Módulo 04
La Capa de Red
(Pt. 1)

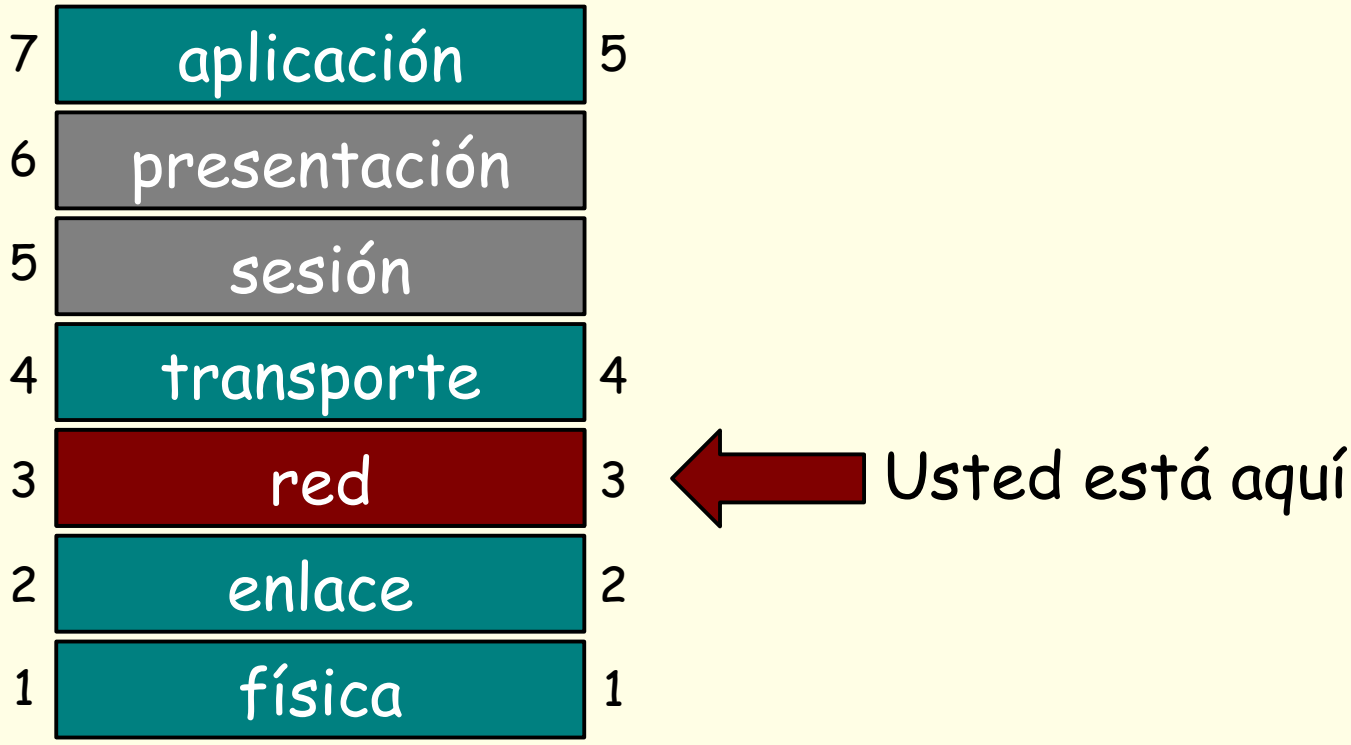
Redes de Computadoras
Depto. de Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur

