REDES DE COMPUTADORAS
EC5751

USB

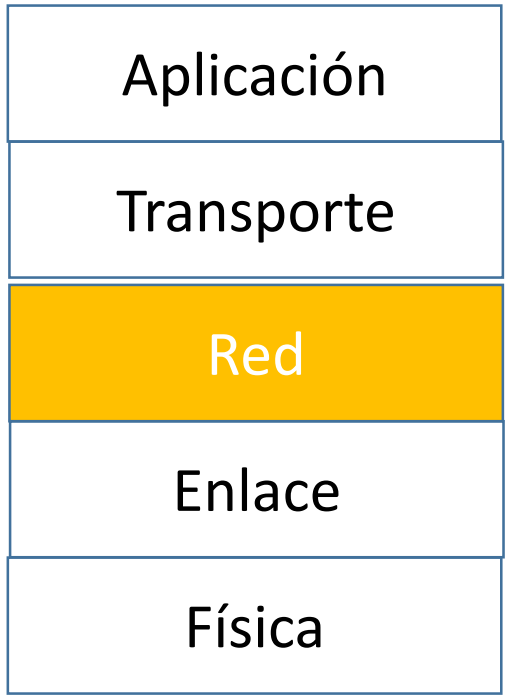
Capa de Red

Prof. Mariano Arias

LA CAPA DE RED

Contenido

- Router
- Datagramas
- Circuitos Virtuales
- Colas y Retardo de Colas
- Algoritmos de enrutamiento
- Control de Flujo y de Congestión
- Calidad de servicio
- Interconexión de redes



LA CAPA DE RED

• El nivel de **red** o **capa de red (Network)**, proporciona conectividad y selección de ruta entre dos sistemas de hosts que pueden estar ubicados en redes geográficamente distintas.

• Provee principalmente los servicios de envío, **enrutamiento** y control de congestionamiento de los datos .

• Otras características:

- No establece conexión antes de enviar los datos.
- No utiliza garantía para entregar paquetes, es decir, no es confiable.
- Totalmente independiente del medio.

La función de la capa 3 es descubrir cuál es la mejor ruta a través de la internetwork.

LA CAPA DE RED

- **Enrutar:** Buscar una ruta, un camino nuevo o existente para llegar al destino.

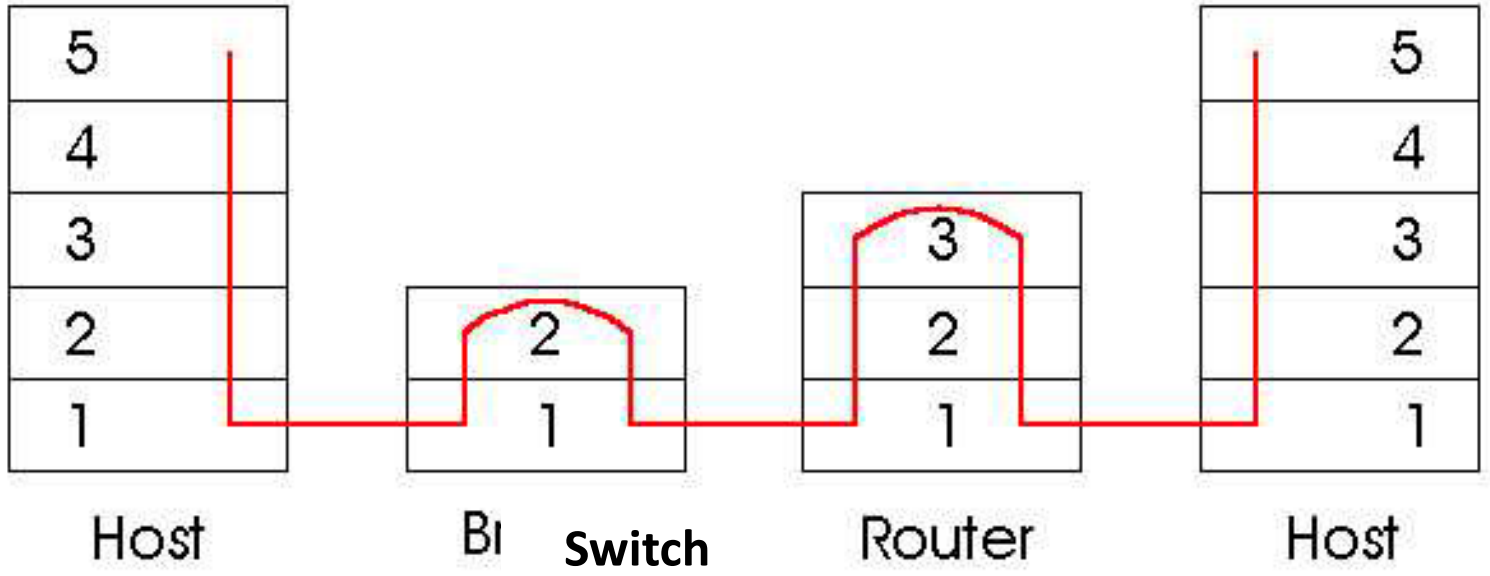
- **Router (Enrutador):**

- Conmutadores (Switch) de paquetes nivel 3
- Conectan todo tipo de red.
- Dirigen los paquetes a través de las rutas más eficientes o económicas dentro de la malla de redes.
- Son el núcleo de las rutas de Internet.
- Es uno de los equipos que más adelantos tecnológicos, ha sufrido, ya no sólo transportan datos sino voz, audio, video…

LA CAPA DE RED

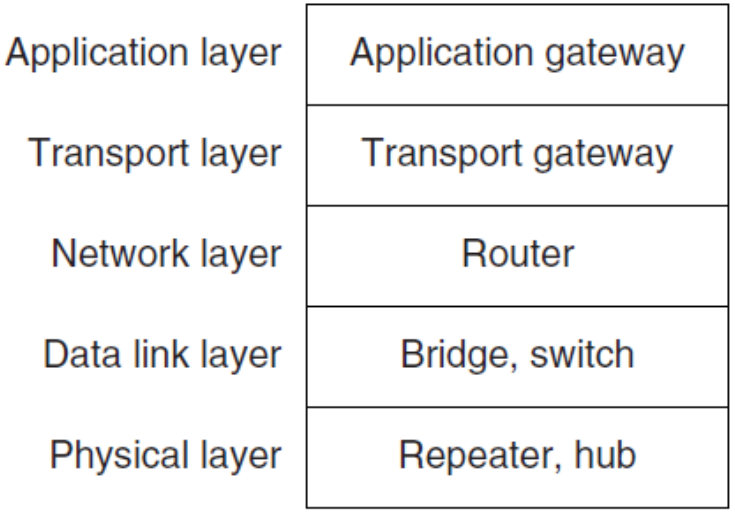
Switch vs Router

Ambos son dispositivos de almacenamiento y re-envío:
—Routers son dispositivos de capa de red (examinan encabezados de capa de red), que mantienen tablas de enrutamiento e implementan los algoritmos de enrutamiento.
—Switches son dispositivos de capa enlace de datos, que mantienen las tablas de conmutación, implementan filtrado y algoritmos de aprendizaje.

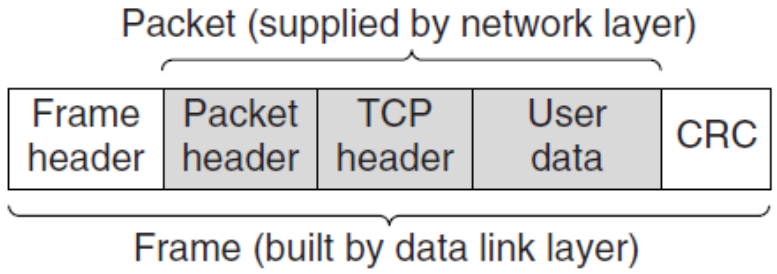


LA CAPA DE RED

¿Donde esta cada dispositivo?



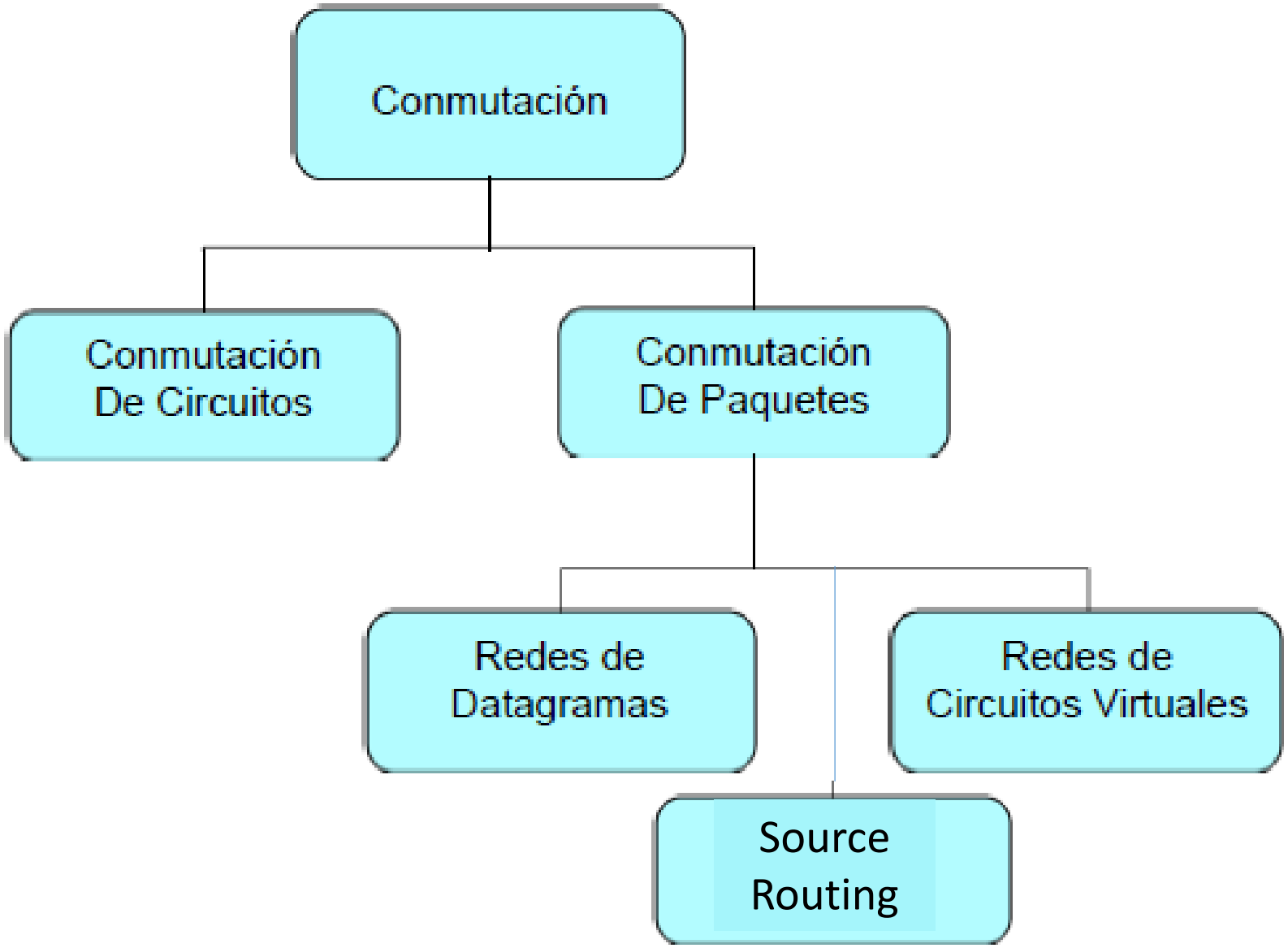
(a)



(b)

	Hub	Swicht	Router
Aísla Tráfico	No	Si	Si
Plug and Play	Si	Si	No
Mejor enrutamiento	No	No	Si
Cut Through	Si	Si	No

LA CAPA DE RED



LA CAPA DE RED

Características de los Paquetes

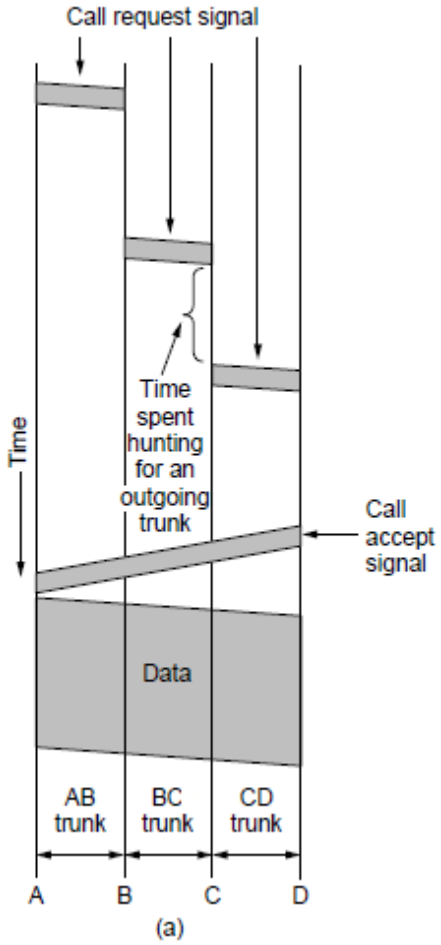
- Un paquete es una unidad de información que consta de dos partes: los datos propiamente dichos e información de control (contiene destino).
- Existe un límite superior para el tamaño de los paquetes; si se excede, es necesario dividir el paquete en otros más pequeños.
- Los paquetes forman una cola y se transmiten lo más rápido posible.
- Permiten la conversión en la velocidad de los datos.
- La red puede seguir aceptando datos aunque la transmisión sea lenta.
- Se pueden manejar prioridades (si un grupo de información es más importante que otro, será transmitido antes).

