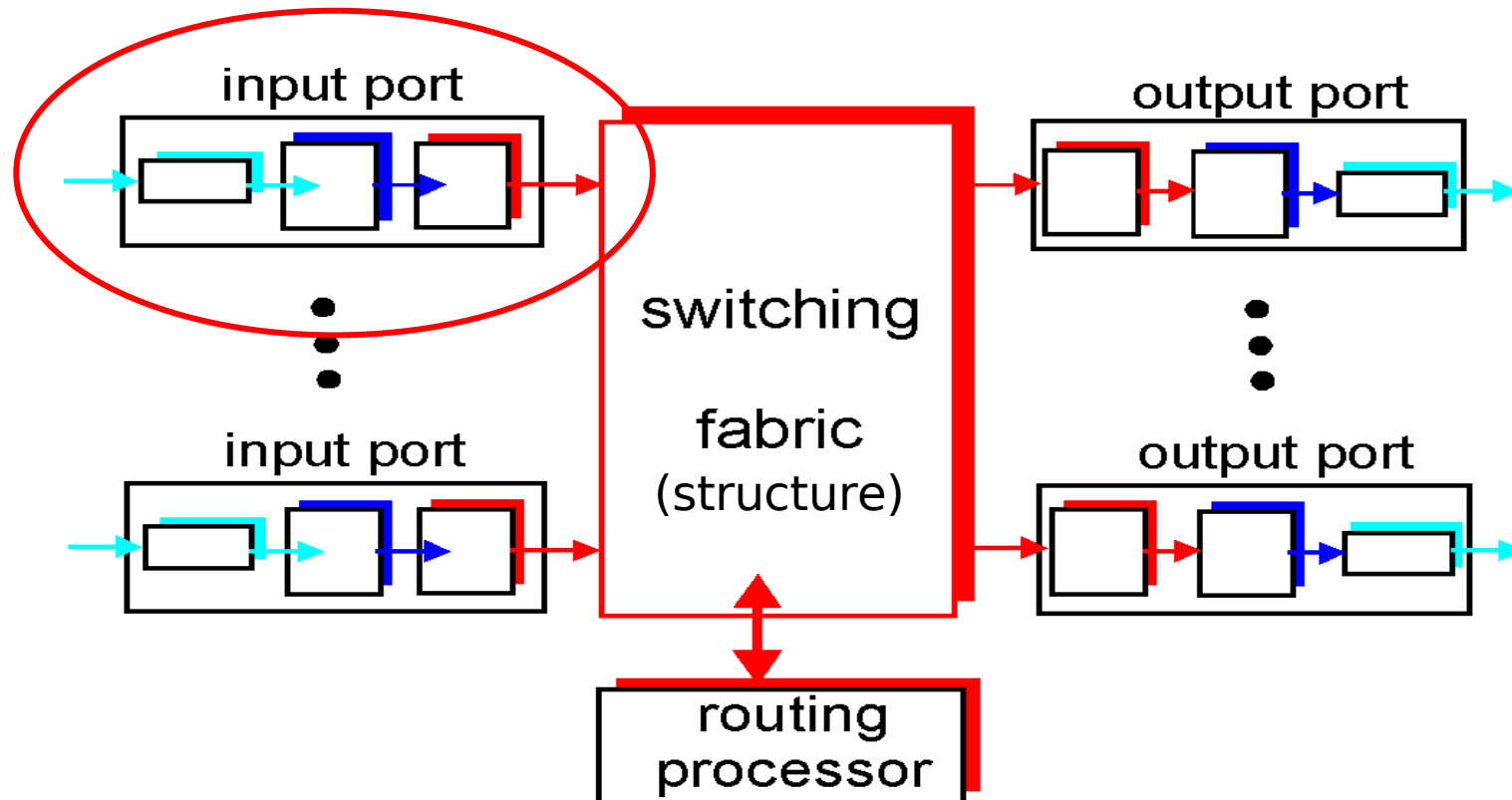
Capítulo 4: Capa de Red

- ❑ 4.1 Introducción
- ❑ 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- ❑ 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- ❑ 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