Copyright

Contenidos

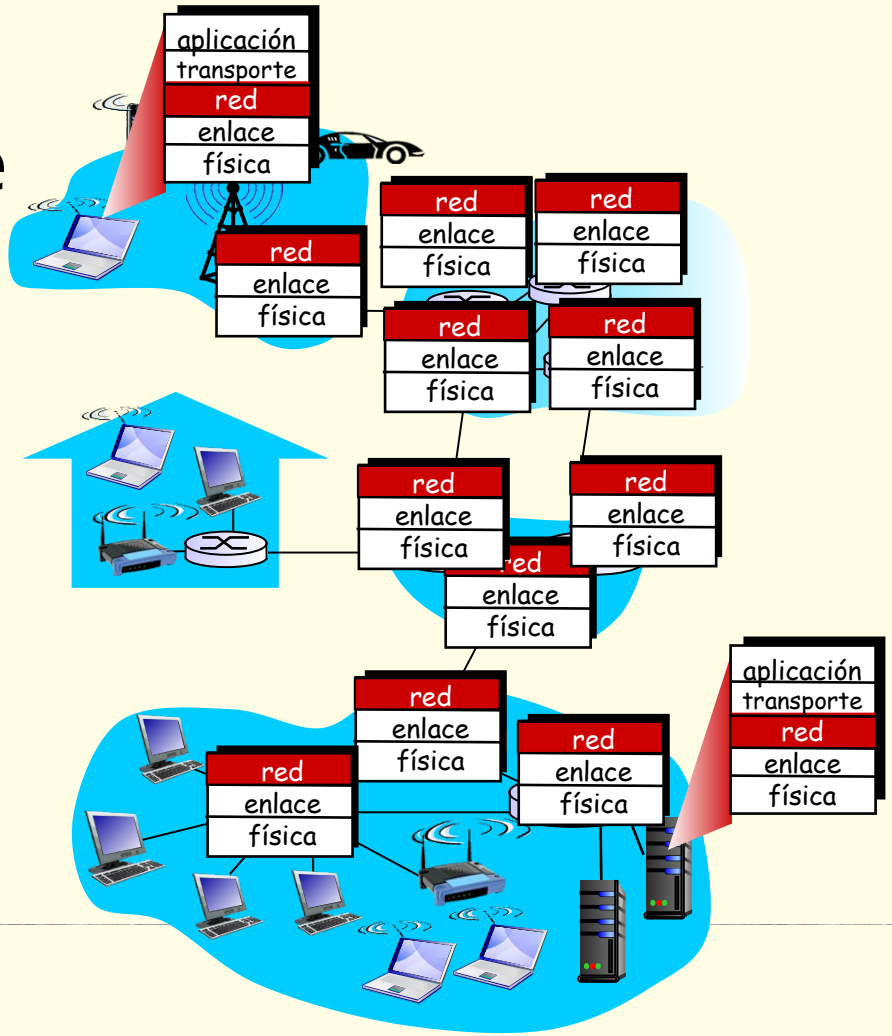
- Modelos de servicios de la capa de red
- Estructura interna de un router
- El protocolo **IP**
- **IPv4** vs. **IPv6**
- Protocolos de ruteo
- Ruteo jerárquico
- Ruteo en internet
- Multicast

ISO/OSI - TCP/IP



Funciones de la capa de red

- La capa de red encauza los paquetes entregados por la capa de transporte a través de las distintas computadoras de la red
- La capa de red está implementada en todos los nodos de la red:
  - Computadoras
  - Routers