LA CAPA FISICA

Conmutación

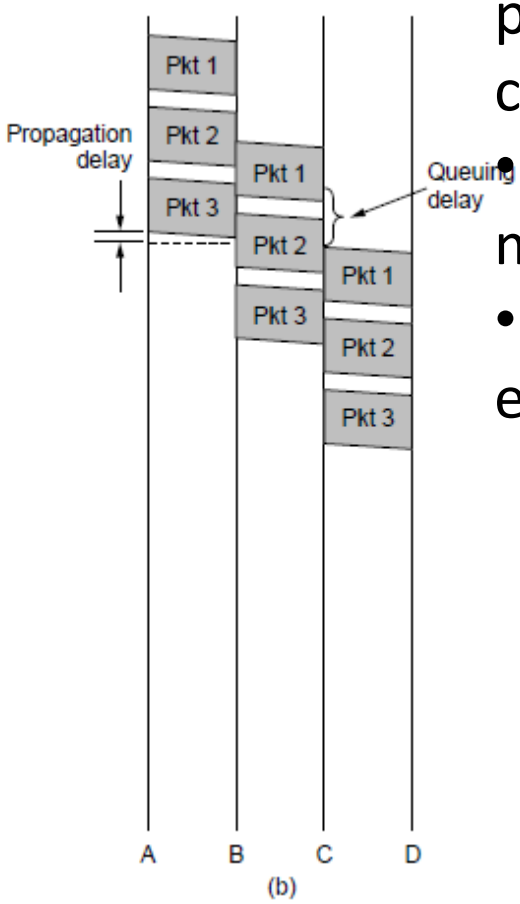
- Conmutación de circuitos requiere establecer una conexión antes de iniciar el flujo de datos.
- Así mismo se debe cerrar la Conexión.

Circuitos



PSTN (Red Telefónica

Paquetes



Internet

- La conmutación de paquetes no establece conexión
- Trata los mensajes de manera independiente
- Hay retardo variable en los enrutadores

LA CAPA FISICA

Conmutación

Item	Circuit switched	Packet switched
Call setup	Required	Not needed
Dedicated physical path	Yes	No
Each packet follows the same route	Yes	No
Packets arrive in order	Yes	No
Is a switch crash fatal	Yes	No
Bandwidth available	Fixed	Dynamic
Time of possible congestion	At setup time	On every packet
Potentially wasted bandwidth	Yes	No
Store-and-forward transmission	No	Yes
Charging	Per minute	Per packet

LA CAPA DE RED

Conmutación de Paquetes

Hay varios enfoques para conmutar paquetes:

- Que el Router maneje la información
- Qué el mensaje mismo lleve la información de enrutamiento
    - —No orientado a conexión (datagramas)
    - —Orientado a conexión (circuitos virtuales)
    - —Source Routing (ruta en el origen)
- Cada “Router” sabe como identificar sus puertos (con un número o con el nombre del host, red u otro switch conectado a dicho puerto).

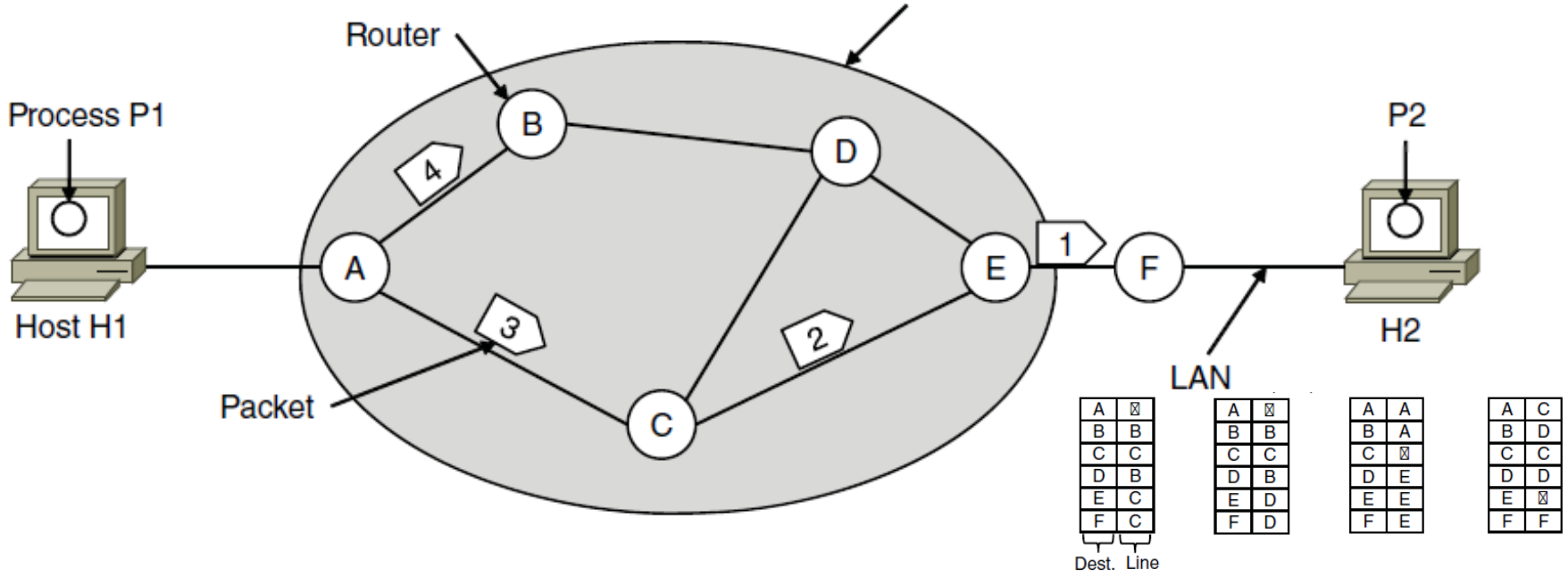
LA CAPA DE RED

Conmutación de Paquetes: Datagrama

Este tipo de conmutación es utilizada por los switches Ethernet y los routers IP.

Características:

- No existe una fase para establecer una conexión
- El nodo puede enviar el paquete ó frame cuando quiera.
- Cada paquete o frame se envía independientemente y debe llevar toda la información necesaria para alcanzar su destino (Llamado modelo Connectionless).
- Cada Router mantiene una tabla de conmutacion.



LA CAPA DE RED

Conmutación de Paquetes: Datagrama

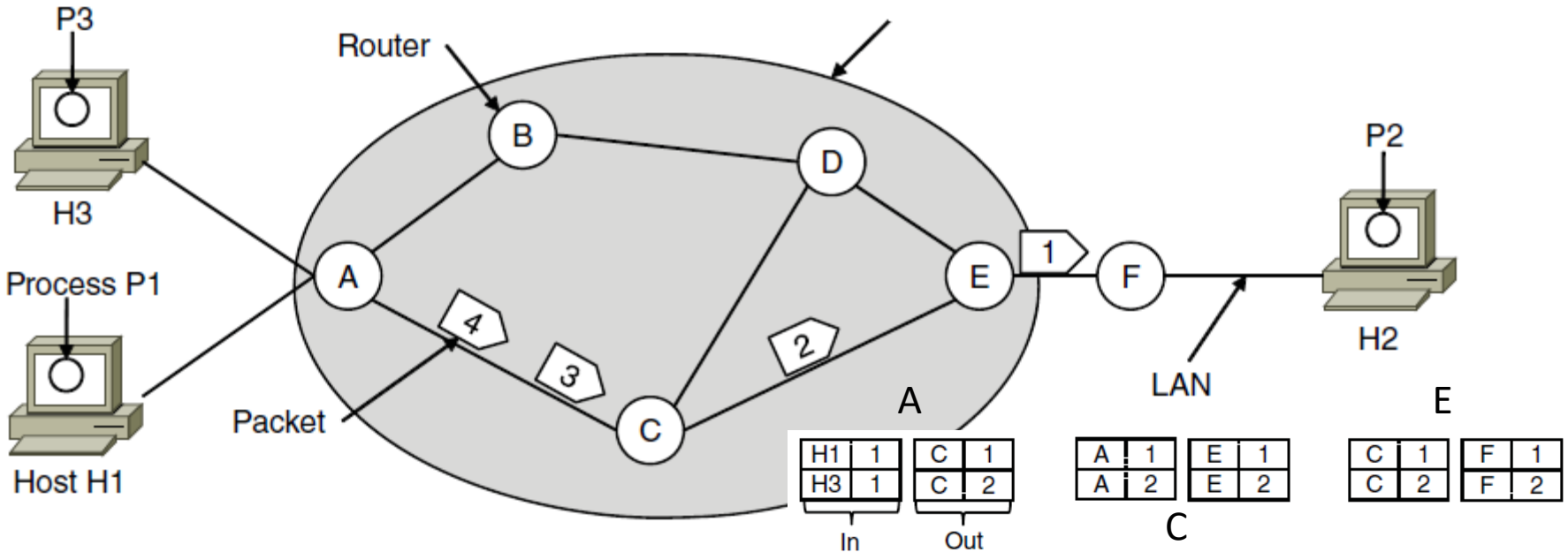
Algunas reglas :

- No se debe esperar un RTT (round trip time) para establecer una conexión; un nodo puede enviar datos al tenerlos.
- El nodo origen de los datos no tiene porque saber si la red es capaz de entregar un paquete o si el nodo destino está listo para recibir los datos.
- Ya que los paquetes son tratados independientemente, es posible cambiar el camino para evitar los enlaces y los nodos que estén fallando.
- Ya que cada paquete lleva la dirección completa del nodo destino, por ello la información adicional de control (overhead) que lleva es mucho mayor que la utilizada en el modelo orientado a conexión.

LA CAPA DE RED

Conmutación de Paquetes: Circuito Virtual

- Se requiere una fase para establecer una conexión y otra de finalización de la conexión.
- Los paquetes o celdas que se transmiten después de establecer la conexión utilizan siempre el mismo circuito.
- Llamado modelo connection-oriented (orientado a conexión).
- Cada Switch Maneja una tabla VC



LA CAPA DE RED

Conmutación de Paquetes: Circuito Virtual

- Normalmente debe esperarse un RTT completo mientras se establece una conexión para poder enviar el primer paquete.
- La solicitud de conexión debe llevar la dirección completa del nodo destino, los demás paquetes sólo tienen un identificador muy pequeño (el VCI) por ello el overhead es pequeño.
- Si un switch o un enlace falla, el circuito virtual falla y una nueva conexión debe establecerse.
- Establecer una conexión de antemano, permite reservar recursos en los switches (espacio en buffers).
- Tecnologías que utilizan circuitos virtuales son: X.25, Frame Relay y ATM.

LA CAPA DE RED

Conmutación de Paquetes: Circuito Virtual

Enfoques para establecer y detener una conexión:

- **Conexión Permanente (PVC)**

Este tipo de conexión la define y la finaliza el administrador de la red, este solicita a la red la creación de los registros en las tablas VC. Una vez creado el circuito virtual se envían los datos.

- **Conexión por Solicitud (SVC)**

Cuando un nodo A desea enviar datos al nodo B, envía un mensaje de solicitud de conexión a la red, el switch que la recibe se lo envía al siguiente, hasta llegar al nodo B. Este último, si acepta la conexión, devolverá el identificador de circuito que desea utilizar y esta “aceptación” se repite en todos los switches que se encuentran en el camino. Después de construir el circuito virtual se envían los datos. Para interrumpirlo A genera la solicitud y se envía de forma similar.

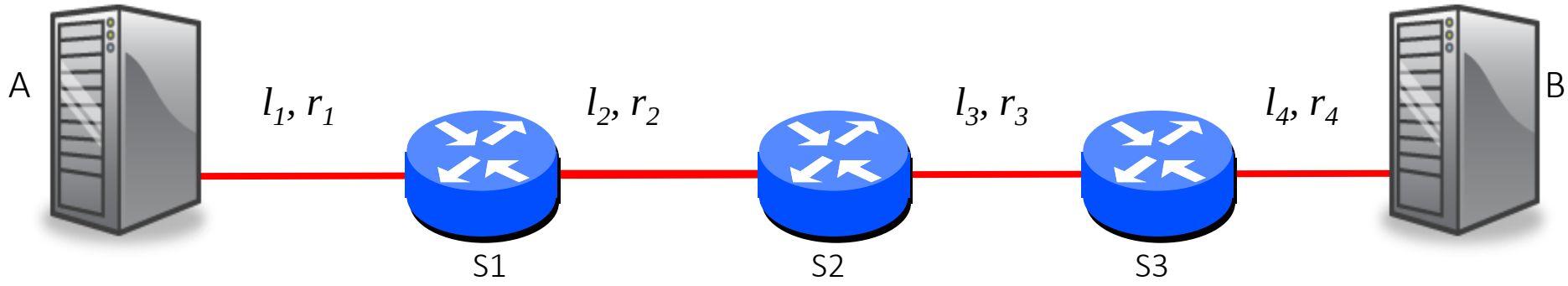
LA CAPA DE RED

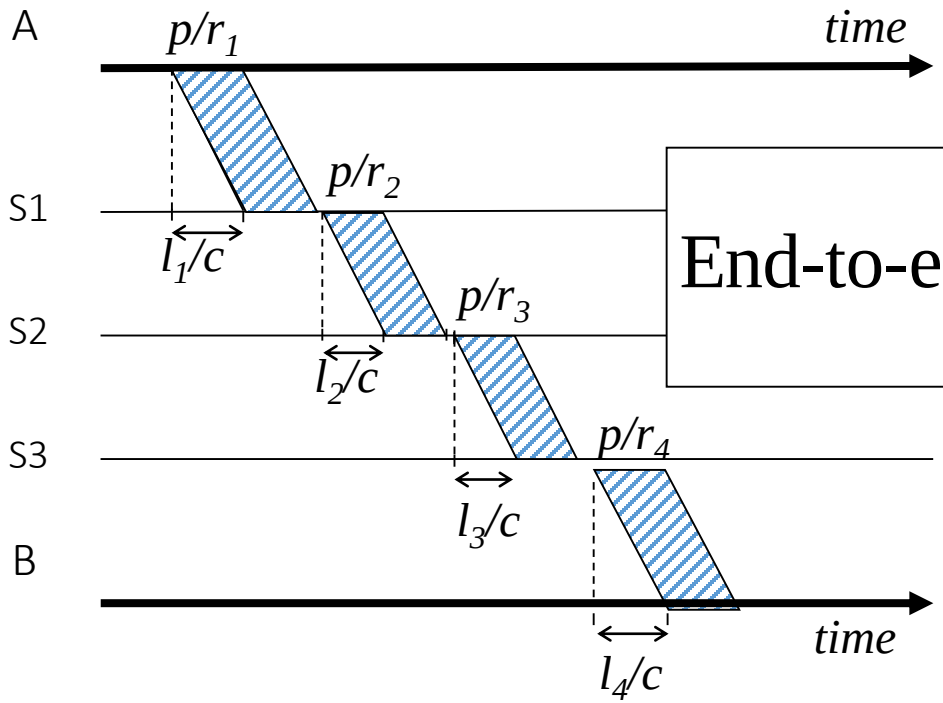
Conmutación de Paquetes

Asunto	Red de datagramas	Red de circuitos virtuales
Configuración del circuito.	No necesaria.	Requerida.
Direccionamiento.	Cada paquete contiene la dirección de origen y de destino completas.	Cada paquete contiene un número de CV corto.
Información de estado.	Los enrutadores no contienen información de estado sobre las conexiones.	Cada CV requiere espacio de tabla del enrutador por cada conexión.
Enrutamiento.	Cada paquete se enruta de manera independiente.	La ruta se elije cuando se establece el CV; todos los paquetes siguen esa ruta.
Efecto de fallas del enrutador.	Ninguno, excepto para paquetes perdidos durante una caída.	Terminan todos los CVs que pasaron por el enrutador defectuoso.
Calidad del servicio.	Difícil.	Fácil si se pueden asignar suficientes recursos por adelantado para cada CV.
Control de congestión.	Difícil.	Fácil si se pueden asignar suficientes recursos por adelantado para cada CV.

