

# Capítulo 4: Capa Red - I

ELO322: Redes de Computadores

Agustín J. González

Este material está basado en:

- Material de apoyo al texto Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet. Jim Kurose, Keith Ross.

# Capítulo 4: Capa de Red

## Objetivos de capítulo:

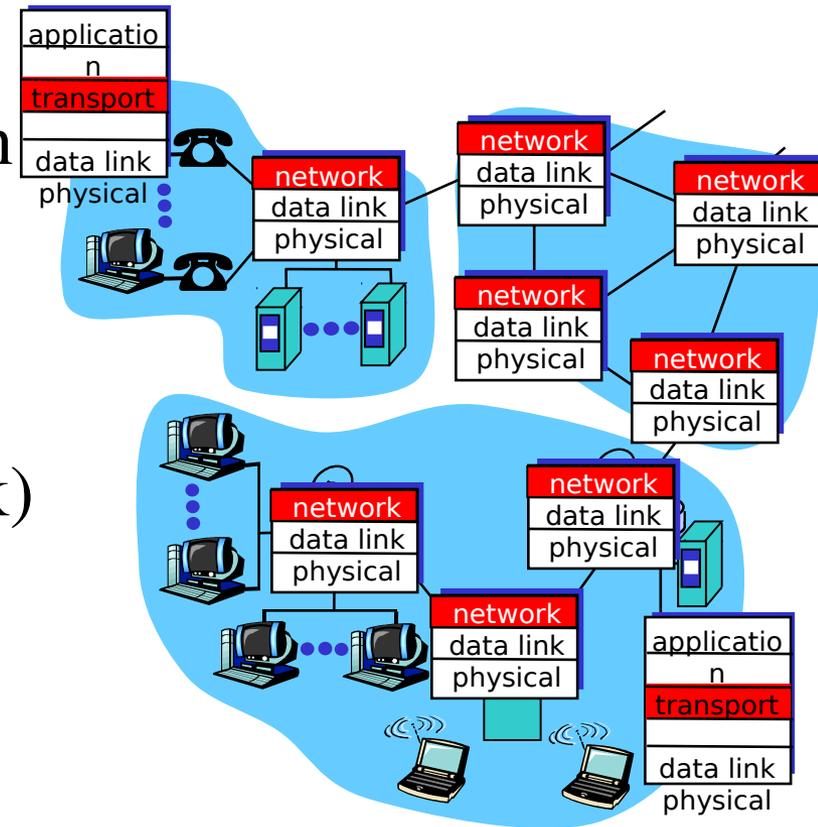
- ❑ Entender los principios detrás de los servicios de la capa de red:
  - Ruteo (selección de la ruta)
  - Cómo funciona un router
  - Tópicos avanzados: IPv6
- ❑ Aplicación e implementación en la Internet

# 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 Algoritmos de ruteo
  - Estado de enlace
  - Vector de Distancias
  - Ruteo Jerárquico
- ❑ 4.6 Ruteo en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- ❑ 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

# Capa red (network layer)

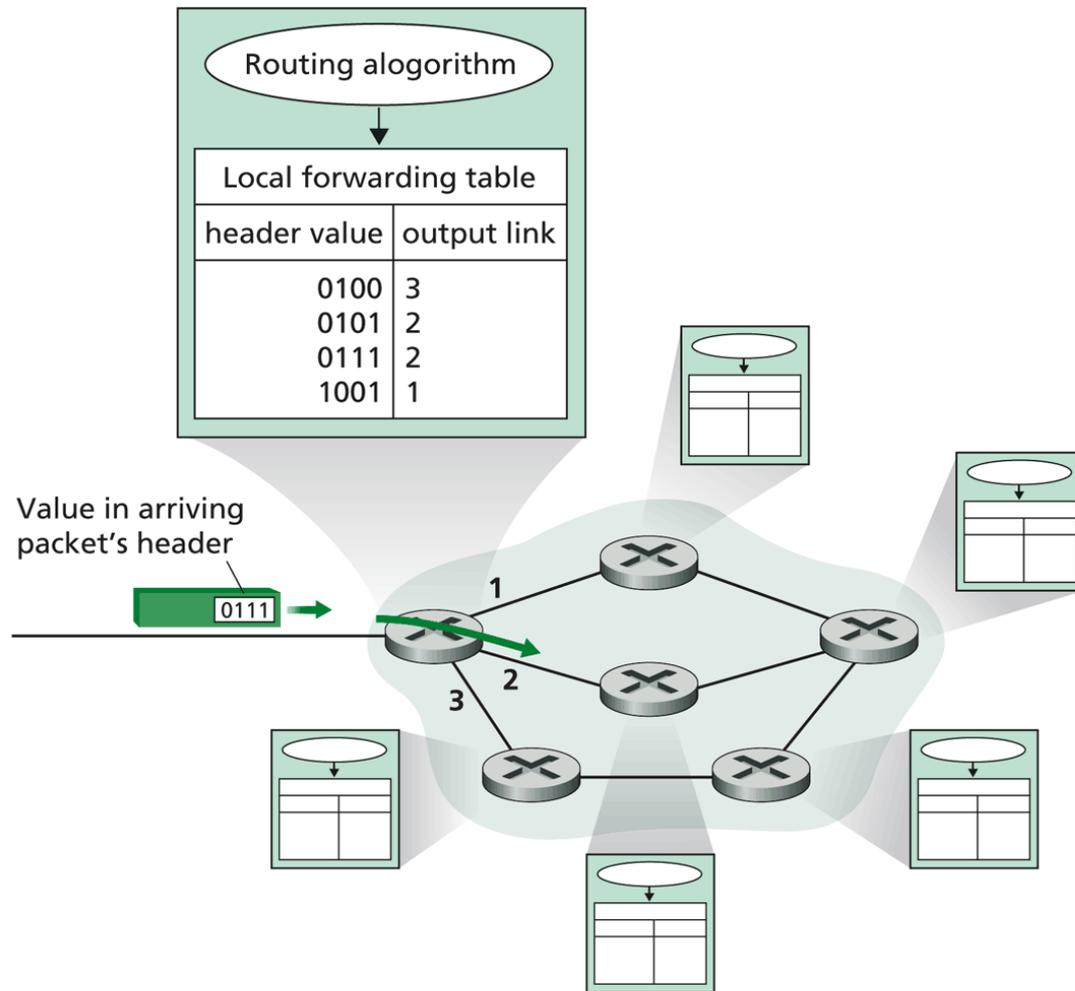
- ❑ Transporta segmentos de fuente a destino
- ❑ En origen encapsula segmentos en datagramas
- ❑ En destino entrega segmentos a capa transporte
- ❑ Hay protocolos capa red (network) en cada terminal y router
- ❑ Router examina campos de cabecera en todos los datagramas IP que pasan por él



# Funciones claves de la capa de red

- *Ruteo*: determinar ruta para los paquetes desde fuente a destino.
  - *Algoritmos de Ruteo*
- *Re-envío (forwarding)*: mover paquetes desde una entrada del router a la salida apropiada.
- *Analogía*:
  - *Ruteo*: proceso de planear viaje de fuente a destino
  - *Re-envío (forwarding)*: proceso de transitar a través de una intersección

# Funciones de ruteo y reenvío



**Figure 4.2** ♦ Routing algorithms determine values in forwarding tables

# Establecimiento de Conexión

- ❑ Fuera de ruteo y re-envío, el establecimiento de la conexión es la 3ra función de importancia en algunas arquitecturas de redes:
  - ATM, frame relay, X.25
- ❑ En algunas redes, antes que los datagramas fluyan, los dos hosts y los routers que intervienen establecen una conexión virtual
  - Routers se involucran en las conexiones
- ❑ Diferencia en servicio de conexión de capas red y transporte:
  - **Red**: conexión entre dos terminales (hosts)
  - **Transporte**: conexión 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?