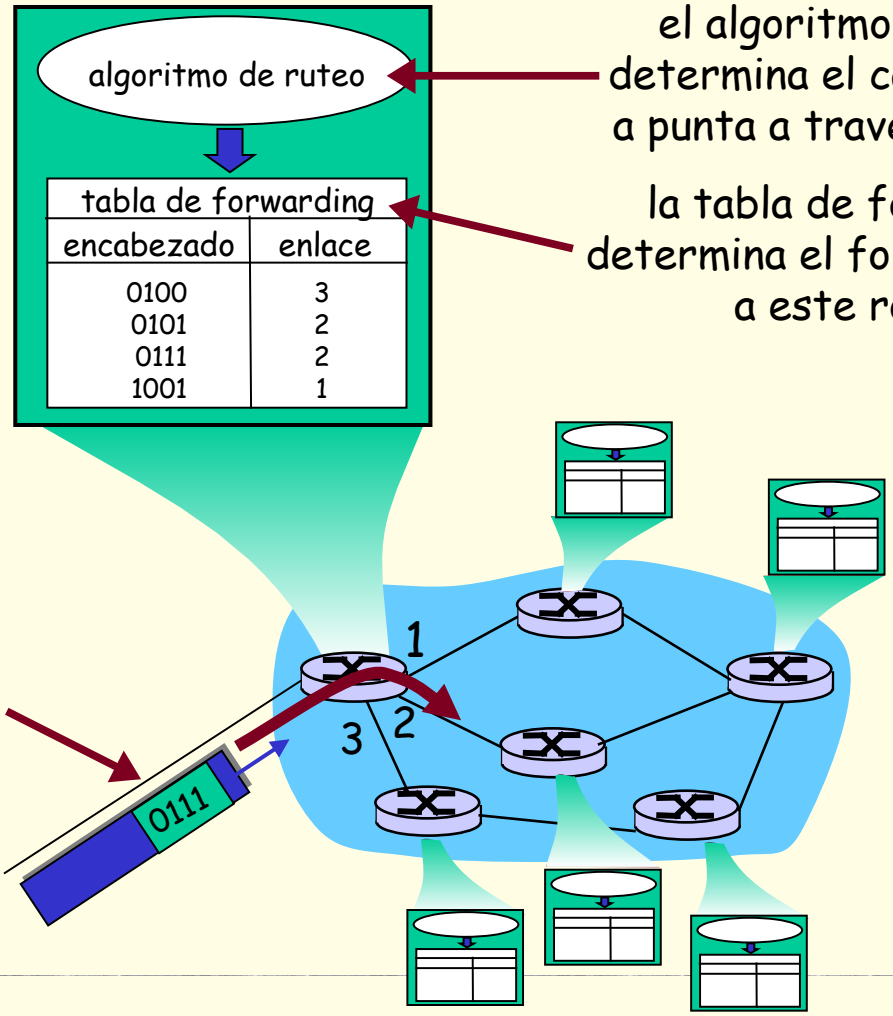
Funciones de la capa de red

- La capa de red debe cumplir dos funciones primordiales:
  - Debe determinar el camino que han de tomar los paquetes al ser conducidos desde el origen hasta el destino haciendo uso de los algoritmos de ruteo
  - Tiene que resolver correctamente el forwarding de los paquetes en cada router visitado, esto es, en cada router de la red se debe decidir por qué enlace ha de salir cada uno de los paquetes que van arribando

Otra "car analogy"

- Haciendo uso nuevamente de una analogía que involucre autos, supongamos que se quiere ir desde el campus de la **UNS** hasta el aeropuerto:
  - El ruteo se corresponde con elegir la ruta hasta el aeropuerto, por caso, salir por la Av. Cabrera hasta la rotonda del ChangoMás, de ahí tomar la Av. Newbery hasta la rotonda de Indiada y finalmente de ahí encarar hacia el aeropuerto
  - El forwarding se corresponde con la decisión en cada una de las rotondas que vamos atravesando acerca de por cuál de sus salidas seguir camino

Interacción ruteo-forwading



Establecimiento de conexiones

- En algunas configuraciones puede hacer falta una fase de inicialización previa a comenzar con el enrutado de los paquetes
- Tanto las dos computadoras en los extremos de la conexión como los routers entre las mismas participan estableciendo una conexión virtual
- No confundir con la conexiones que se gestionan a nivel de la capa de transporte
  - ¿Por qué razón? ¿Cuál sería la principal diferencia?

Modelo de servicio

- La forma de implementar estas tres funciones primordiales depende directamente del modelo de servicio adoptado por el canal de comunicación que encauce los paquetes
  - ¿Puede asegurar un ancho de banda mínimo?
  - ¿Preserva el temporizado entre los paquetes?
  - ¿Garantiza la entrega sin pérdidas?
  - ¿Asegura la recepción ordenada?
  - ¿Notifica al emisor de la congestión en la red?

Modelos de servicio

Arquitectura de red	Modelo de servicio	¿Garan. ancho de banda?	¿Asegura el envío?	¿Garantiza el orden?	¿Garantiza la latencia?	¿Informa de las congestiones?
Internet	"best-effort"	no	no	no	no	no (se infiere)
ATM	**CBR**	constante	si	si	si	no puede haber
ATM	**VBR**	garantizado	si	si	si	no puede haber
ATM	**ABR**	mín. garant.	no	si	no	si
ATM	**UBR**	no	no	si	no	no

¿Con o sin conexión?