LA CAPA DE RED

Volvamos a End to end Delay

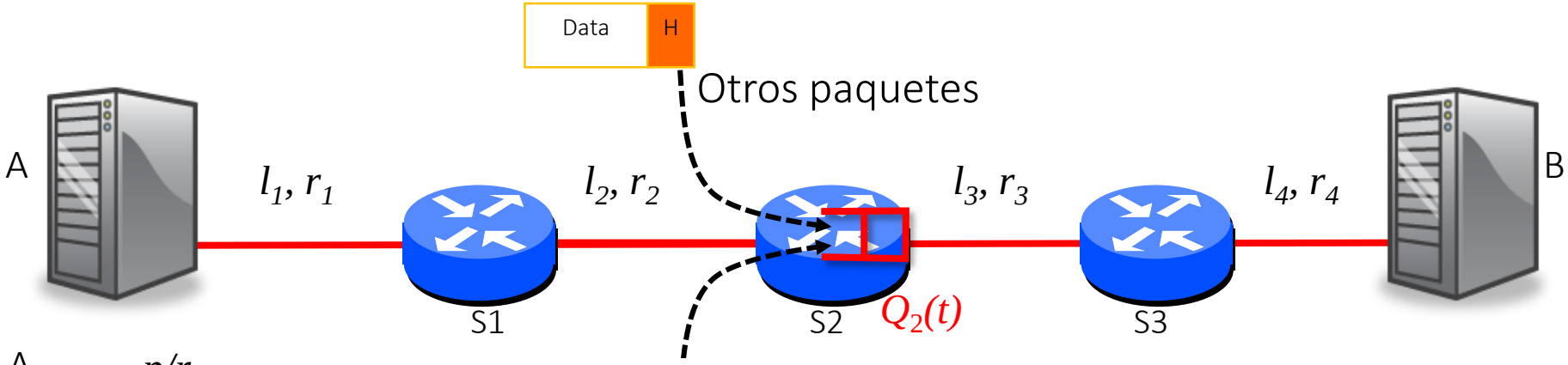


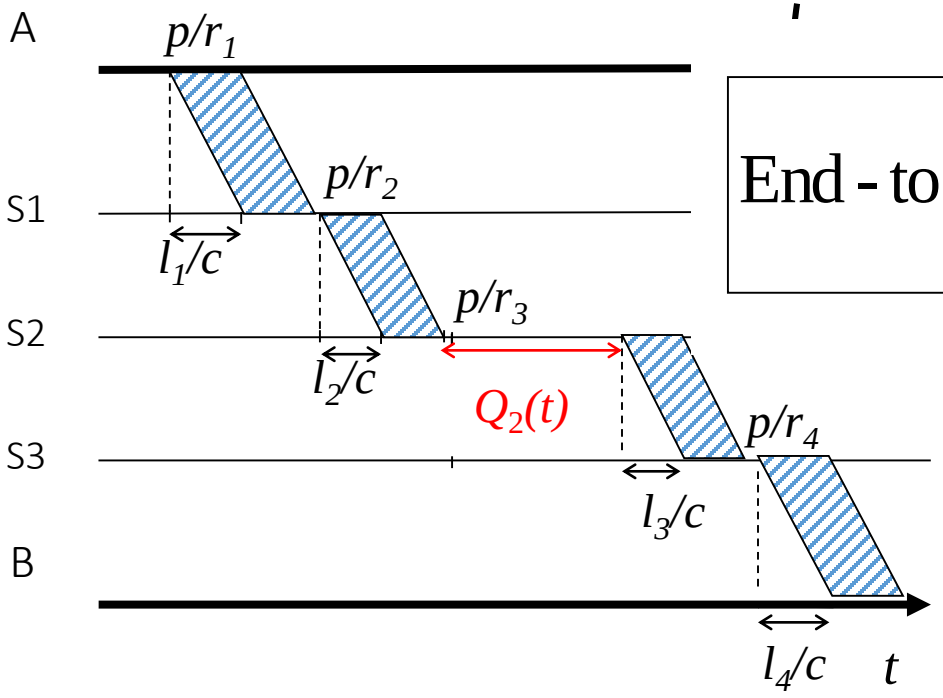


End-to-end delay, $t = \sum_i \left(\frac{p}{r_i} + \frac{l_i}{c} \right)$

LA CAPA DE RED

Retardo por colas (Queuing Delay)



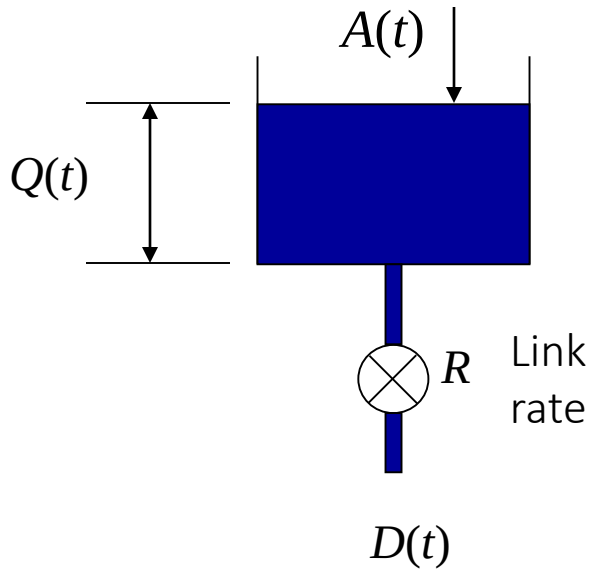


$$\text{End-to-end delay, } t = \sum_i \left(\frac{p}{r_i} + \frac{l_i}{c} + Q_i(t) \right)$$

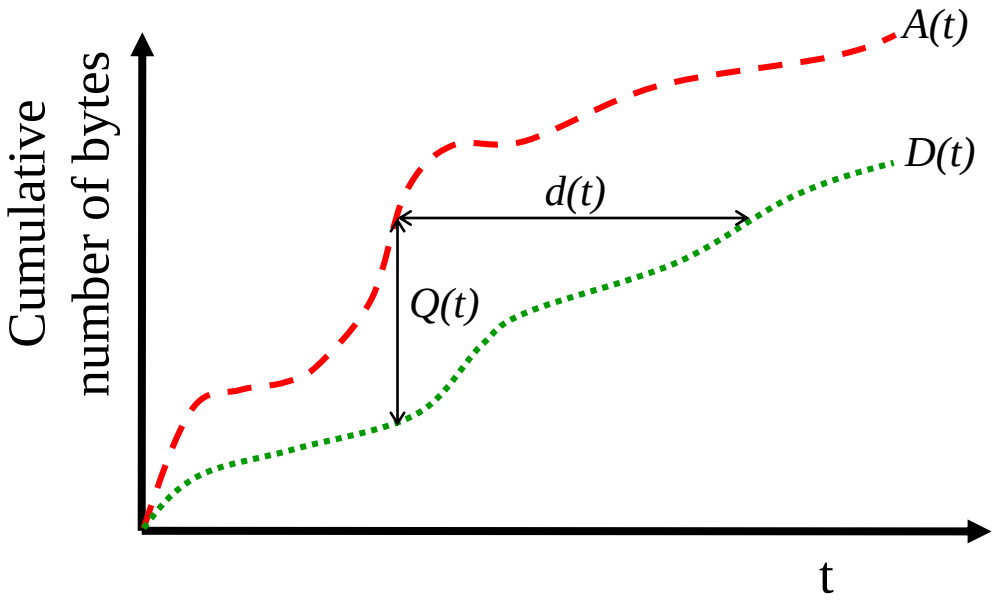
LA CAPA DE RED

Retardo por colas (Queuing Delay)

Numero acumulativo de bytes que llegan en t.



Numero de bytes que son enviados en t



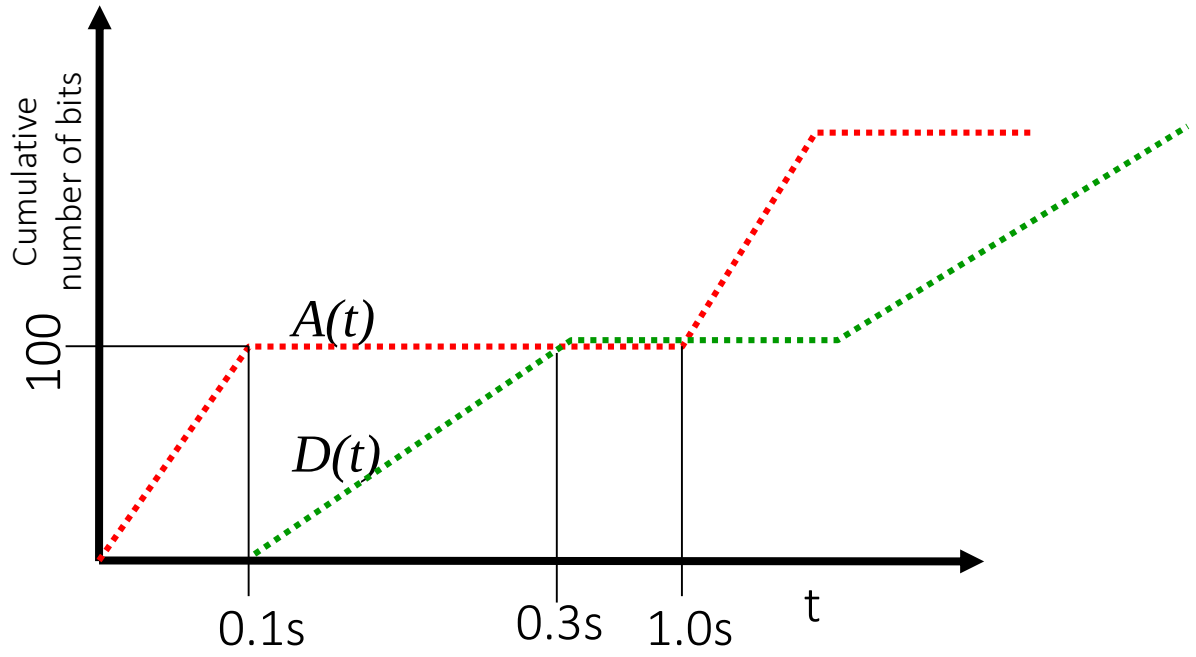
Ocupación de la cola: $Q(t) = A(t) - D(t)$.

Retardo de cola: $d(t)$, es el tiempo que un byte espera en la cola. Se asume que es tipo FIFO.

LA CAPA DE RED

Queuing Delay, ejemplo:

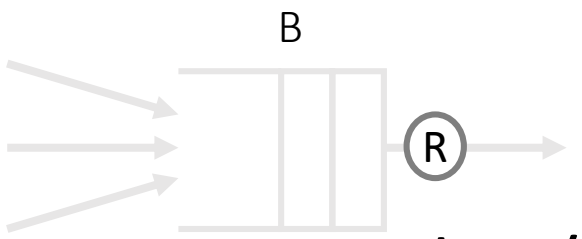
Cada segundo un paquete de 100 bits llega a una cola, a 1000b/s. La máxima velocidad de salida es de 500b/s. Cual es el promedio de ocupación de la cola?



Solución: En cada ciclo de 1 seg. La cola se llena a 1000 b/s lo que toma 0,1 s. Luego se vacía a 500 b/s, es decir en 0,2 s. Es decir mientras se llena, los primeros 0,1 seg, el promedio de ocupación de la cola es 1000/100= 10 bit. Mientras se vacía, los siguientes 0,2s , es 500/100= 5 bit. La cola no se ocupa por 0,7s. Por ello su ocupación promedio es: $\overline{Q}(t) = (10 \times 0{,}1) + (5 \times 0{,}2) + (0x0{,}7) = 2bits/seg$

LA CAPA DE RED

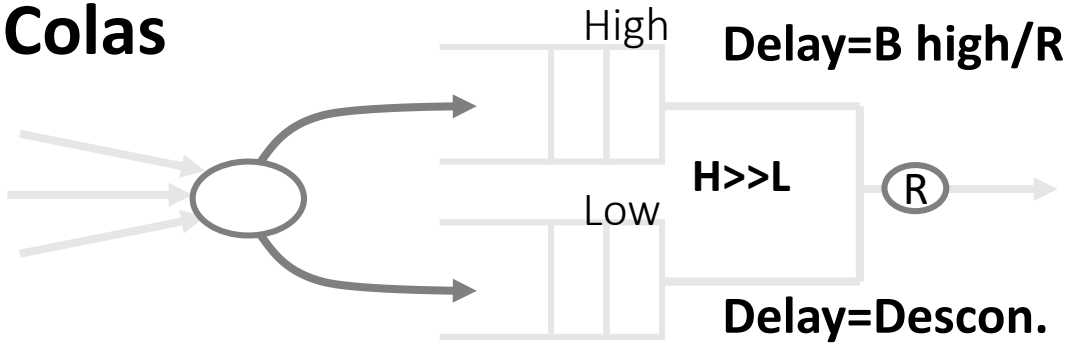
Tipos de Colas



Delay=B/R

FIFO o Cola libre

No hay prioridad y no hay rata de transferencia garantizada.