Sería bueno contar con:

## Servicios para datagramas individuales:

- ❑ Entrega garantizada
- ❑ Entrega garantizada con retardo inferior a X [ms] (e.g. 40 ms)

## Servicios para un flujo de datagramas:

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

# 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 en capa 4 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

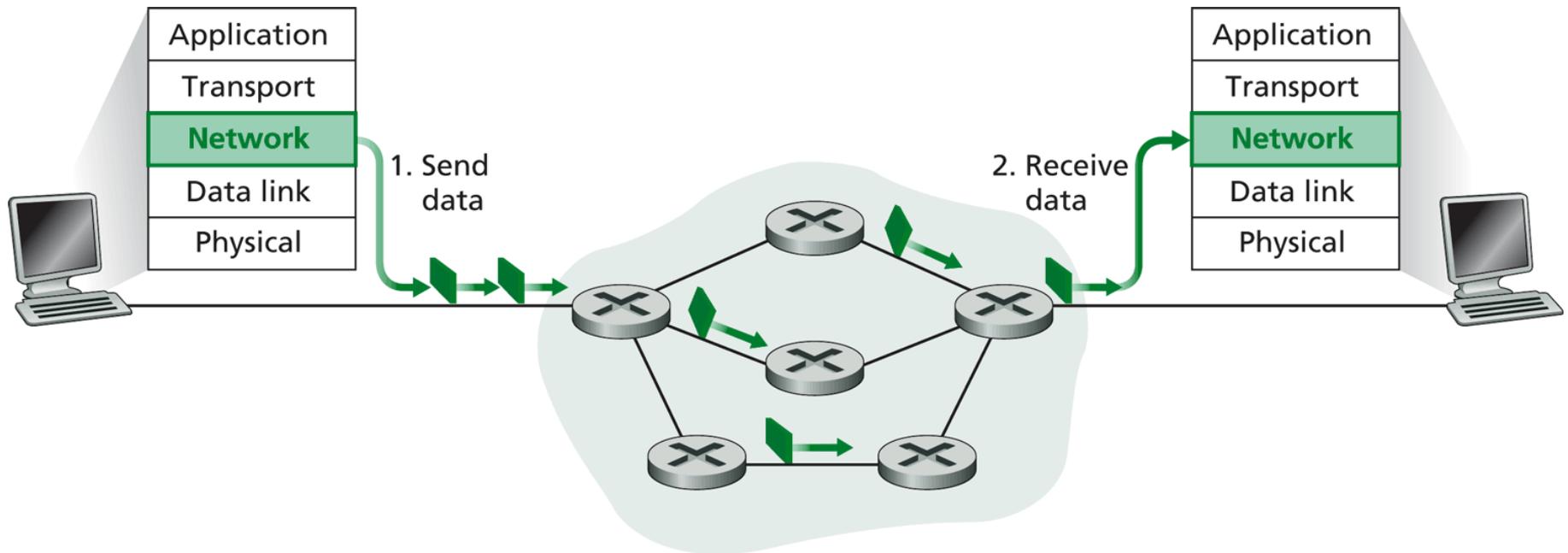
- ❑ 4.1 Introducción
- ❑ 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- ❑ 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
  - Formato de Datagrama
  - Direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmo de ruteo
  - Estado de enlace
  - Vector de Distancias
  - Ruteo Jerárquico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

# Servicios con y sin conexión de la capa de Red

- ❑ Las **redes de datagramas** proveen servicio sin conexión en su capa de red (caso Internet)
- ❑ **Redes de VC (Virtual Circuit)** proveen servicio de conexión en su capa de red (e.g. ATM)
- ❑ Análogo a los servicios de capa transporte, pero:
  - **Servicio es:** terminal-a-terminal (host-to-host)
  - **No hay opción:** la capa de red provee sólo uno u otro (es tipo circuito virtual o es datagrama, no ambos)
  - **Implementación:** en la red interna (core)

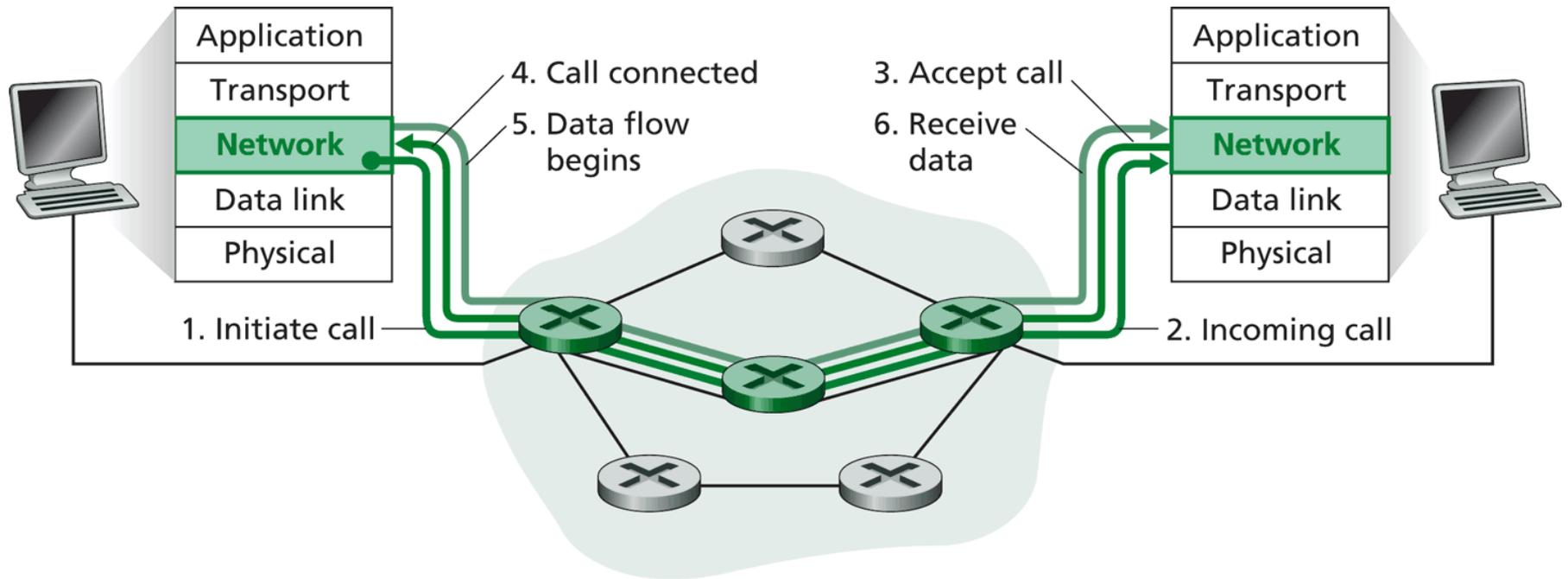
# Redes de Datagramas

- Tx pone dirección destino en paquete.
- No hay estado mantenido en cada router por cada conexión.
- Paquetes se reenvían usando su dirección de terminal destino.