- Las redes de datagramas ofrecen una capa de red no orientada a la conexión
- En contraste, las basadas en circuitos virtuales ofrecen una orientada a la conexión
- Se asemeja a la discusión **TCP** vs. **UDP**, pero con las siguientes salvedades:
  - El servicio es computadora a computadora
  - No es electivo, la red provee o bien uno o el otro
  - La implementación reside en el núcleo de la red

Circuitos virtuales

- Uno de los modelos de servicio posibles se basa en hacer uso de circuitos virtuales
- Hacer uso de **CV** implica que la capa de red brindará una conexión análoga a la que se obtiene al usar un circuito telefónico
  - Se debe inicializar la llamada antes de comenzar a transmitir información
  - Cada celda de datos consigna información del **CV** al que pertenece y no del destino deseado
  - Los routers mantienen información de los **CV**

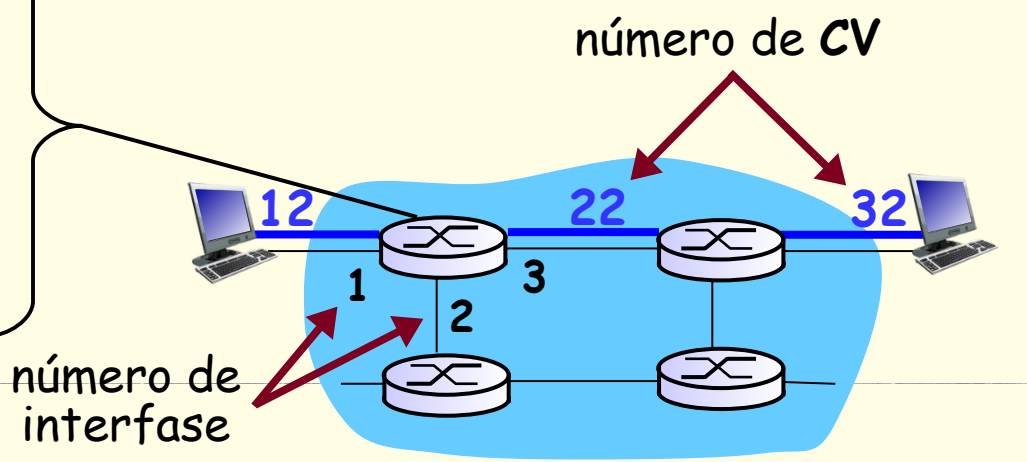
Implementación

- A nivel de implementación, un circuito virtual consiste de los siguientes elementos:
  - Un camino desde el origen hasta el destino
  - Un conjunto de números de circuito virtual, uno para cada enlace a lo largo del camino
  - Una entrada en la tabla de forwading de los routers a lo largo del camino
- Los paquetes que pertenecen a un dado circuito virtual se identifican a través de su número
  - El número de circuito puede cambiar en cada enlace

Implementación

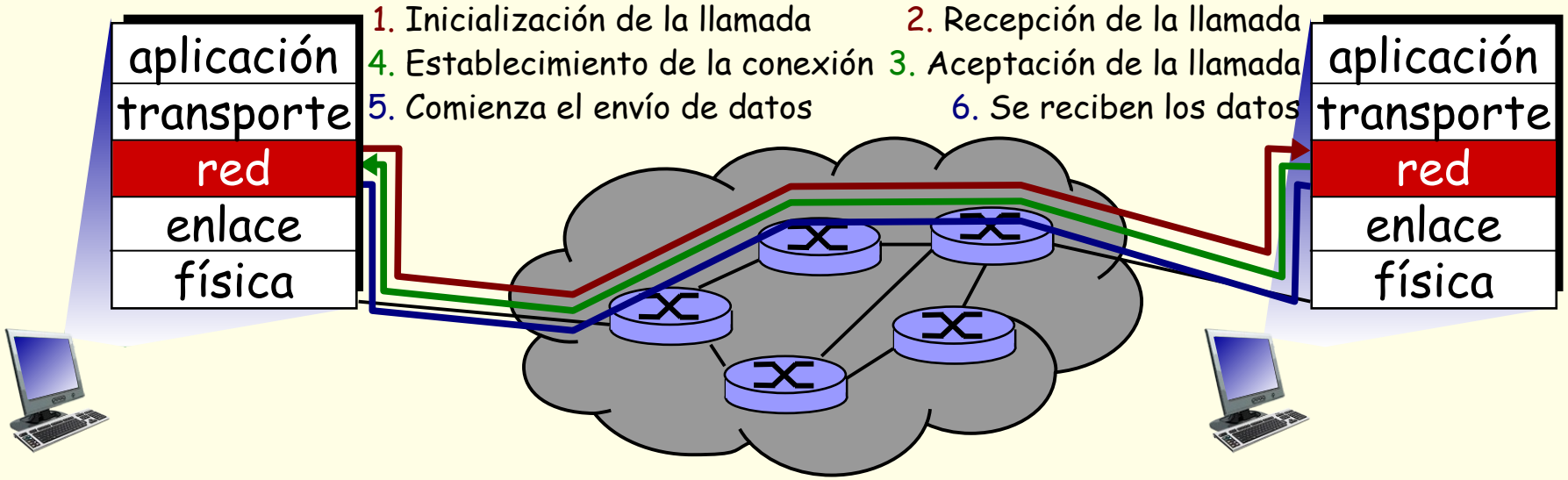
- El no utilizar el mismo número de circuito virtual de punta a punta hace que los routers tengan que almacenar más información
  - ¿Por qué razón se optó por no utilizar el mismo número de **CV** de punta a punta?