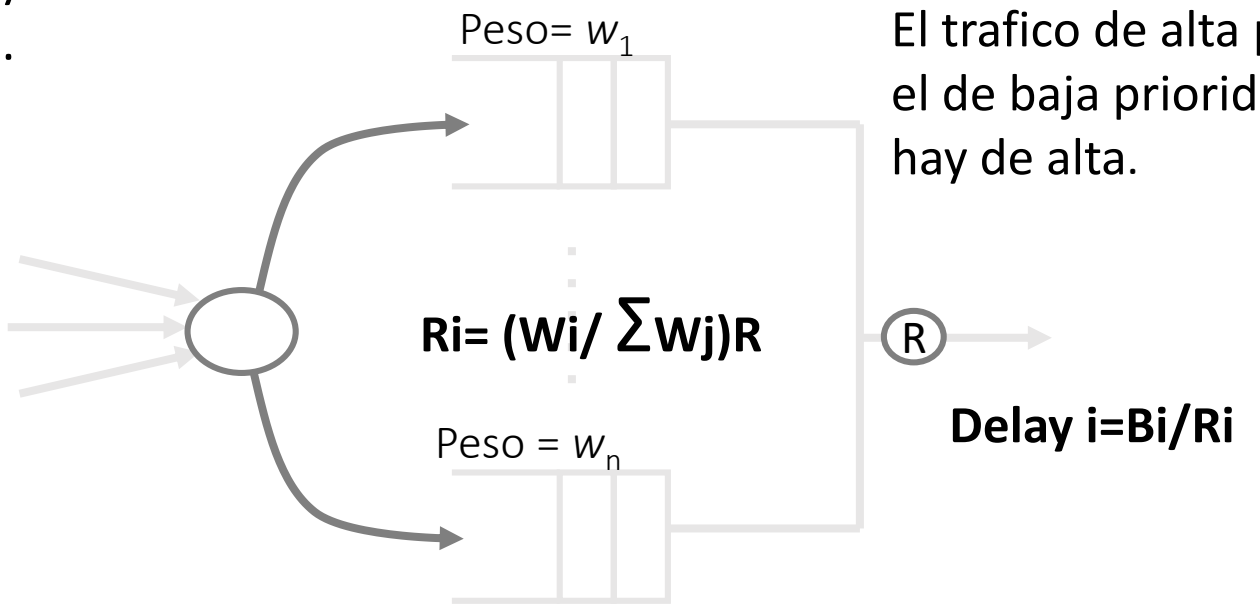
Delay=B high/R

H>>L

Delay=Descon.

Prioridades Estrictas

El trafico de alta prioridad ocupa toda la red, el de baja prioridad solo circula cuando no hay de alta.



Ri= (Wi/ ∑Wj)R

Delay i=Bi/Ri

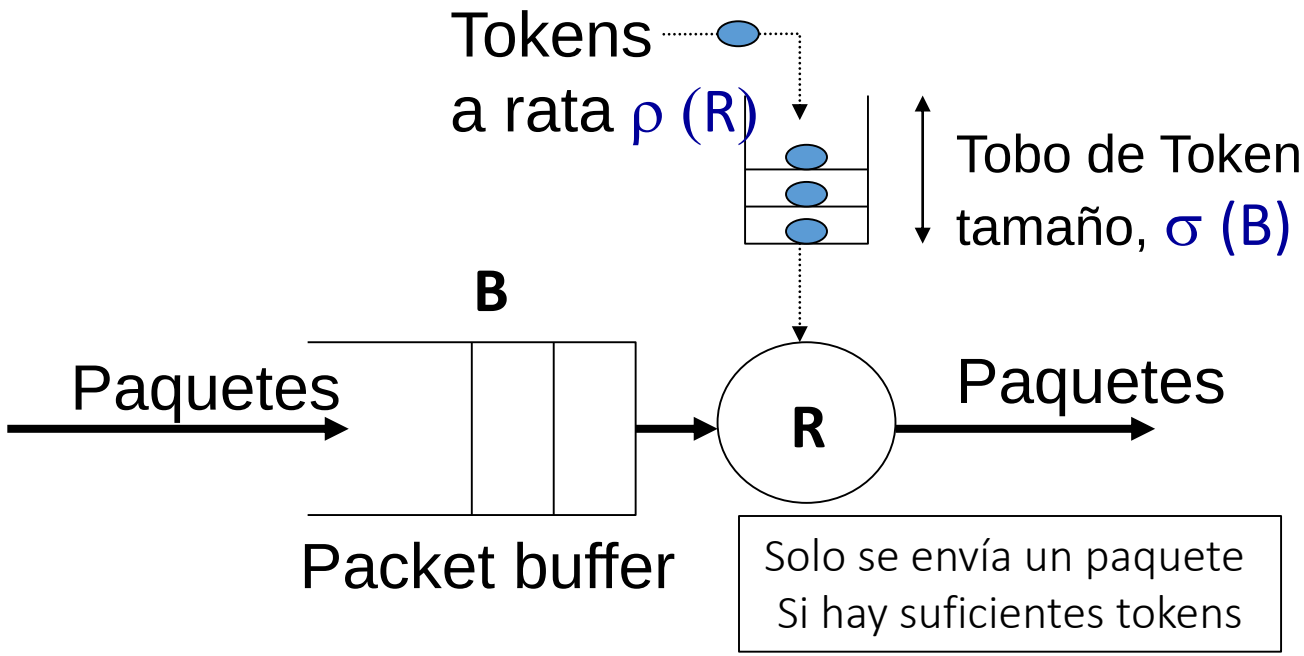
Prioridades por Peso o Rata Garantizada (Fair Queueing - WFQ)

A cada cola se le asigna una garantía de servicio (prioridad), el envió es bit por bit lo que permite determinar una rata de transferencia garantizada.

LA CAPA DE RED

Garantía de Retardo

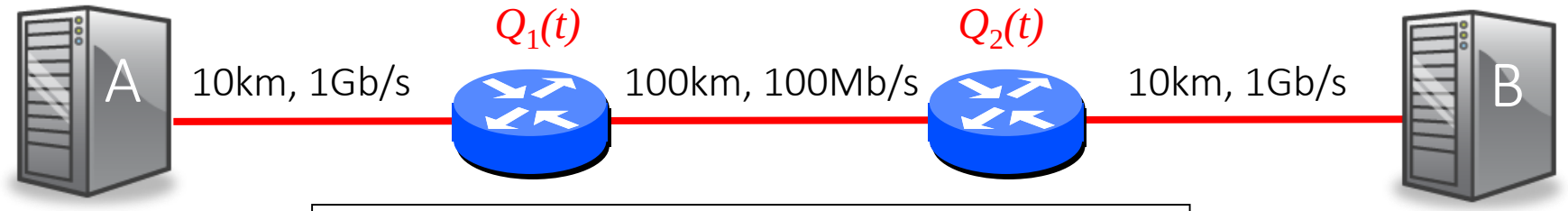
Objetivo: Garantizar un tiempo máximo de retardo en todo el canal sin perdida de paquetes. Se utiliza **"Leaky Bucket"** (Tobo agujereado), solo se envían paquetes si hay garantía de ser aceptados en la cola de los routers. (En matemáticas se le llama Regulación (ρ, σ)).



LA CAPA DE RED

Garantía de Retardo (Ejemplo)

En la red mostrada una aplicación requiere una velocidad de transmisión de 10 Mb/s y un retardo extremo-extremo (end to end) menos a 5 ms, para paquetes de 1000 bytes. Calcule tamaño de los Buffers y tasa de transmisión por cada Router



$$\text{End-to-end delay, } t = \sum_i \left(\frac{p}{r_i} + \frac{l_i}{c} + Q_i(t) \right)$$

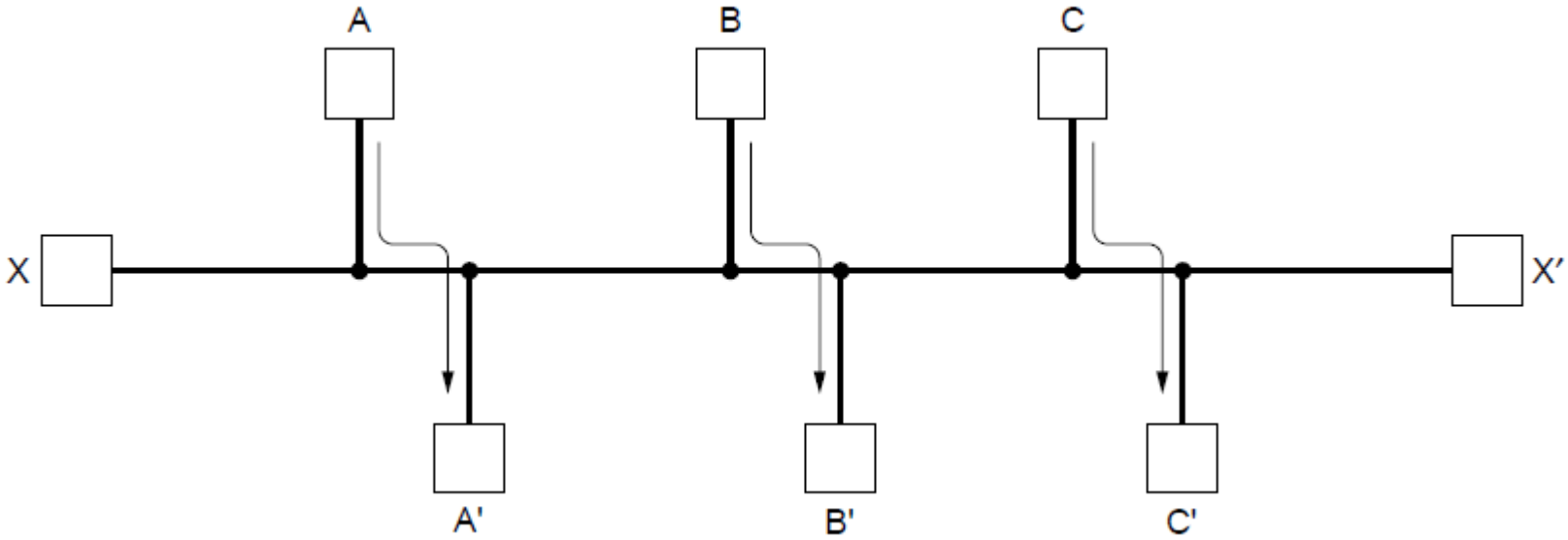
- Retardo Fijo: Pac delay + Prop delay = (1000*8 / 10^9 + 1000*8 / 10^8 + 1000*8 / 10^9) + (120 * 10^3 / 2x10^8) = 0,696ms
- Es decir el retardo máximo en los Routers debe ser < 5-0,696 = 4,304ms.
- Si lo dividimos entre ambos routers: 2.152ms c/u. entonces B > (10Mb/s * 2.152ms) = 21.520 bits = 2.690 bytes (tamaño del buffer y velocidad del tobo).
- Rata de envió seria R = 10Mb/s.

LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento

El enrutamiento es el proceso de descubrir los caminos de las redes

- Modelar la red como un grafico de nodos y enlaces
- Decidir que optimizar (ejemplo, igualdad vs eficiencia)
- Actualizar rutas por cambios en la topología (ejemplo, fallas)



LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento

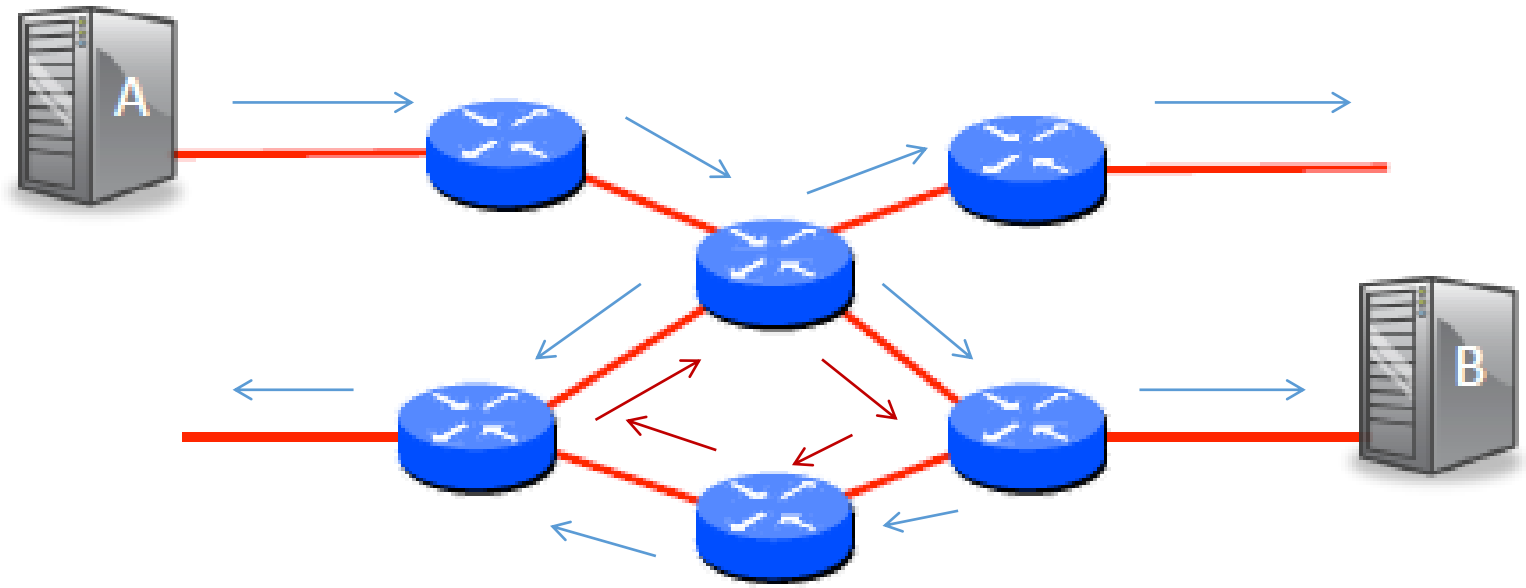
- Algoritmo de camino mas corto
- Algoritmo de Inundación
- Enrutamiento por vector de distancia
- Enrutamiento por estado de enlace
- Enrutamiento jerárquico
- Enrutamiento por difusión
- Enrutamiento por multidifusión
- Enrutamiento por anycast
- Enrutamiento para equipos móviles
- Enrutamiento en redes ad hoc

Objetivo: hallar el **“mejor camino”;** a través de la red . La unión de los mejores caminos a un enrutador es un árbol llamado árbol sumidero (sink tree).

LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento: **Inundación (Flooding)**

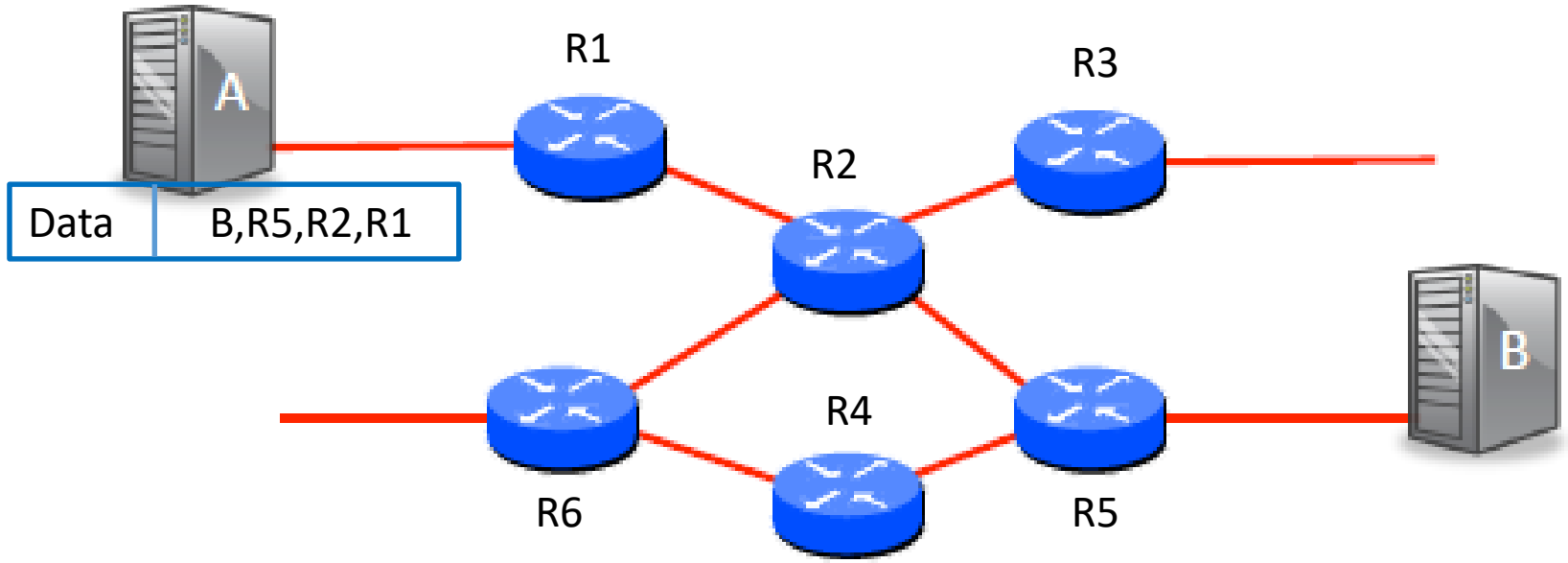
- Ineficiente uso de rutas.
- Pueden haber “loops” infinitos. Se debe usar tiempo de vida (Count).
- Se usa cuando la topología es desconocida o no creíble.



LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento: **Source Routing**

- Toda la información para conmutar los paquetes es proporcionada por el origen y llevada en los paquetes.
- El originador puede suministrar la ruta en forma parcial o total (“path addressing”).
- La cantidad de direcciones que se lleva es variable.
- Se usa cuando el origen quiere controlar la ruta.



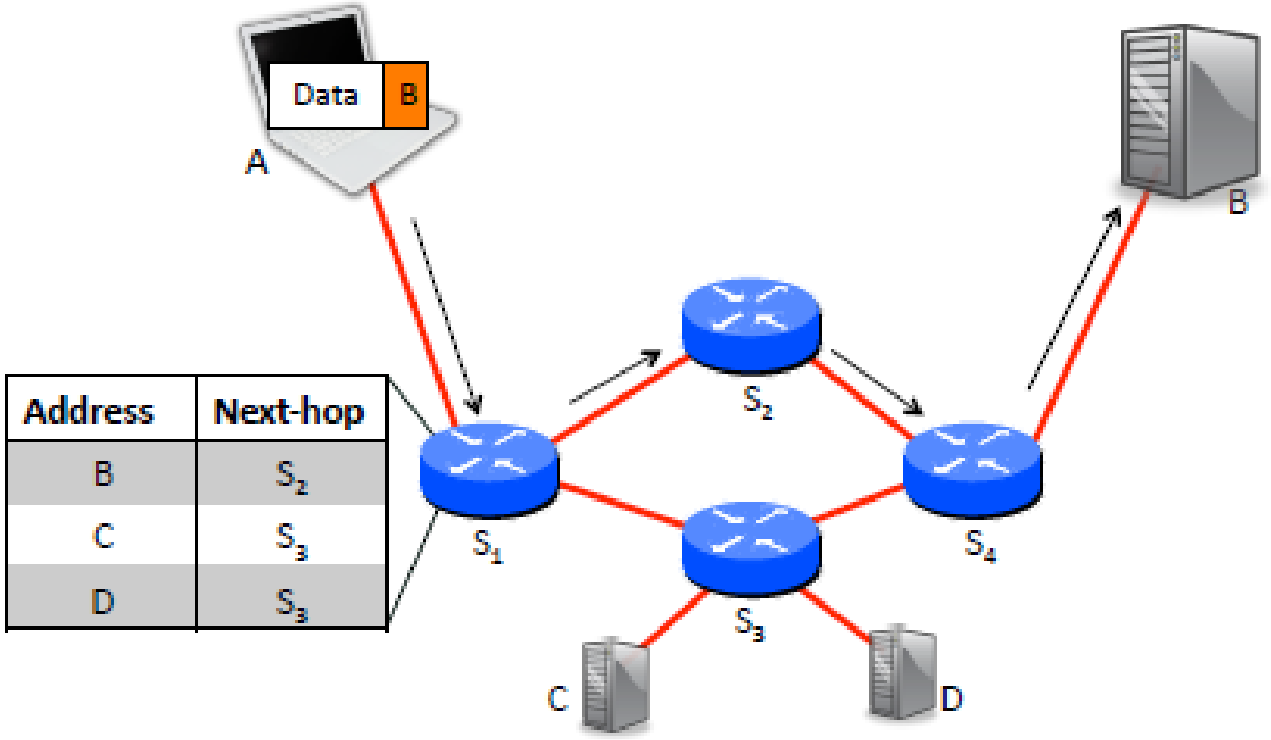
LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento: **Forwarding Tables**

-Esquema mejorado, la red maneja la ruta del paquete.

- Se requiere que las tablas sean llenadas con un “criterio”: Destino, Ocupación, Distancia, Costo, etc.

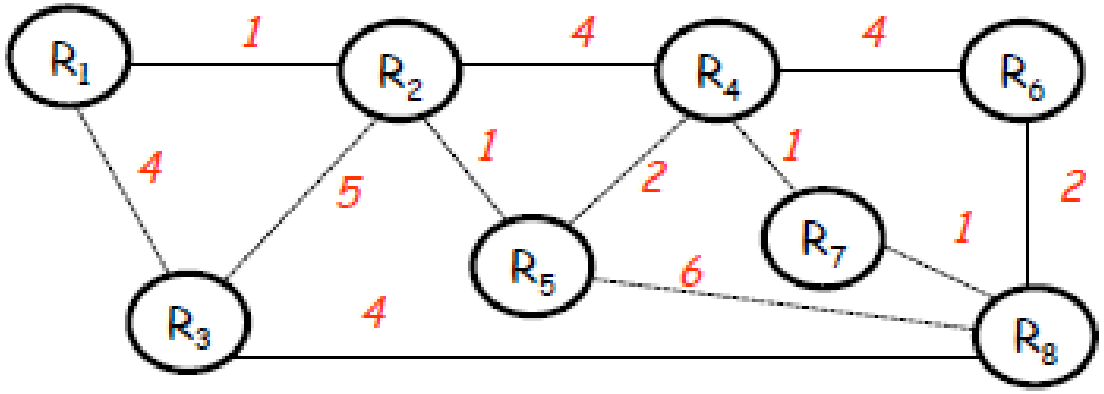
- Típicamente se usa en Internet



LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento: **Bellman-Ford**

- También llamado protocolo de vector de distancia, es el mas utilizado en las redes, aunque ya es reemplazado por nuevos esquemas
- Permite hallar la ruta de menor “costo” en una red.



R_1	∞
R_2	∞
R_3	∞
R_4	∞
R_5	∞
R_6	∞
R_7	∞

R_1	∞
R_2	∞
R_3	4
R_4	∞
R_5	6
R_6	2
R_7	1

R_1	8, R_3
R_2	7, R_5
R_3	4
R_4	2, R_7
R_5	6
R_6	2
R_7	1

R_1	8, R_3
R_2	6, R_4
R_3	4
R_4	2, R_7
R_5	4, R_4
R_6	2
R_7	1

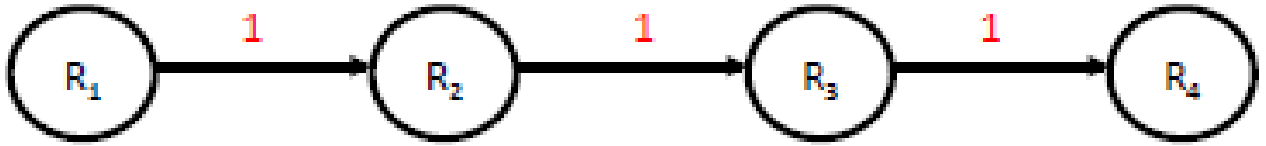
R_1	7, R_2
R_2	5, R_5
R_3	4
R_4	2, R_7
R_5	4, R_4
R_6	2
R_7	1

R_1	6, R_4
R_2	5, R_5
R_3	4
R_4	2, R_7
R_5	4, R_4
R_6	2
R_7	1

LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento: **Bellman-Ford**

- Que sucede si un enlace falla?
- “Malas noticias viajan Lento”



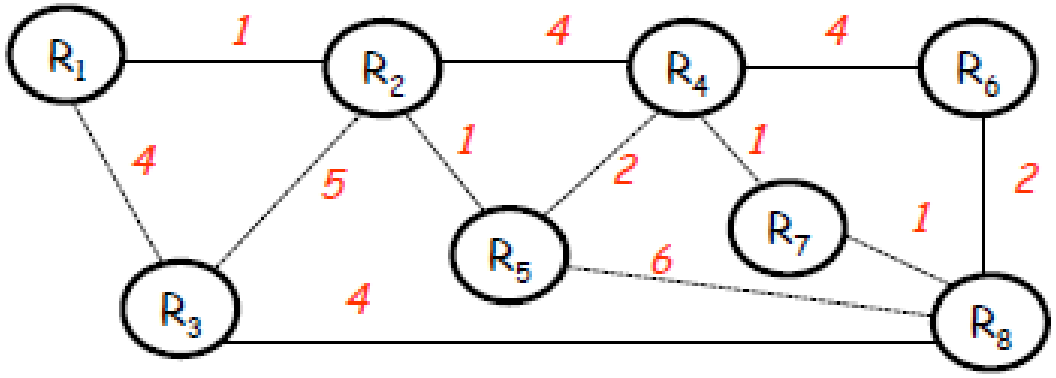
Time	R_1	R_2	R_3
0	$3,R_2$	$2,R_3$	$1, R_4$
1	$3,R_2$	$2,R_3$	$3,R_2$
2	$3,R_2$	$4,R_3$	$3,R_2$
3	$5,R_2$	$4,R_3$	$5,R_2$
…	“Counting to infinity”		…

Link R_3 → R_4 fails

LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento: **Dijkstra**

- También llamado protocolo de intercambio de estados de enlaces (Link State). Reemplaza a Bellman-Ford.
- Cada Router lo ejecuta de forma independiente, inicia con **Inundación** para identificar los routers y las rutas activas.
- Si algo falla se ejecuta desde el inicio, siempre en cada router de la red en forma independiente.



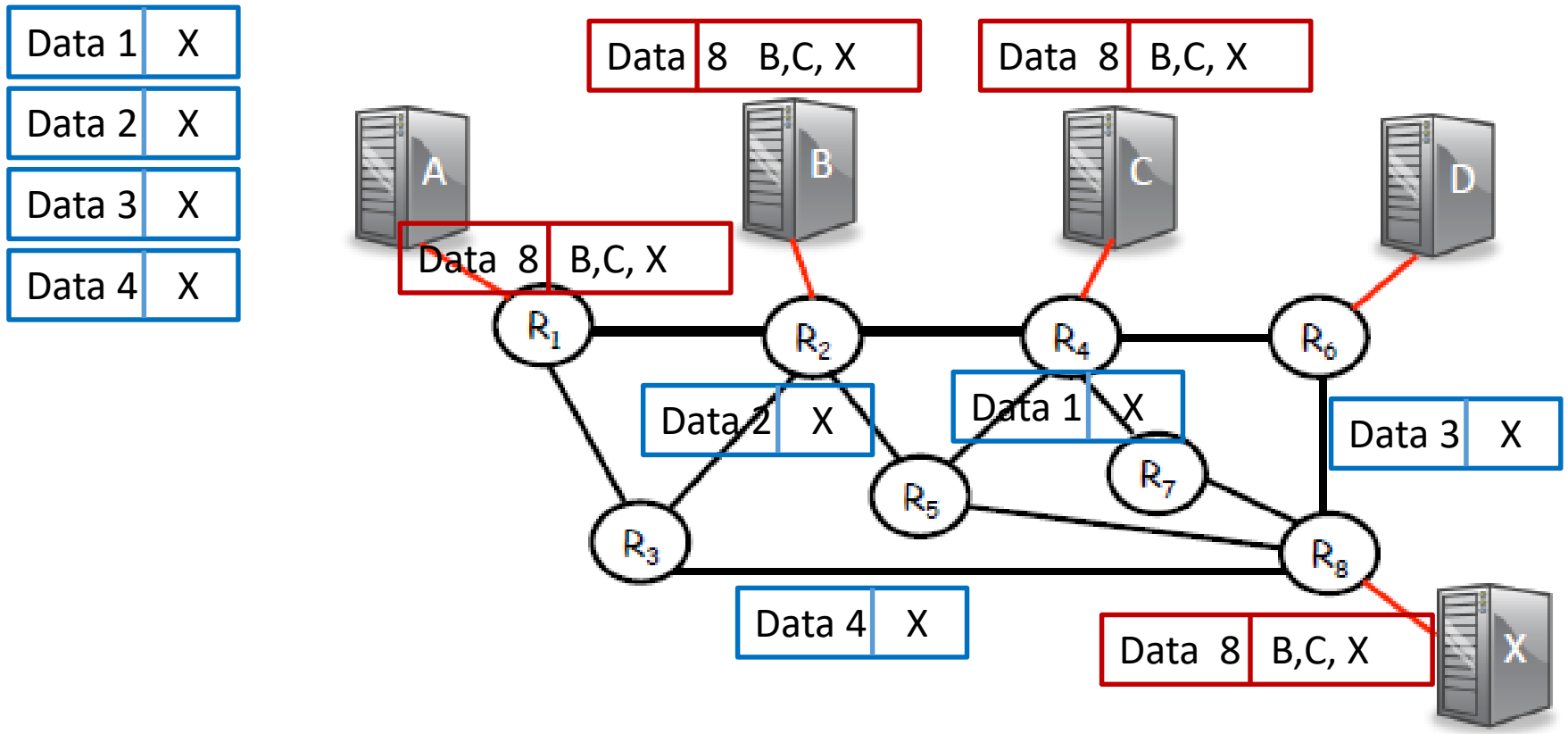
	0	1	2	3	4	5	6	7
Shortest Path Set	R_8	R_8R_7	R_8R_7 R_6	R_8R_7 R_6R_4	$R_8R_7R_6$ R_4R_3	$R_8R_7R_6$ $R_4R_3R_2$	$R_8R_7R_6$ $R_4R_3R_2R_1$	$R_8R_7R_6R_4R_3R_2$ R_1R_5
Candidate Set	R_3R_5 R_6R_7	R_3R_5 R_6R_4	R_3R_5 R_4	R_3R_5 R_2	R_5R_2 R_1	R_5R_1	R_5	Empty
Add	R_7	R_6	R_4	R_3	R_2	R_1	R_5	Done

LA CAPA DE RED

Algoritmos de Enrutamiento: **Multipaht y Multicast**

Multipaht: Los paquetes se envían por diferentes rutas. El destino los ordena

Multicast: Un paquete es dirigido a varios destinos, la red lo replica.