**Figure 4.5** ♦ Datagram network

# Implementación de VC: Establecimiento del circuito virtual



**Figure 4.4** ♦ Virtual-circuit setup

# Circuitos virtuales (VC)

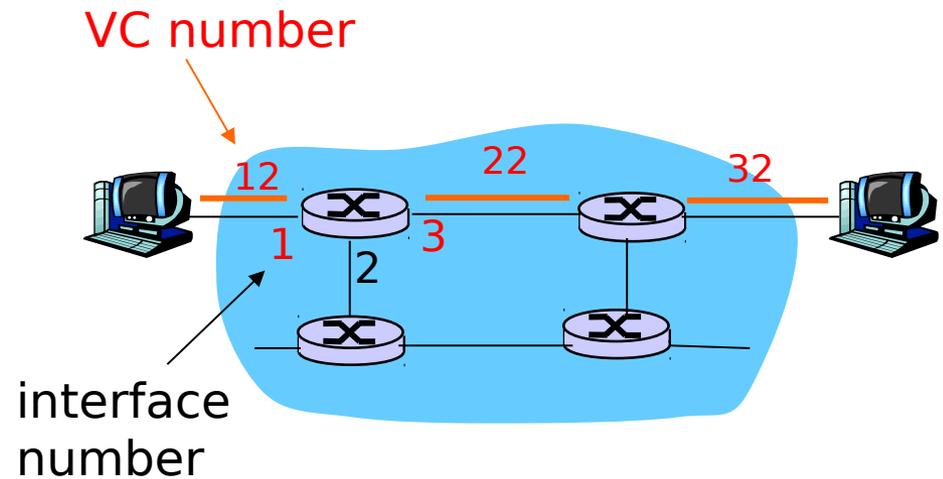
- ❑ “Camino de fuente a destino se comporta como un circuito telefónico”
  - ❑ Para implementar un VC la red actúa desde fuente a destino
- 
- ❑ Hay tres fases identificables:
    - Establecimiento de la llamada,
    - Transferencia de datos, y
    - Término de la llamada
  - ❑ Cada paquete lleva un 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. Números 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 en cada enlace.
  - El número de VC debe ser cambiado en cada enlace.
    - El nuevo número de VC es tomado de la tabla de re-envío

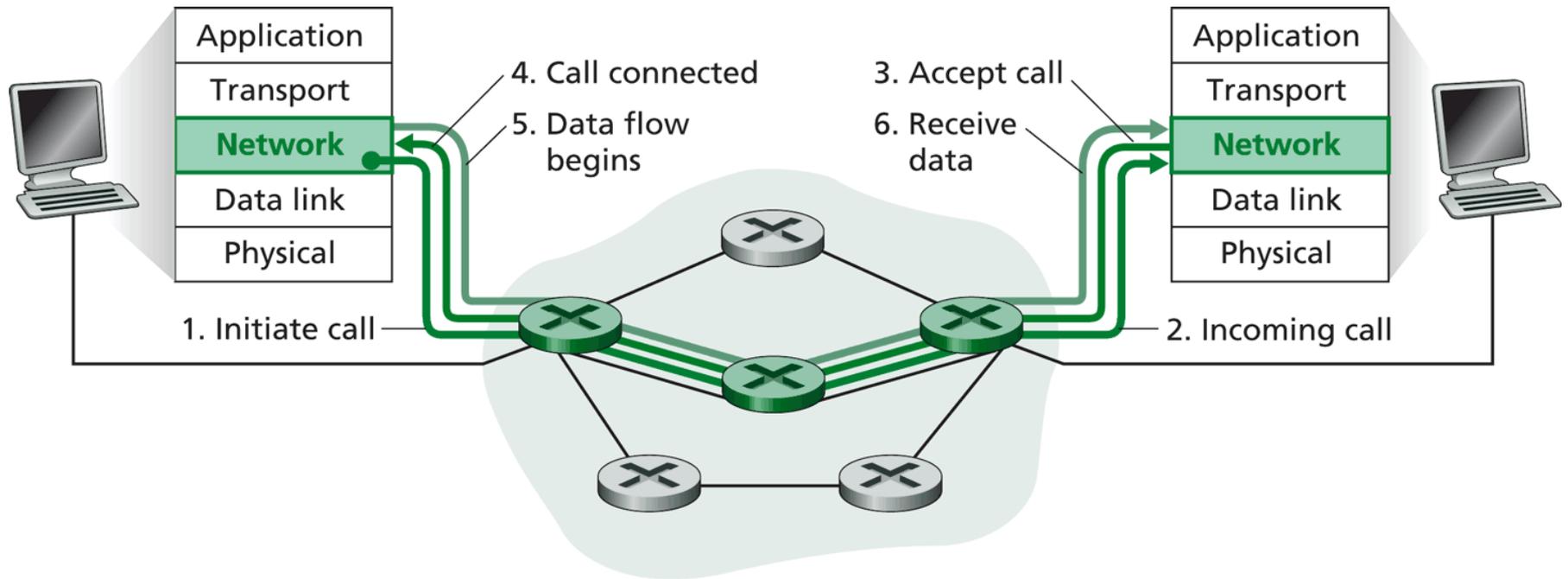
# Tabla de reenvío



Incoming interface	Incoming VC #	Outgoing interface	Outgoing VC #
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...	...	...	...