Ent.	CV	Sal.	CV
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87



Protocolo de señalización

- El protocolo de señalización es el encargado de establecer y liberar los **CV**
  - Por caso, es utilizado en **ATM**, Frame Relay, **X.25**

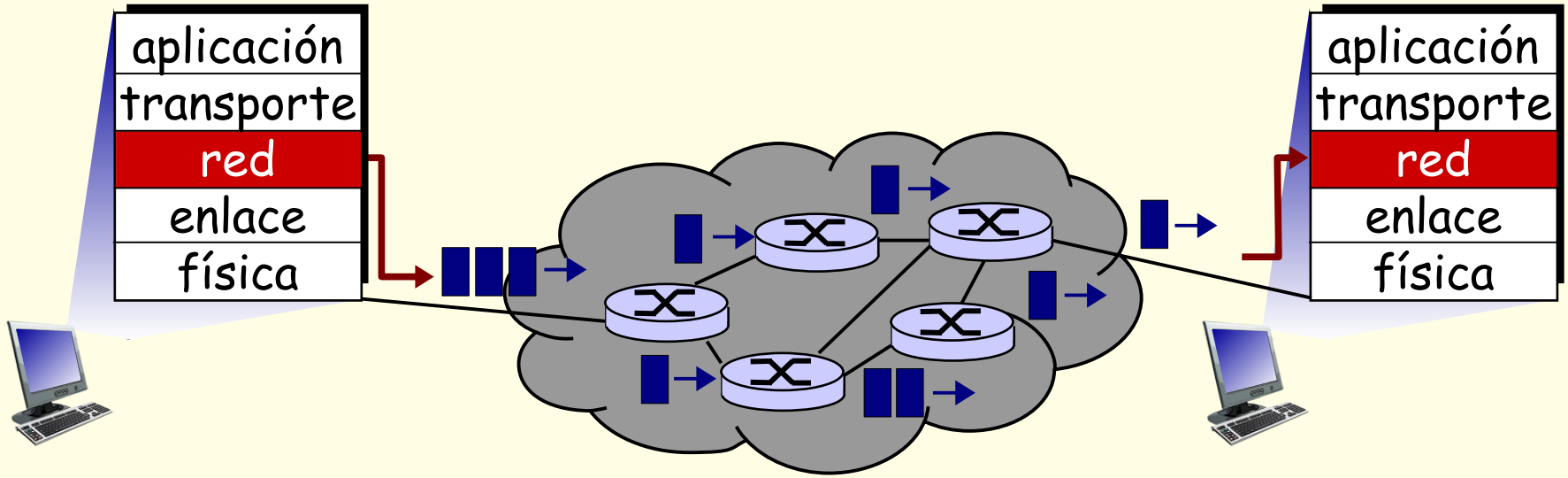


Datagramas

- El otro modelo de servicio posible se basa en la utilización de datagramas
  - No requiere de una inicialización de la conexión antes de comenzar a transmitir información
  - Los routers no cuentan con información acerca de las conexiones punta-a-punta (esto es, a nivel de capa de red no existe el concepto de conexión)
  - Los paquetes son ruteados inspeccionando la información contenida en cada datagrama acerca del destino hacia dónde se dirige