LA CAPA DE RED

Controles de Flujo y Congestión

¿Hace falta algo más que el nivel de red?

Se tiene un nivel de red que usa la técnica del mejor esfuerzo, para enviar datagramas, pero:

- Se pierden Datagramas
- Los Datagramas llegan fuera de orden

¿Por que ocurre?

- El medio es poco fiable.
- Presencia de interferencias internas o externas
- El trafico de paquetes sobrepasa las capacidades de la red.

A. Un equipo esta mandando más paquetes de lo que otro puede recibir

B. Cada equipo esta generando una cantidad de paquetes razonable, pero el trafico conjunto sobrepasa las capacidades de la red .

LA CAPA DE RED

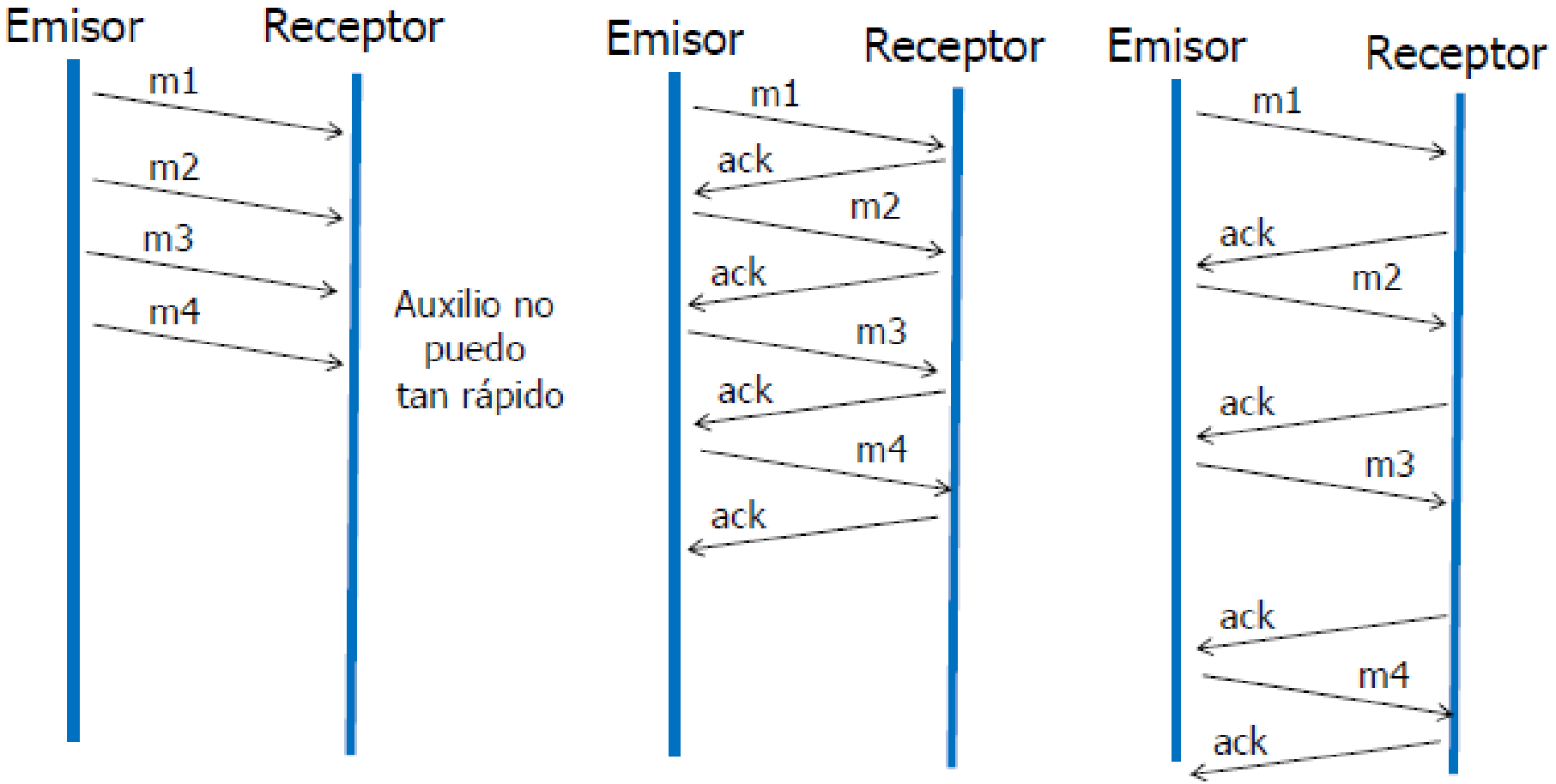
Controles de Flujo: Evitar que un emisor rápido sobrepase la capacidad de un receptor

¿Qué hacer?

1) No hacer nada: si un paquete desborda la memoria será descartado y el emisor, al no obtener confirmación, los retransmitirá
2) Uso de Reconocimiento (Ack) sencillo o múltiple.
3)Usar un protocolo de ventana deslizante fija.
    —Funciona en red fiable
4) Usar un esquema de créditos.

LA CAPA DE RED

Controles de Flujo: Uso del Reconocimiento (Ack) después de cada paquete.

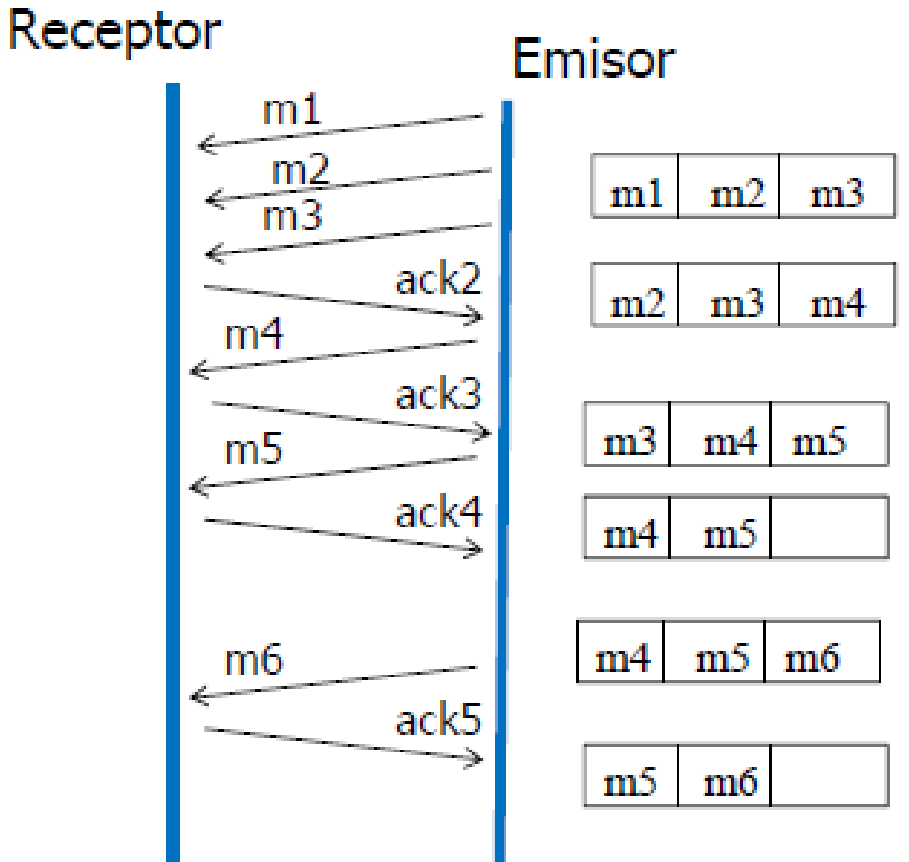


LA CAPA DE RED

Controles de Flujo: Ventanas deslizantes (Sliding Windows)

- Permitir el envío de múltiples paquetes sin que sean confirmadas todas (un-ACKed)
- Use de “Selective Reject” para evitar repetir todo

Ventana de tamaño 3, es decir que hay un buffer en el emisor para guardar hasta 3 mensajes enviados y se espera que sean confirmados por el receptor



LA CAPA DE RED

Controles de Flujo: Créditos

El esquema de créditos es un mecanismo similar al de ventanas deslizantes

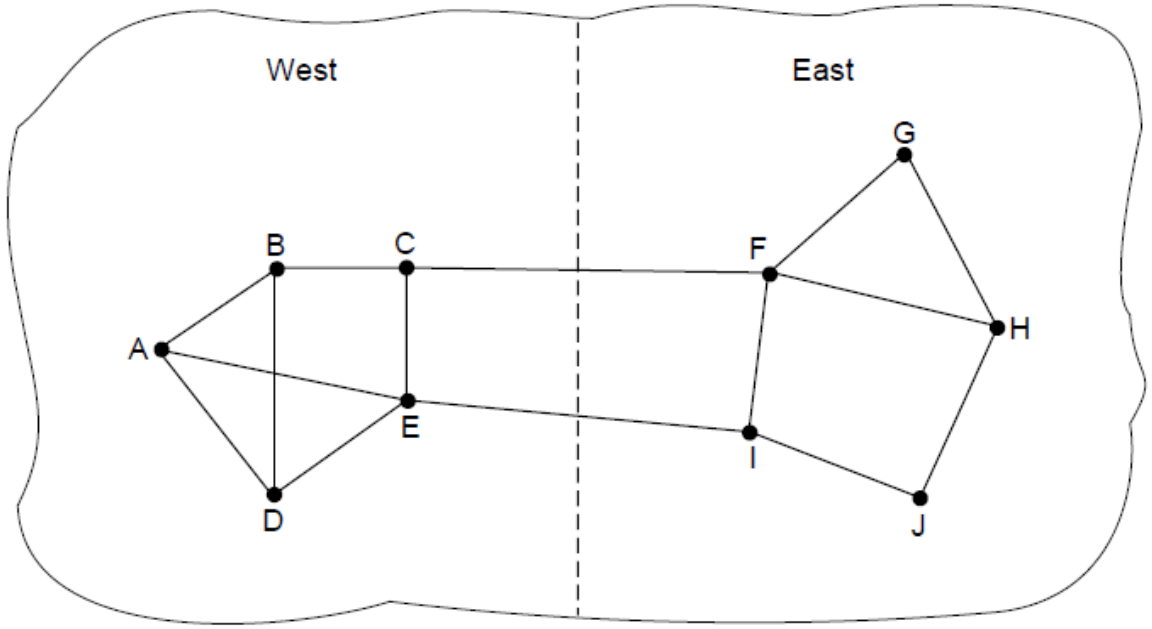
- Es más efectivo en redes no fiables.
- Desliga las confirmaciones del control de flujo:
  - Se puede confirmar sin la concesión de nuevo crédito y viceversa.
- Cada byte tiene un número de secuencia.
- Cada segmento de transporte tiene un número de secuencia, un número de confirmación y una ventana en su cabecera.

LA CAPA DE RED

Control de Congestión: Enrutamiento Consciente

Elije las rutas dependiendo del trafico, no únicamente de acuerdo a la topología

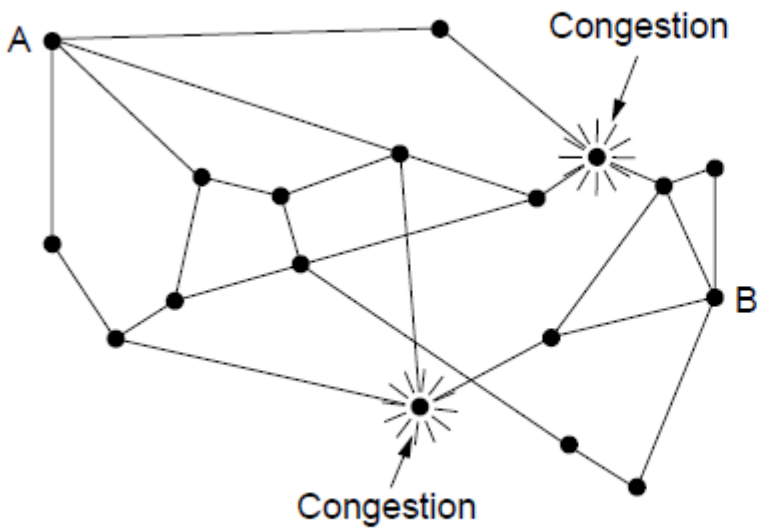
- Ejemplo: usa ***EI*** para trafico de este a oeste si **CF** esta sobrecargado
- Pero hay que evitar las oscilaciones