**Router mantiene información del estado de la conexión**

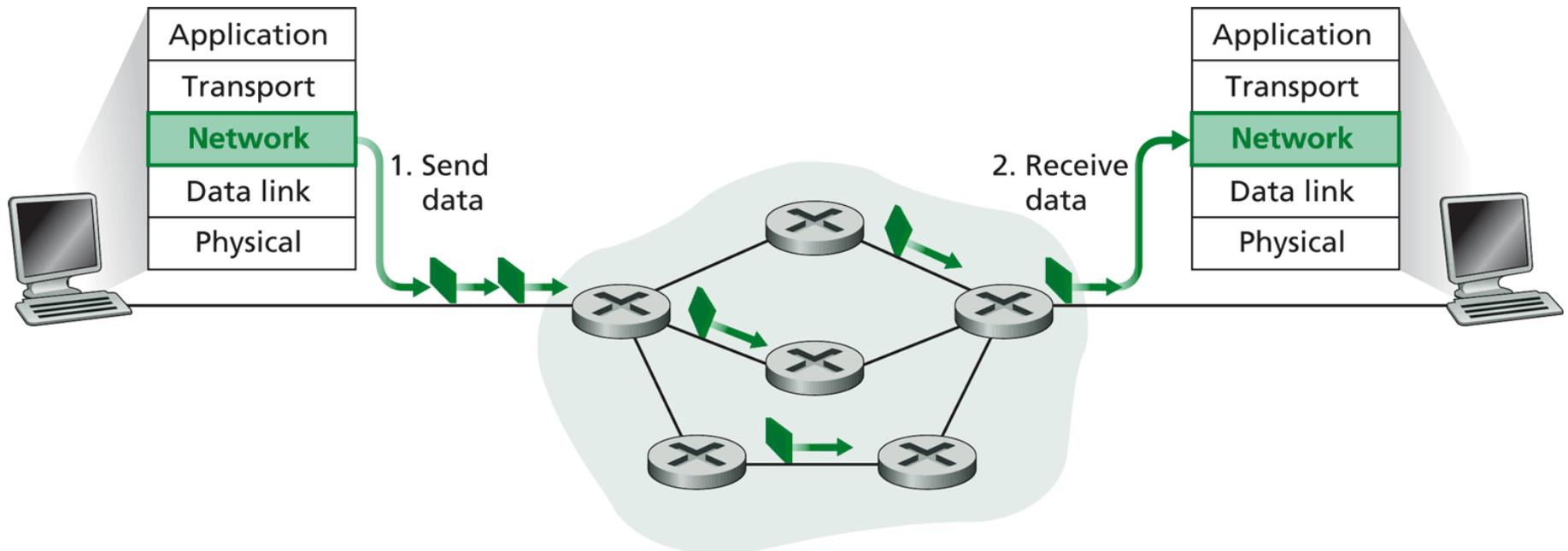
# Implementación de VC: Establecimiento del circuito virtual



**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.
- Paquetes se reenvían usando su dirección de terminal destino.



**Figure 4.5** ♦ Datagram network

# Tabla de re-envío IP

4000 millones de  
Posibles entradas

<u>Rango de direcciones destinos</u>	Enlace Interfaz
11001000 00010111 00010000 00000000 a 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 a 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 a 11001000 00010111 00011111 11111111	2
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 Protocol (IP)

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

# ¿Por qué es más fácil ofrecer calidad de servicio en ATM que en redes de datagramas?



- ❑ Es más simple porque en la etapa de establecimiento de la conexión se define una ruta única, lo cual hace posible hacer reserva de recursos en cada router y enlace de la ruta.
- ❑ En redes de datagramas los paquetes toman distintas rutas según las condiciones de la red y por ello la reserva de recursos no es posible.

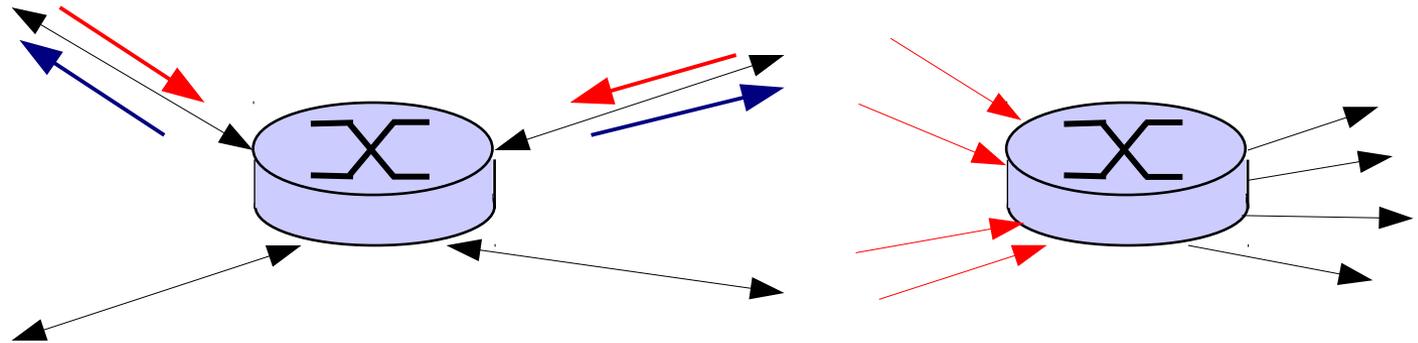
# Capítulo 4: Capa de Red

- ❑ 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

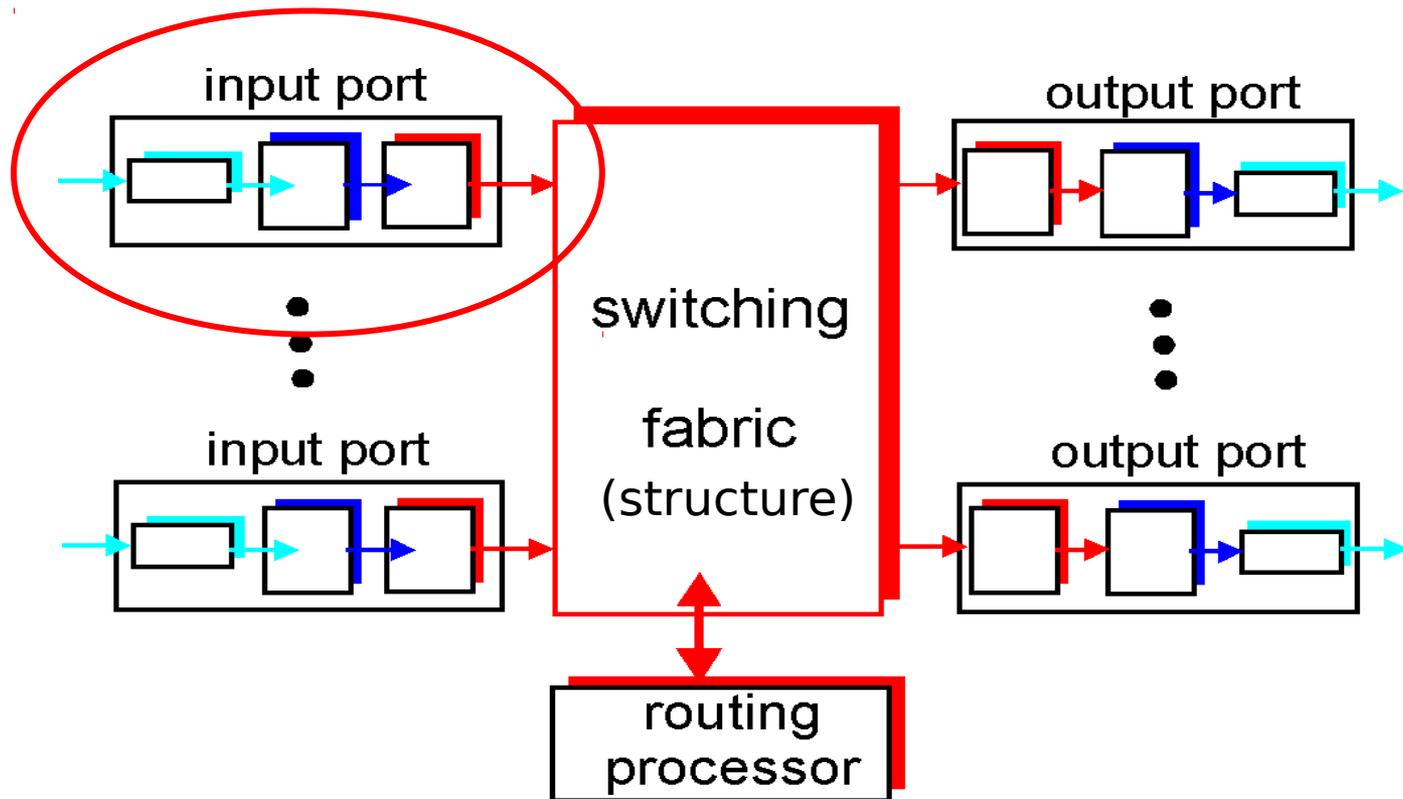


La gran mayoría de los enlaces son bidireccionales.  
Para analizar la arquitectura de un router  
separaremos las entradas de las salida