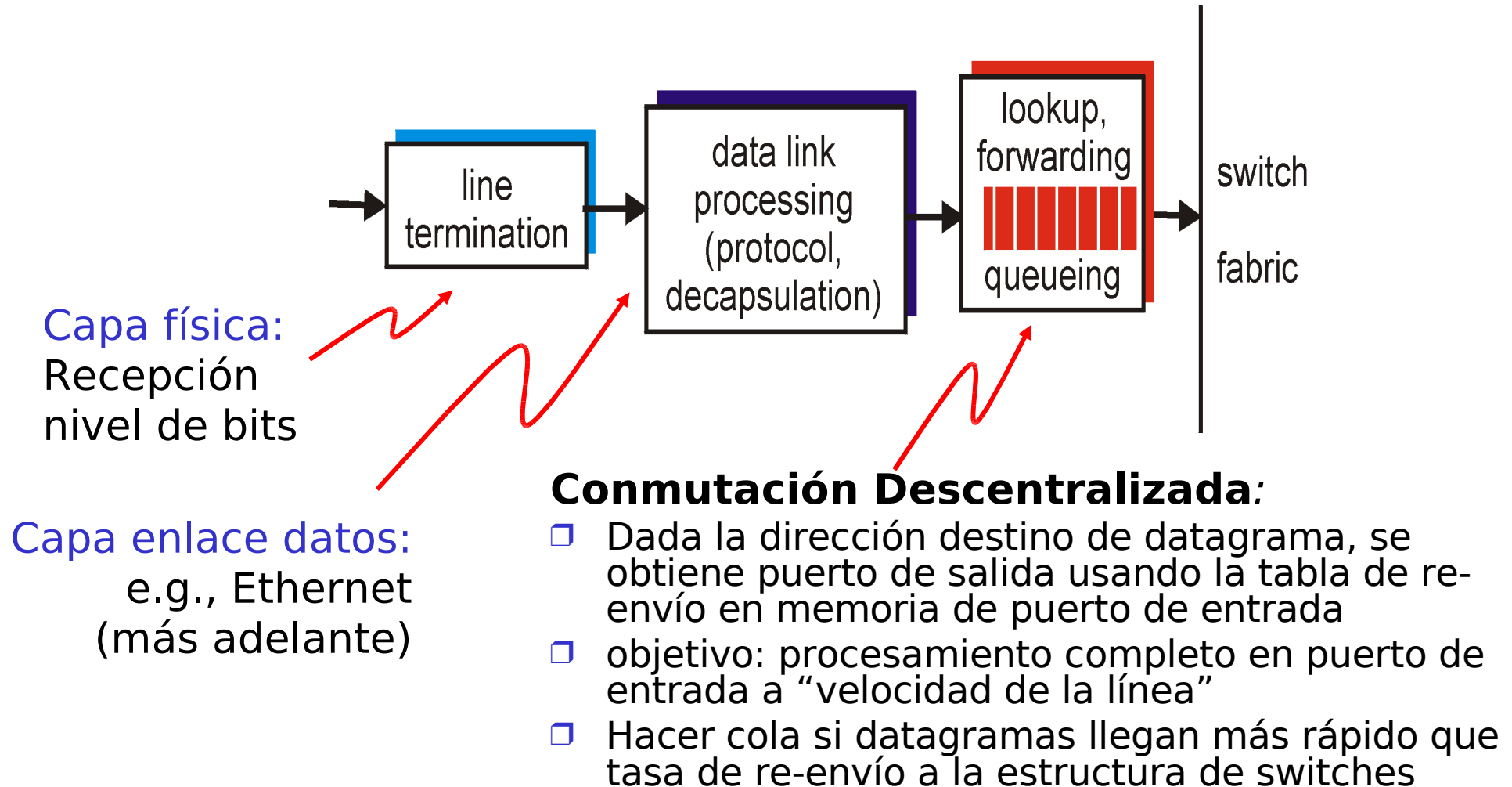
Arquitectura de Routers: Generalidades

Dos funciones claves de routers:

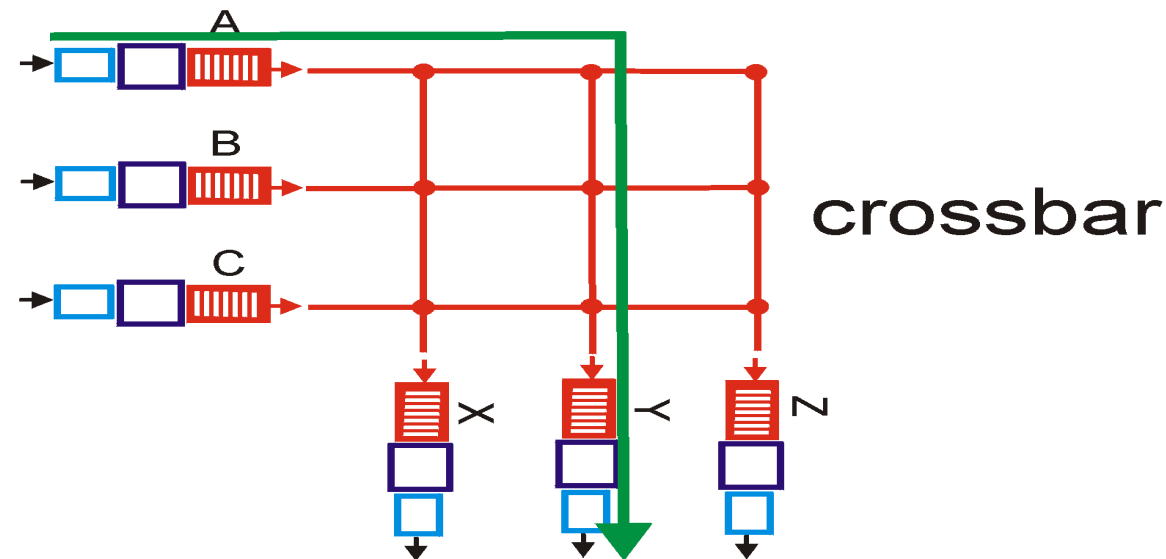
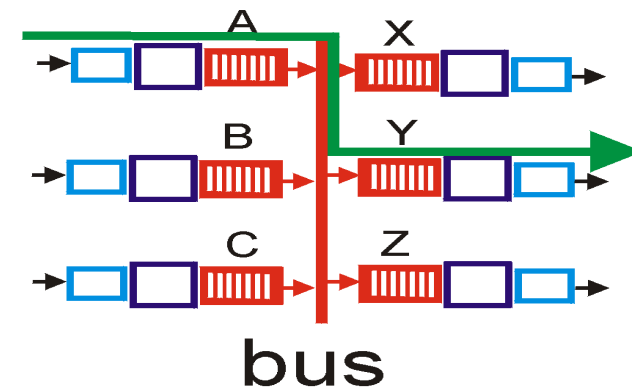
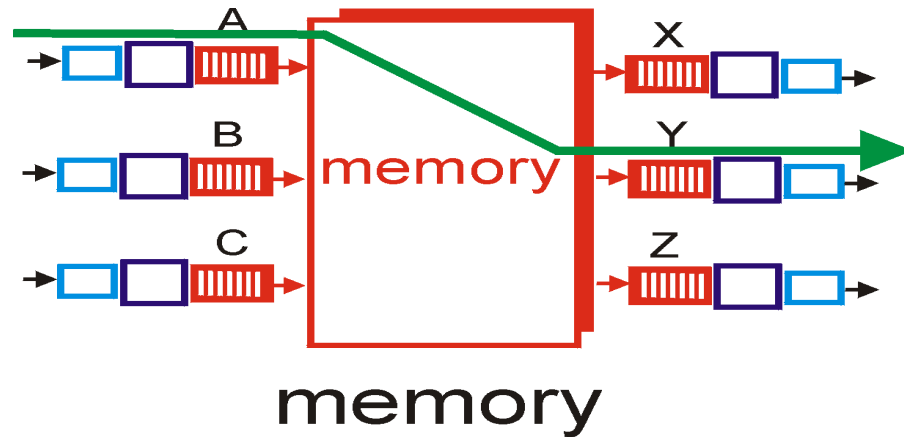
- ❑ Correr algoritmos/protocolos de ruteo (RIP, OSPF, BGP)
- ❑ *re-envío* de datagramas desde enlaces de entrada a salida