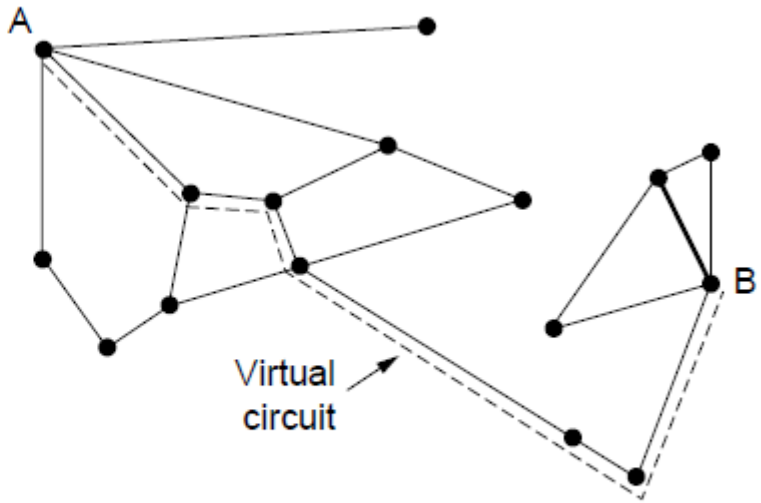
LA CAPA DE RED

Control de Congestión: Control de Admisión

- Permite nuevo trafico solamente si la red tiene suficiente capacidad. Por ejemplo, los circuitos virtuales
- Puede combinarse con la búsqueda de rutas no congestionadas



(a)

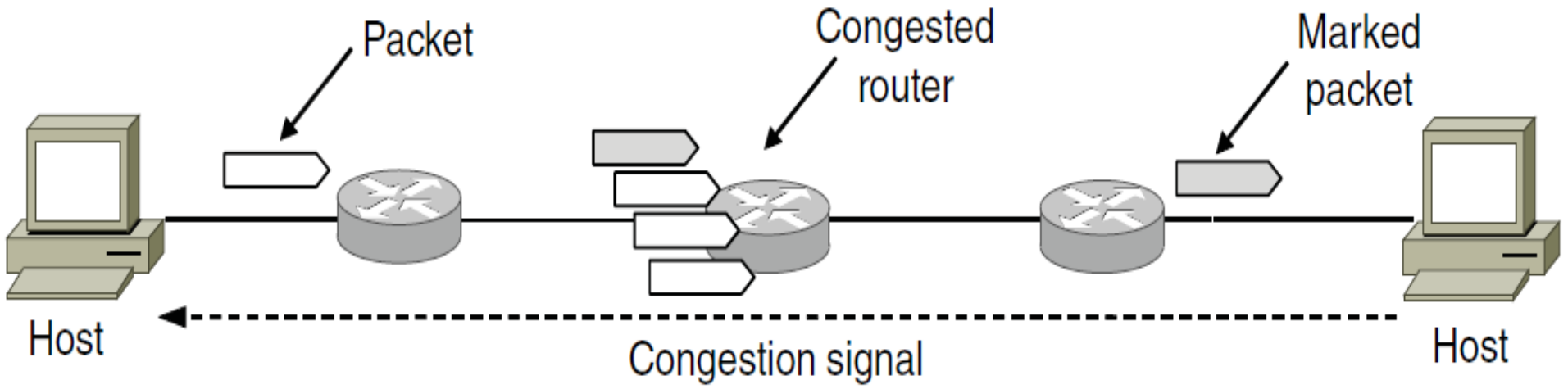


(b)

LA CAPA DE RED

Control de Congestión: Regulación de Trafico

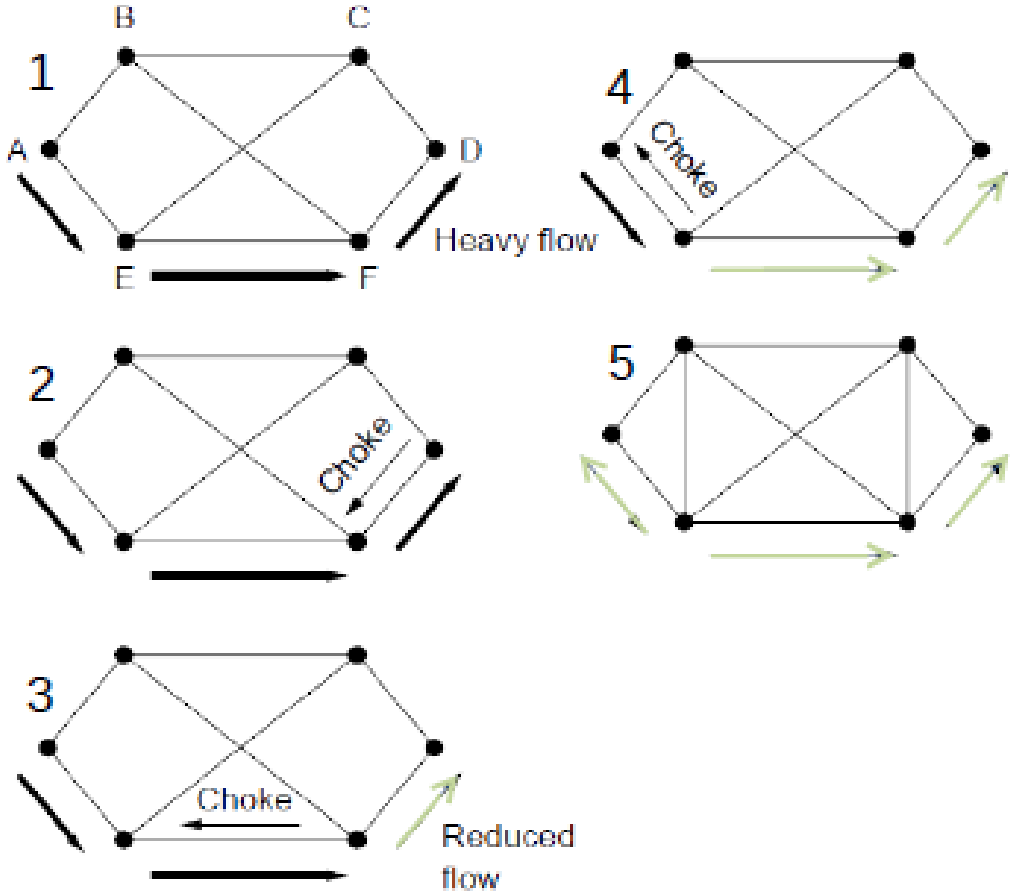
- Los enrutadores congestionados envían señales a equipos para disminuir el trafico.
- Un paquete ECN (Explicit Congestion Notification) señala los paquetes y el receptor devuelve la señal al emisor



LA CAPA DE RED

Control de Congestión: Desprendimiento de Carga

- Cuando todo falla, la red se deshace de paquetes (shed load)
- Puede ser punto a punto o enlace a enlace
- Enlace a enlace (derecha) produce un alivio rápido
- Punto a punto toma mas tiempo en surtir efecto, pero facilita hallar la causa de la congestión



LA CAPA DE RED

Calidad de Servicio

- Las aplicaciones tienen diferentes características y son sensibles de diferentes maneras.
- Queremos proveer el servicio necesario a todas ellas

Aplicación	Ancho de banda	Retardo	Variación del retardo	Pérdida
Correo electrónico.	Bajo	Bajo	Baja	Media
Compartir archivos.	Alto	Bajo	Baja	Media
Acceso a Web.	Medio	Medio	Baja	Media
Inicio de sesión remoto.	Bajo	Medio	Media	Media
Audio bajo demanda.	Bajo	Bajo	Alta	Baja
Video bajo demanda.	Alto	Bajo	Alta	Baja
Telefonía.	Bajo	Alto	Alta	Baja
Videoconferencias.	Alto	Alto	Alta	Baja

LA CAPA DE RED

Calidad de Servicio

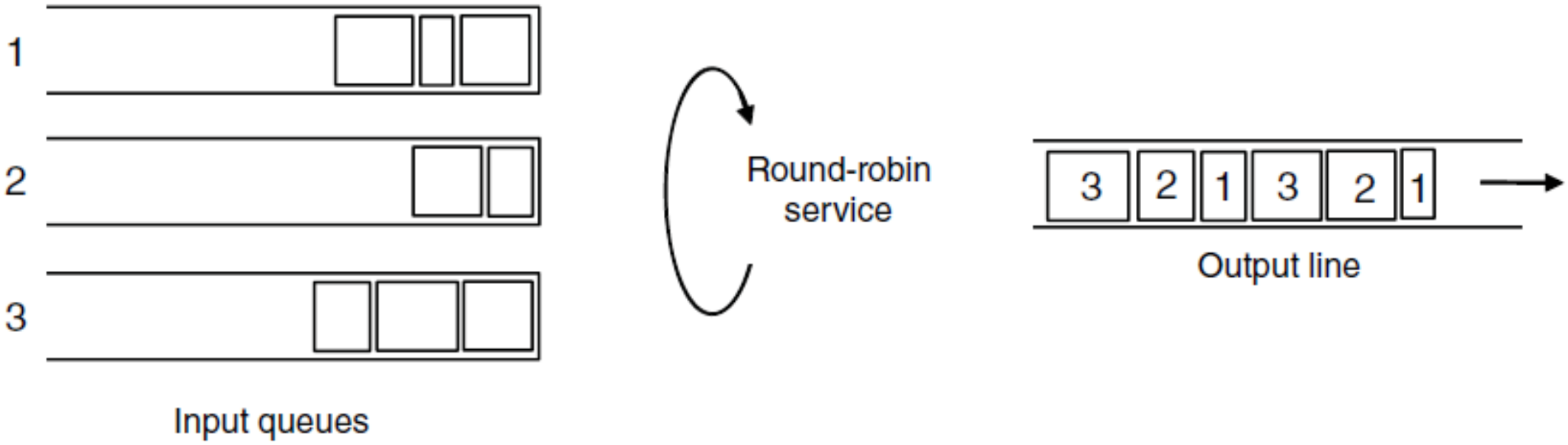
Las redes se han dotado de servicios que proveen distintos niveles de calidad (Qos o Quality of Service) para cada aplicación

Servicio de red	**Aplicación**
-Tasa de transferencia constante	-Telefonia
-Tasa de transferencia variable en tiempo real	-Videoconferencia
-Tasa de transferencia variable en tiempo no real	-Streaming
-Tasa de transferencia disponible	-Transferencia de archivos

LA CAPA DE RED

Calidad de Servicio: Programación (Schedulling)de paquetes

Divide los recursos del router o enlace a través de flujos de trafico con FIFO alternativos



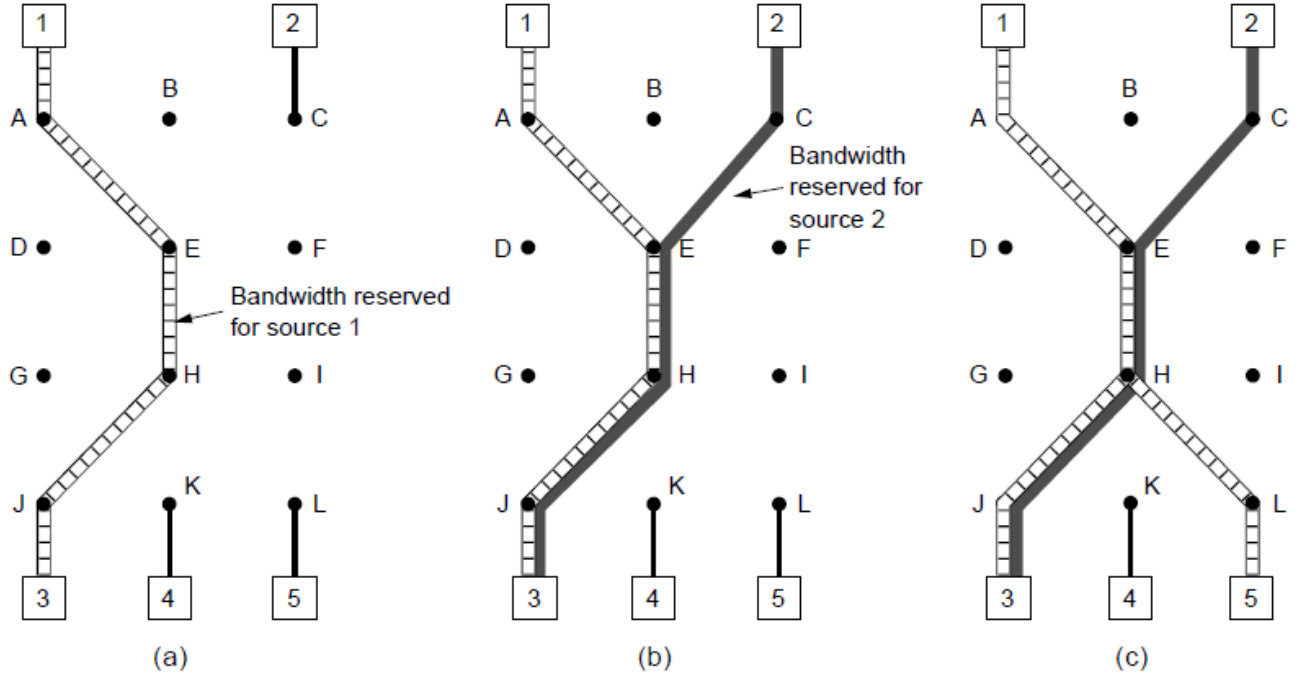
LA CAPA DE RED

Calidad de Servicio: Servicios Integrados

Se diseña con QoS para cada flujo; maneja trafico multicast.

Admisión con RSVP (Resource reSerVation Protocol):

- Receptor envía una petición al emisor
- Cada enrutador en el camino reserva los recursos
- Enrutadores juntan múltiples peticiones para el mismo flujo
- La ruta completa es configurada o la reserva no es hecha.