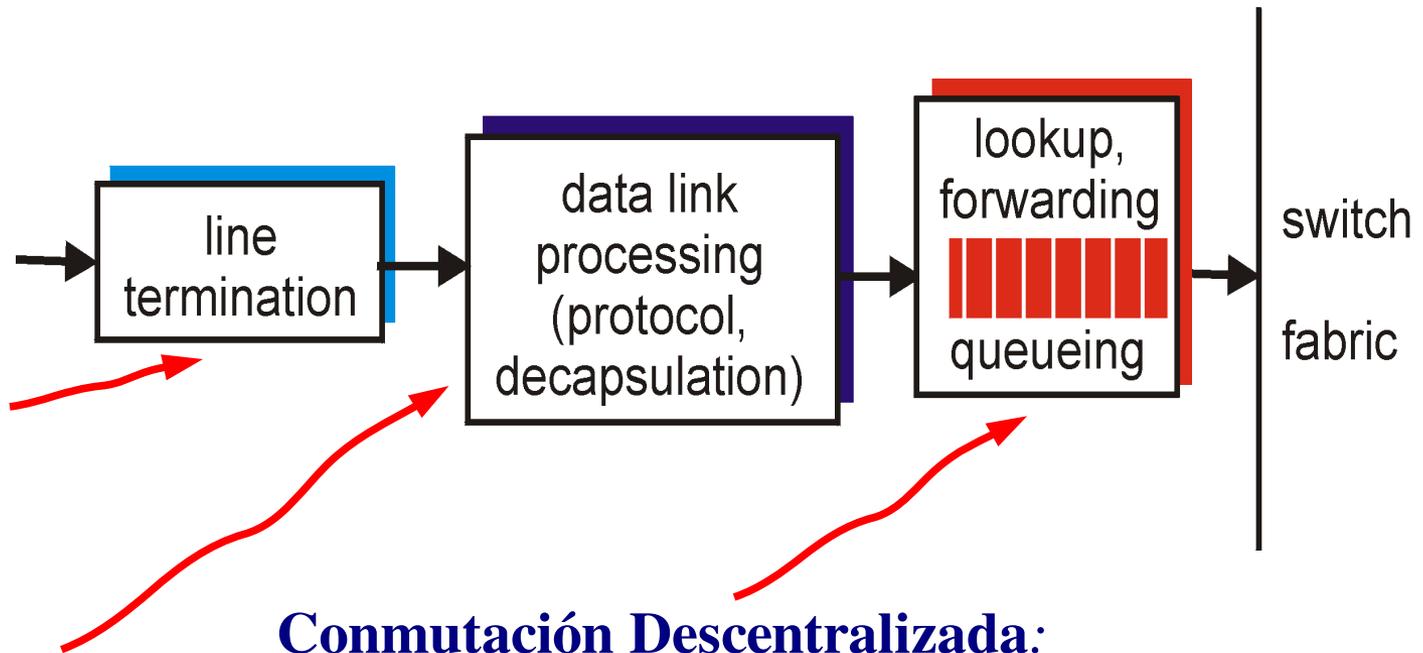
# Arquitectura de Routers: Generalidades

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



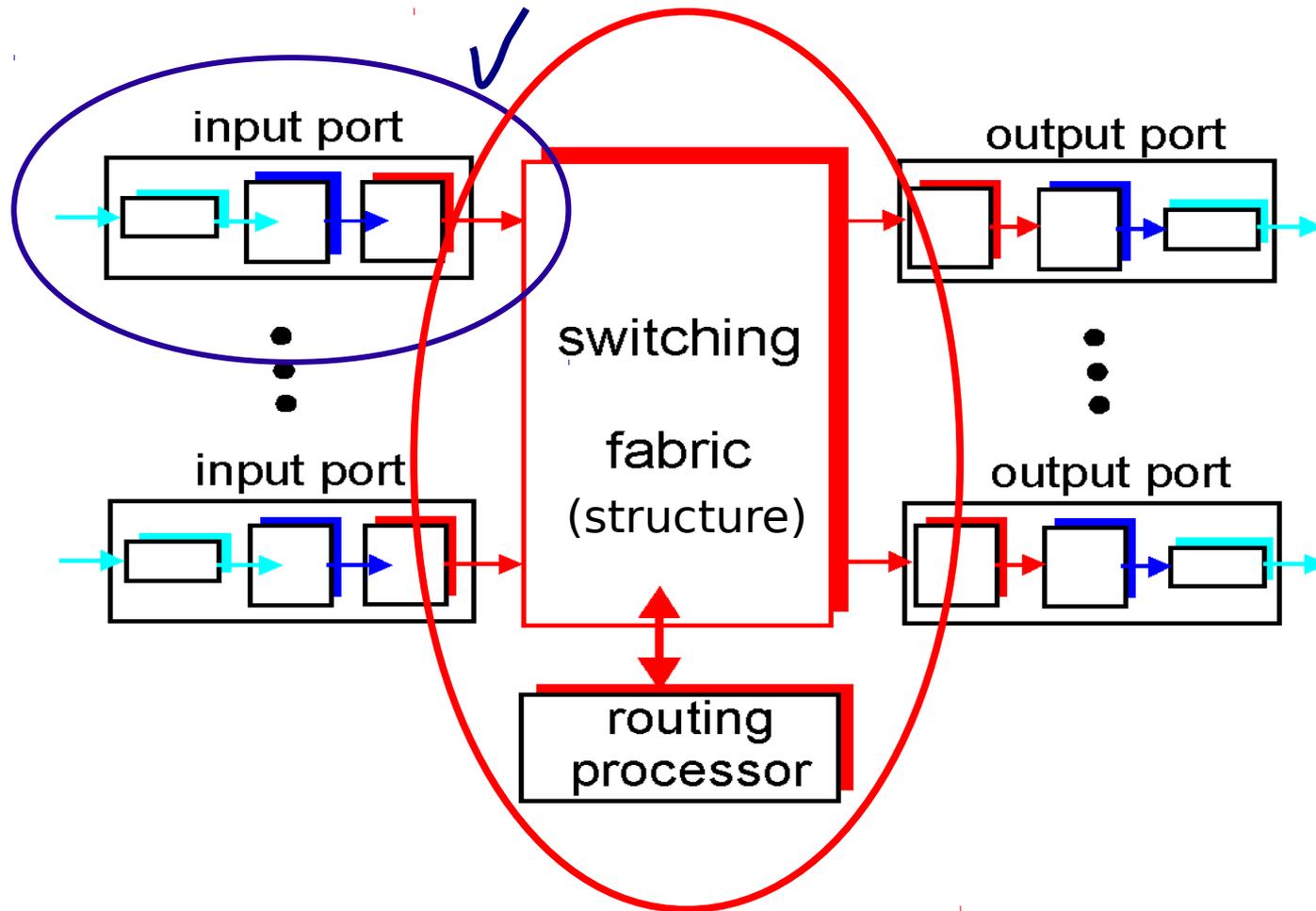
**Capa física:**  
Recepción  
nivel de bits