Funciones de las puerta de entrada



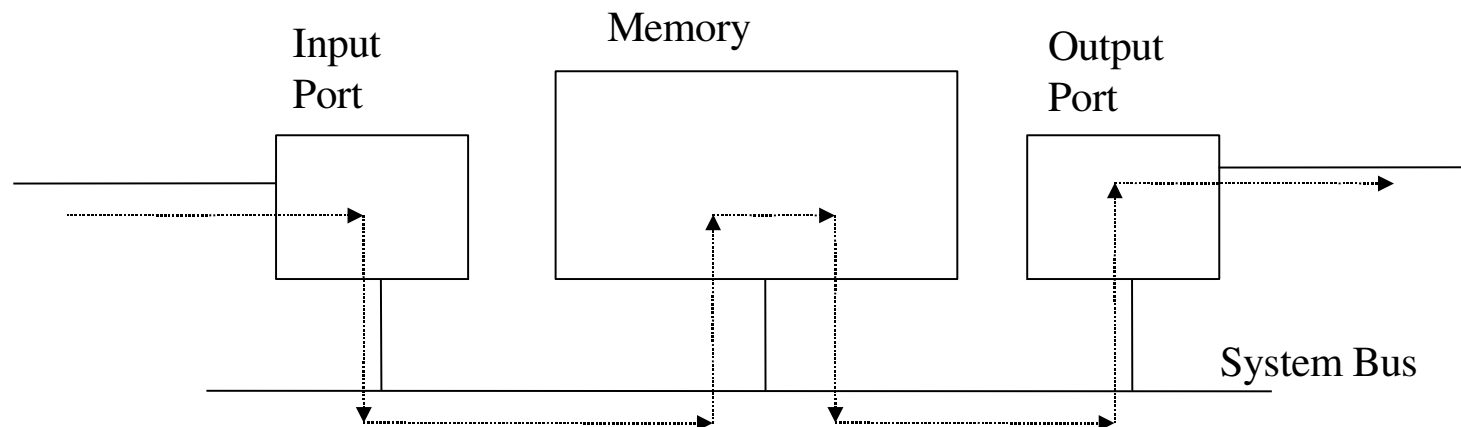
Tres tipos de estructuras de switches



Conmutación vía Memoria

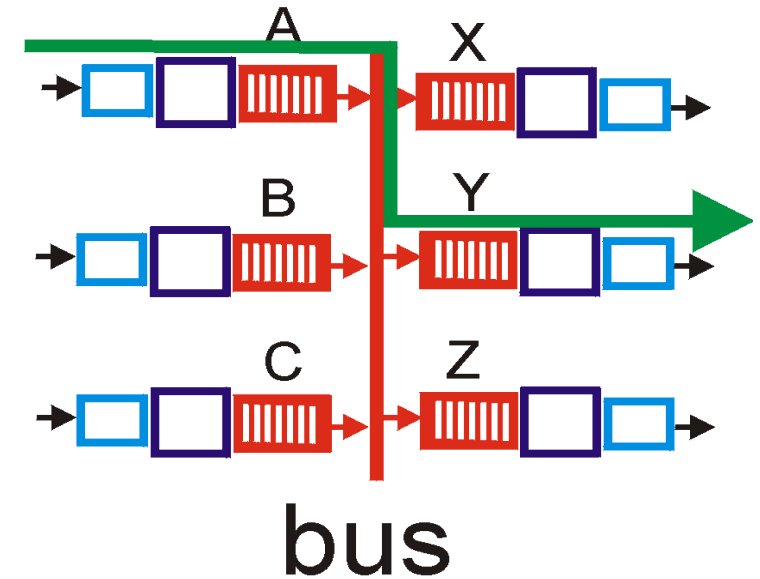
Primera generación de routers:

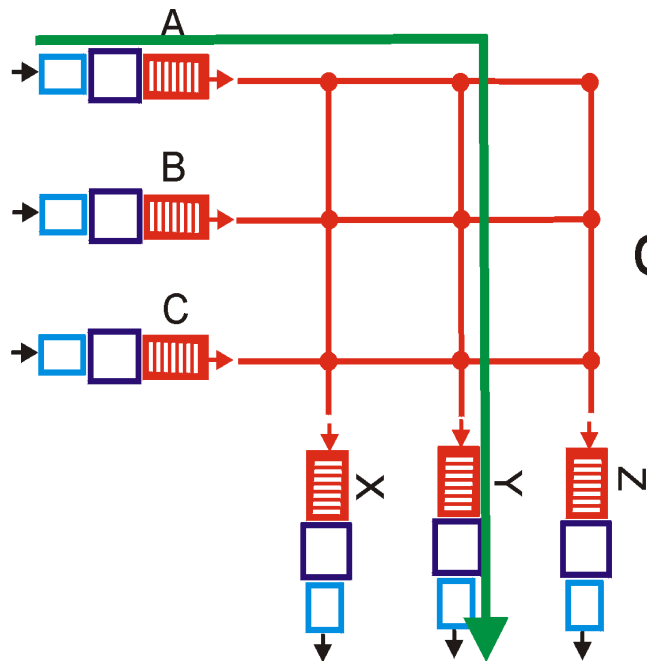
- ❑ Computador tradicional con conmutación bajo directo control de la CPU
- ❑ Paquetes son copiados a la memoria del sistema
- ❑ Rapidez limitada por ancho de banda de la memoria (2 buses son cruzados por cada datagrama)



Conmutación vía Bus

- Datagramas transitan desde la memoria del puerto de entrada a la memoria del puerto de salida vía un bus compartido
- **Contención en bus:** rapidez de conmutación limitada por ancho de banda del bus
- Bus de 1 Gbps, Cisco 1900: rapidez suficiente para routers de acceso y de empresas (no router regional o backbone)