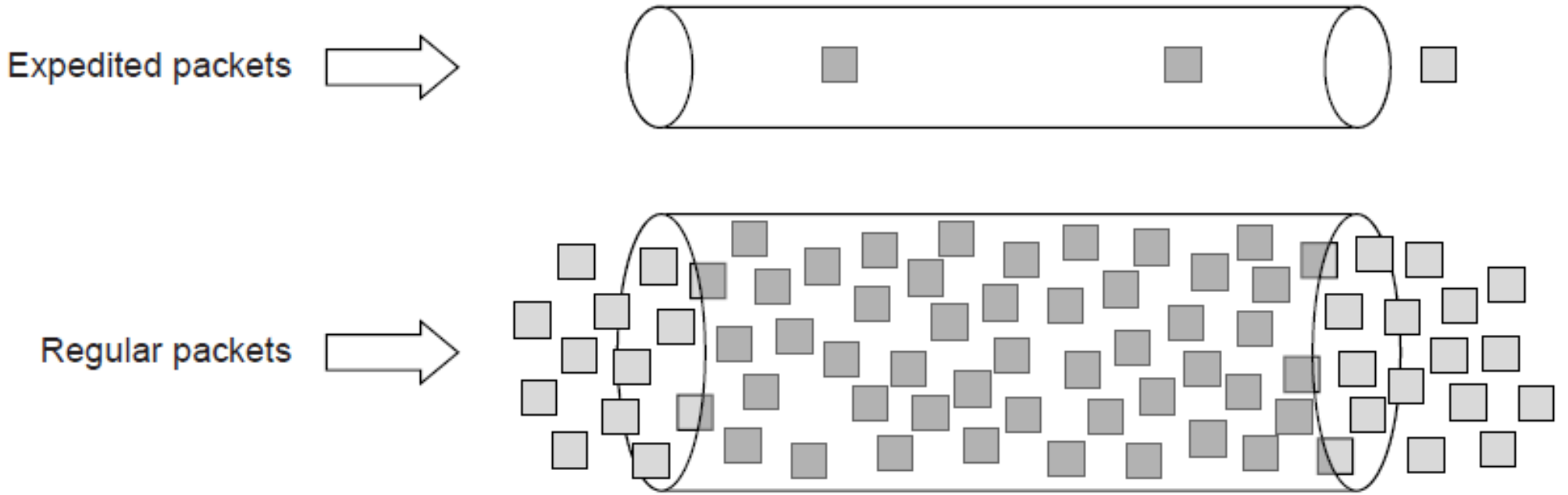


LA CAPA DE RED

Calidad de Servicio: Servicios Diferenciados

Se diseña con clases de QoS; los clientes compran lo que quieren

- Clase expedita es enviada de manera preferencial a la clase regular
- Menos trafico expedito pero mejor calidad para aplicaciones



LA CAPA DE RED

Interconexión de Redes

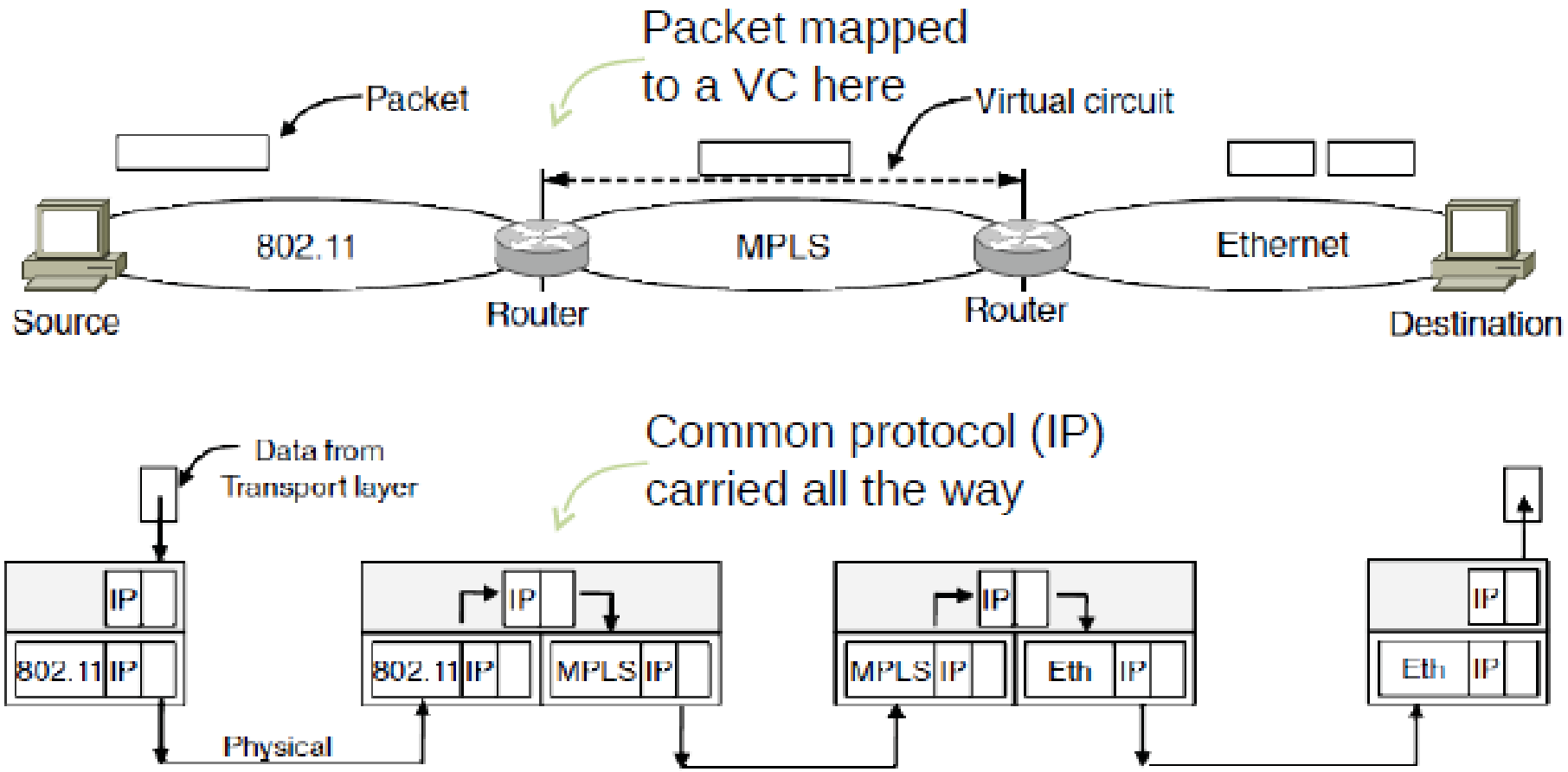
- Interconnexion de Redes multiples, diferentes, en una sola gran red
- Las diferencias pueden ser grandes; lo cual complica la interconexión

Item	Some Possibilities
Service offered	Connectionless versus connection oriented
Addressing	Different sizes, flat or hierarchical
Broadcasting	Present or absent (also multicast)
Packet size	Every network has its own maximum
Ordering	Ordered and unordered delivery
Quality of service	Present or absent; many different kinds
Reliability	Different levels of loss
Security	Privacy rules, encryption, etc.
Parameters	Different timeouts, flow specifications, etc.
Accounting	By connect time, packet, byte, or not at all

LA CAPA DE RED

Interconexión de Redes

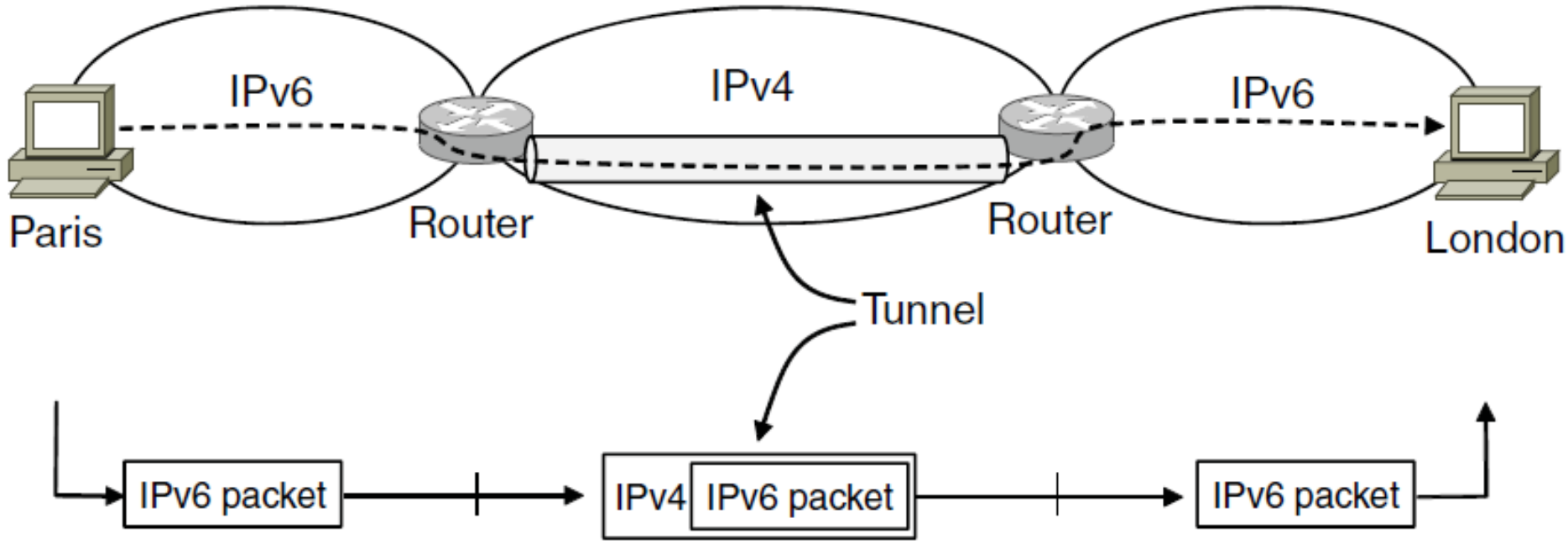
- La interconexión de redes basada en un componente común en la capa de red – IP. Por ello a la capa de Red se le llama la "cintura" de Internet (Waist)



LA CAPA DE RED

Interconexión de Redes: Túnel

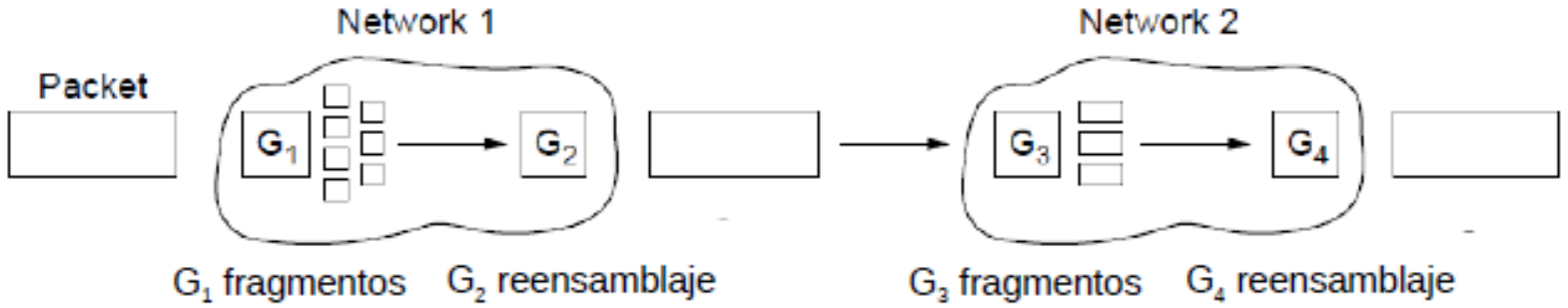
- Dos redes son conectadas a través de una tercera en el medio
- Los paquetes son encapsulados en la mitad
- El túnel es un enlace; el paquete solo puede salir o entrar al final



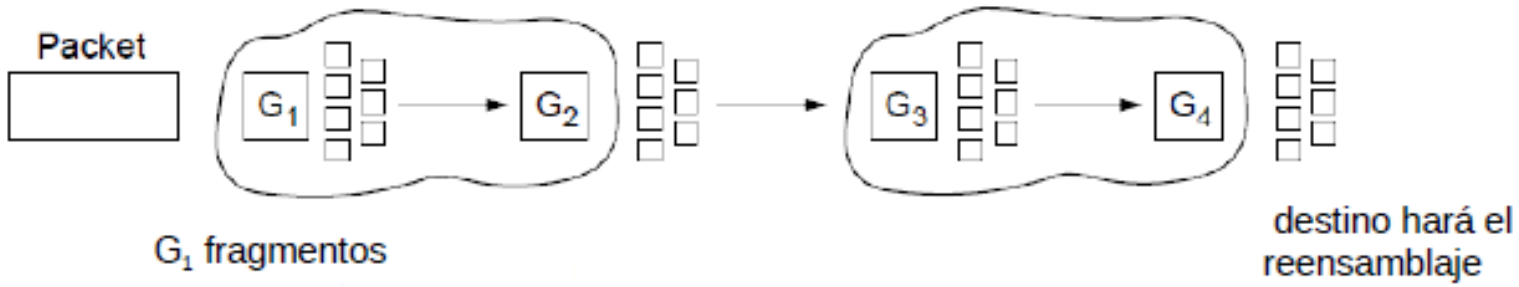
LA CAPA DE RED

Interconexión de Redes: Fragmentación de Paquetes

- Las redes pueden tener diferentes limites de tamaño de paquetes
- Paquetes grandes son enviados fragmentados y son reensamblados al llegar



Transparente – paquetes fragmentados / reemsamblados

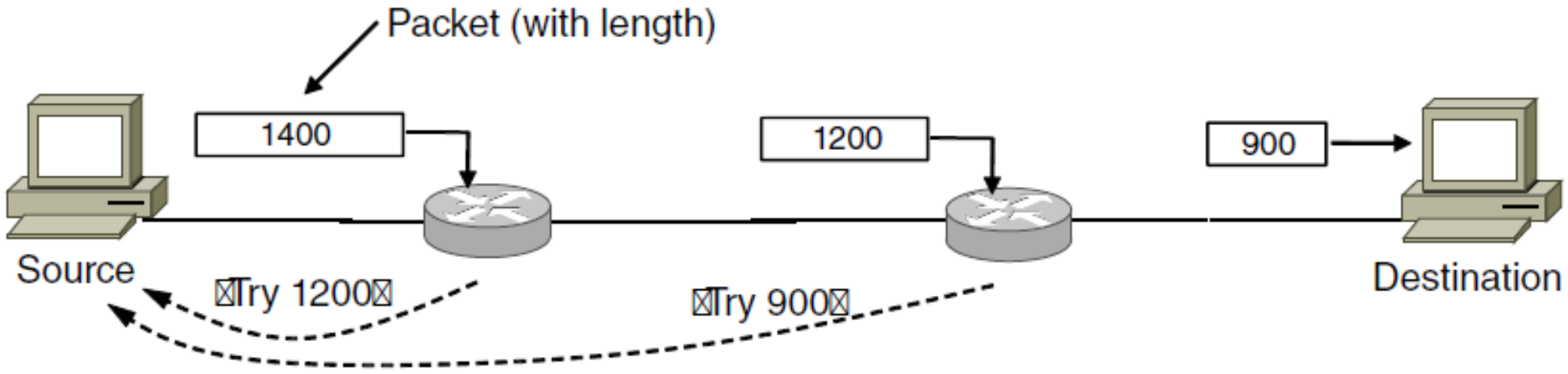


No transparente – fragmentos son reemsamblados en el destino

LA CAPA DE RED

Interconexión de Redes: Maximun Trasnmission Unit

- El descubrimiento del MTU de la ruta previene la fragmentación de red
- Los enrutadores devuelven el MTU a la fuente y descartan grandes paquetes hacia ese destino



USB