**Capa enlace datos:**  
e.g., Ethernet  
(más adelante)

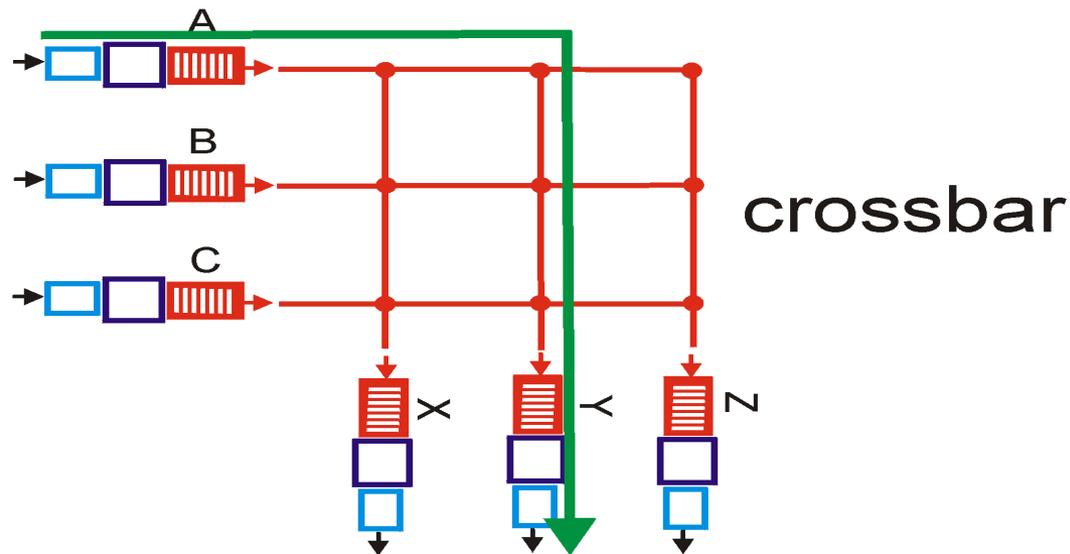
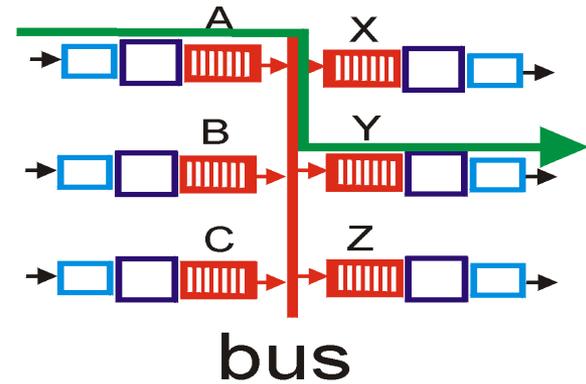
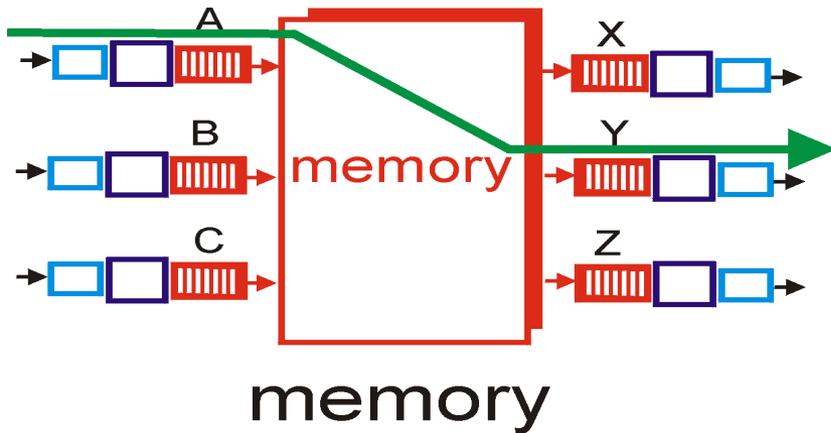
## **Conmutación Descentralizada:**

- ❑ Dada la dirección destino de datagrama, se obtiene puerto de salida usando la tabla de re- envío en la memoria del puerto de entrada
- ❑ Objetivo: procesamiento completo en puerto de entrada a “velocidad de la línea”
- ❑ Hacer cola si datagramas llegan más rápido que tasa de re- envío de la estructura de switches