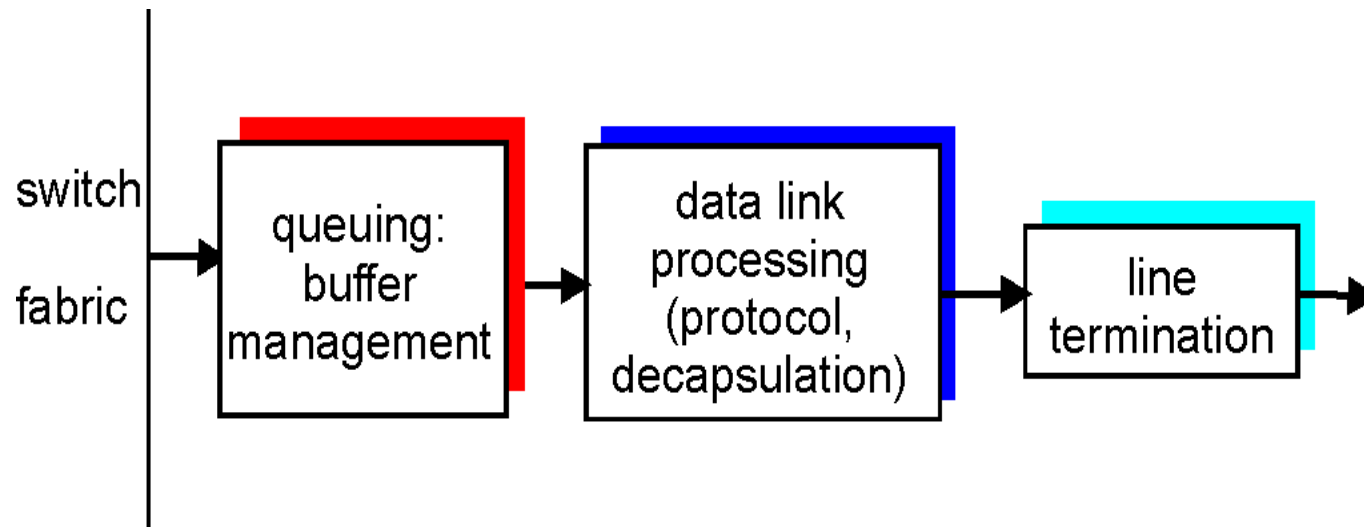




crossbar Conmutación vía una red de interconexión

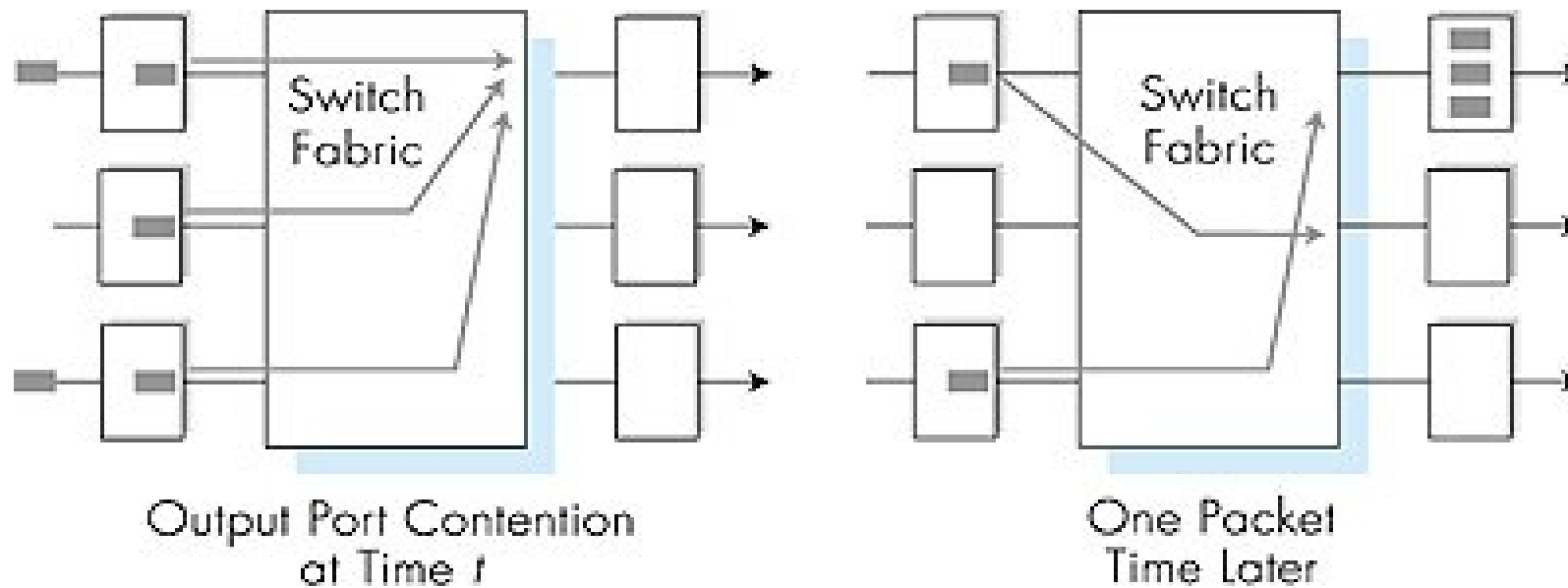
- ❑ Supera limitaciones de ancho de banda del bus
- ❑ Redes de interconexión originalmente desarrolladas para conectar procesadores en multi-procesadores
- ❑ Diseño avanzado: fragmentación de datagramas en celdas de tamaño fijo, las cuales pueden ser conmutadas en la estructura más rápidamente.
- ❑ Cisco 12000: conmuta Gbps a través de la red de interconexión 60 [Gbps]