# Arquitectura de Routers: Generalidades



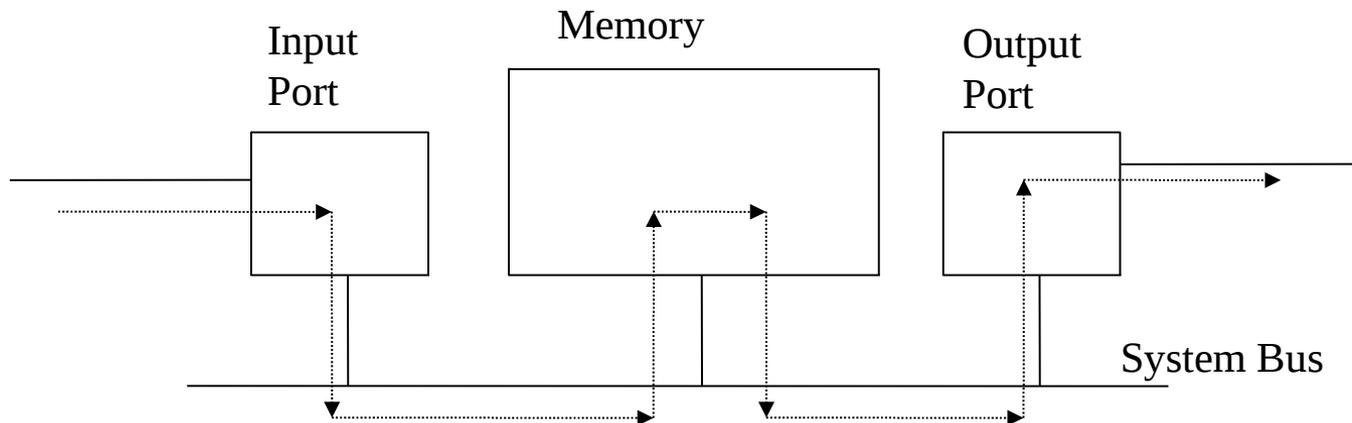
# Tres tipos de estructuras de switches



# Conmutación vía Memoria

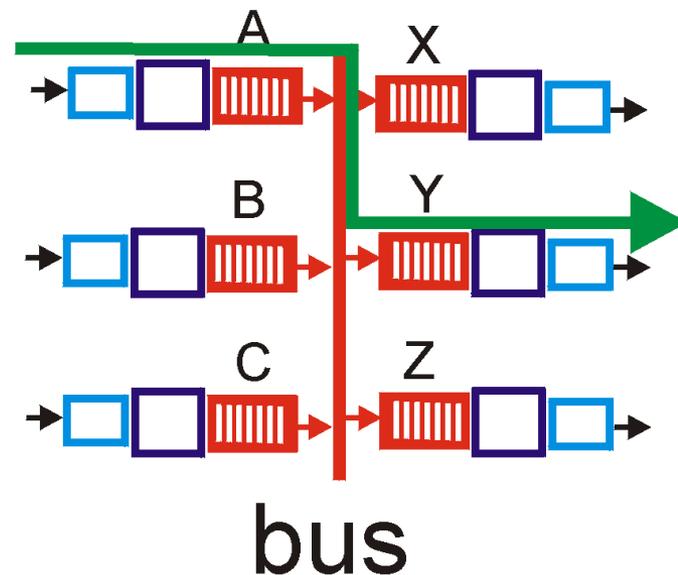
## Primera generación de routers:

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



# Conmutación vía Bus

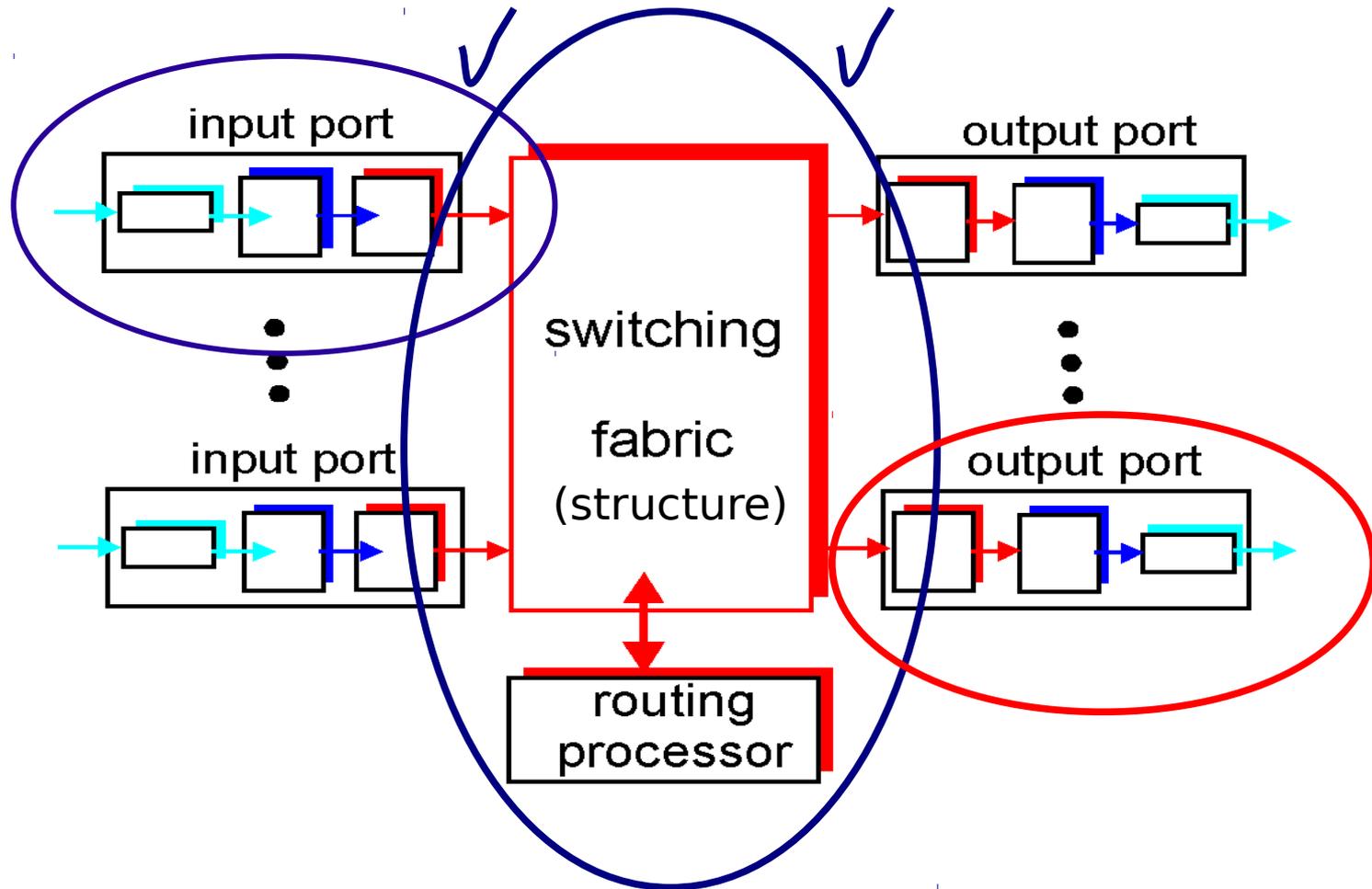
- Datagramas transitan desde la memoria del puerto de entrada a la memoria del puerto de salida vía un bus compartido
- **Contención en bus:** rapidez de conmutación limitada por ancho de banda del bus
- Bus de 1 Gbps, Cisco 1900: rapidez suficiente para routers de acceso y de empresas (no router regional o backbone)
- Otras compañía importante en esta área son Alcatel, Huawei, Juniper
- Cisco (San Francisco), parte el 1984, con dos emprendedores. En dos años alcanza ganancias de 250.000US\$/mes.