Puertos de Salida



- ❑ *Almacenamiento (Buffering)* requerido cuando datagramas llegan desde la estructura de switches más rápido que la tasa de transmisión
- ❑ *Disciplina de itinerario (Scheduling)* escoge entre los datagramas encolados para transmisión

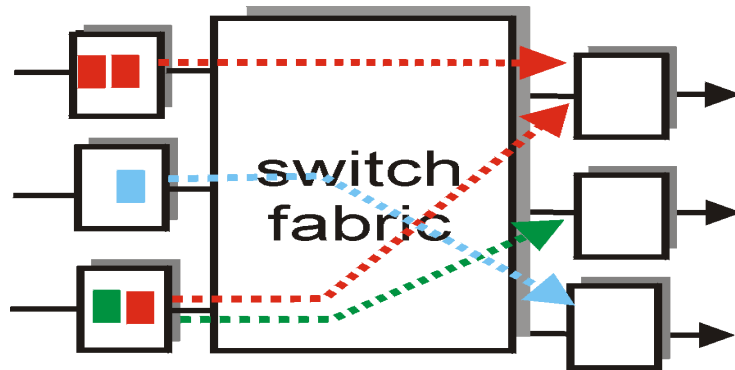
Encolamiento en puerto de salida



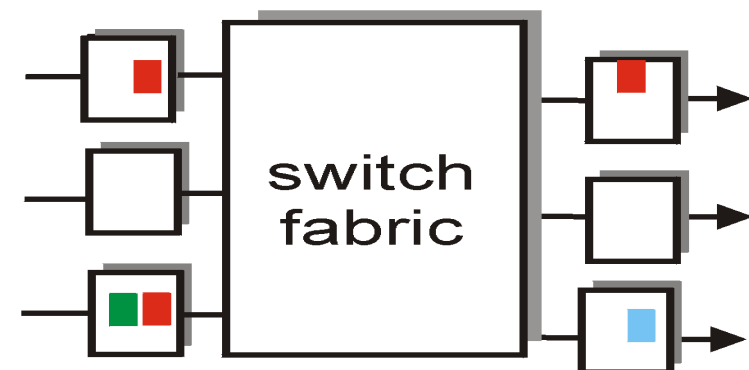
- Almacenamiento cuando la tasa de llegada del switch excede la rapidez de la línea de salida.
- *Retardo en cola y pérdidas debido a que el buffer puede rebasarse!*

Encolamiento en puerto de entrada

- ❑ Redes de interconexión más lenta que las puertas de entradas combinadas -> encolamiento puede ocurrir en colas de entrada
- ❑ **Bloqueo de inicio de cola:** datagramas encolados al inicio de la cola impiden que otros en la cola puedan seguir
- ❑ *Retardo en colas y pérdidas debido a rebalse de buffer de entrada!*



output port contention
at time t - only one red
packet can be transferred



green packet
experiences HOL blocking

HOL: Head-Of-the-Line

Políticas de descarte y envío

- ❑ Descarte al ingresar a la cola:
 - Drop-tail: descartar el que llega cuando no hay espacio
 - Random Early Detection (RED): A la llegada de un paquete éste es marcado (para su eliminación posterior al hacer espacio en caso de llegar a lleno) o descartado dependiendo del largo promedio de la cola.
- ❑ Para el envío de paquetes:
 - First-come-first-served (FCFS): como cola de banco.
 - Weighted fair queuing (WFQ): comparte el ancho de banda de salida equitativamente entre las conexiones de extremo a extremo (requiere manejar más información de estado).

Capítulo 4: Capa de Red

- ❑ 4.1 Introducción
- ❑ 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- ❑ 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- ❑ 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Ruteo Broadcast y multicast