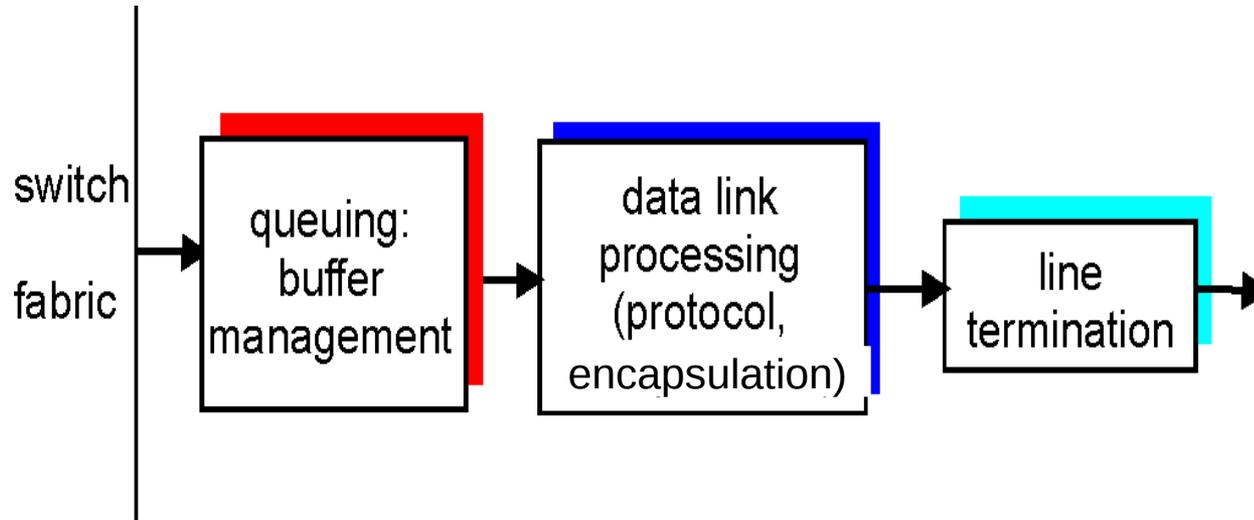
Cisco  
1900  
Capa de Red 4-30



# Arquitectura de Routers: Generalidades



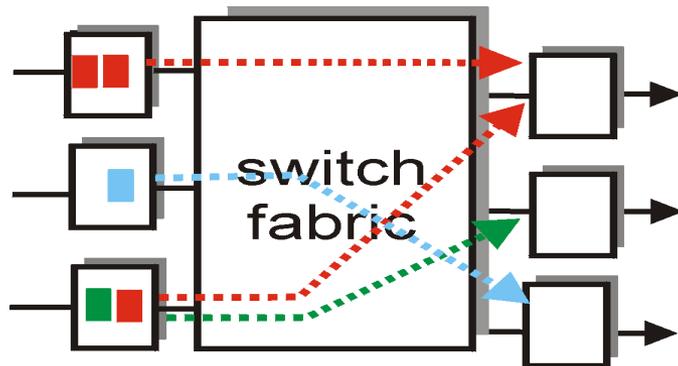
# Puertos de Salida



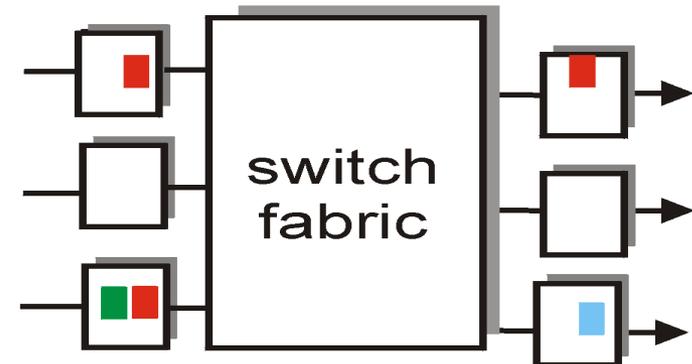
- ❑ *Almacenamiento (Buffering)* requerido cuando datagramas llegan desde la estructura de switches más rápido que la tasa de transmisión
- ❑ *Disciplina de itinerario (Scheduling)* escoge entre los datagramas encolados para transmisión

# Encolamiento: Ocurre en la entrada y salida En puerto de entrada

- ❑ Redes de **interconexión más lentas que las puertas de entradas combinadas** -> encolamiento puede ocurrir en colas de entrada
- ❑ Contención por **puerto de salida**
- ❑ **Bloqueo de inicio de cola (HOL):** 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!**



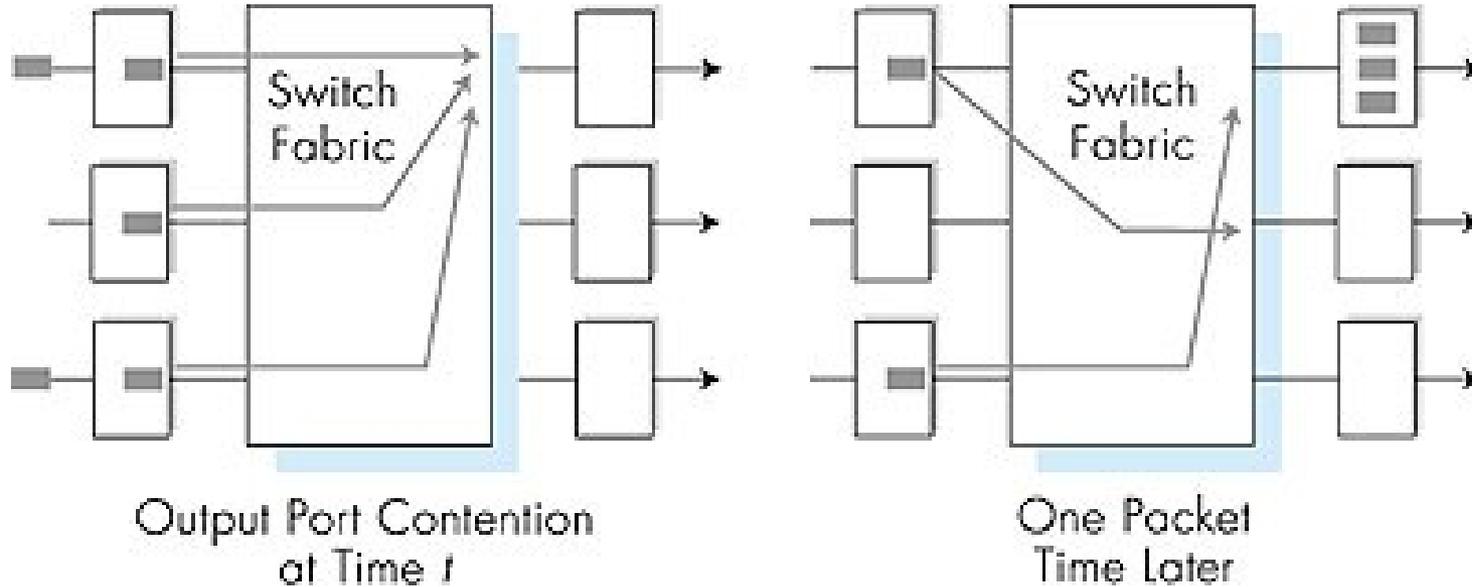
output port contention  
at time  $t$  - only one red  
packet can be transferred



green packet  
experiences HOL blocking

HOL: Head-Of-the-Line

# 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 de salida se puede rebalsar*

# 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 un buffer 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 estados).

RED (Random Early Detection) puede descartar paquetes tan pronto éstos llegan al router o puede marcarlos para un eventual descarte posterior. Dé una ventaja y una desventaja de la primera estrategia frente a la segunda.

- ❑ Ventaja: Es más simple de implementar el descarte a la llegada.

*Nota: Cuando sólo se marca, en caso de necesidad de descarte, se deben mover paquetes en medio de la cola para acomodar el espacio liberado.*

- ❑ Desventaja: es posible que se descarten paquetes aún cuando nunca se ocupe la capacidad del buffer del router; en la segunda opción los paquetes logran ser transmitidos si el buffer no se llena.

# 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