Modelo de internet

- A diferencia del modelo de servicio basado en circuitos virtuales, los datagramas de una misma conexión pueden no transitar el mismo camino



Implementación

- La tabla de forwarding de los routers no puede contar con información acerca de qué enlace tomar para cada una de las 2^{32} direcciones **IP**

Rango de Direcciones Destino	Enlace de Salida
desde 11001000 00010111 00010000 00000000 hasta 11001000 00010111 00010111 11111111	1
desde 11001000 00010111 00011000 00000000 hasta 11001000 00010111 00011000 11111111	2
desde 11001000 00010111 00011001 00000000 hasta 11001000 00010111 00011111 11111111	3
caso contrario	4

Implementación

- En el mundo real, los rangos de la tabla de forwarding no suelen quedar tan prolijos
  - La tabla se consulta buscando cuál es el prefijo de mayor longitud con el cual coincide la dirección destino del datagrama

Rango de Direcciones Destino	Enlace de Salida
11001000 00010111 00010*** *********	1
11001000 00010111 00011000 *********	2
11001000 00010111 00011*** *********	3
caso contrario	4

Datagramas vs. CV

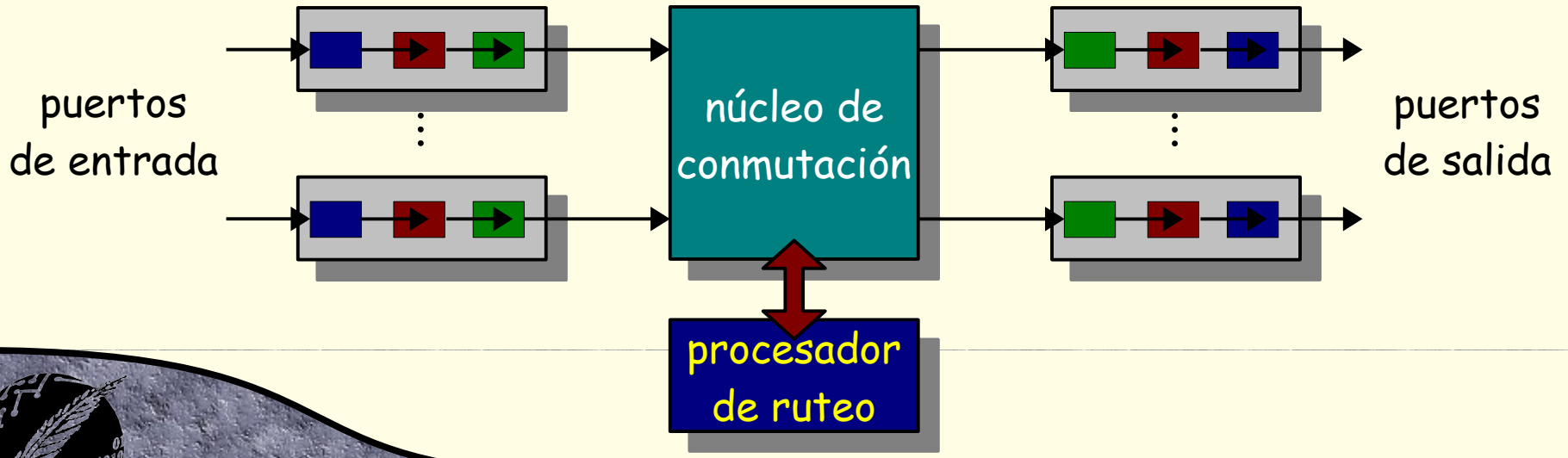
- En internet:
  - Se intercambian datos entre computadoras, por lo que usualmente no hay requerimientos tan estrictos de temporizado
  - Los sistemas en la frontera de la red son inteligentes, se adaptan a los cambios, pueden implementar control de errores, etc.
  - La complejidad está en la frontera, no en el núcleo
  - Está compuesta de muchos tipos distintos de enlaces, por lo que brindar un servicio homogéneo no es necesariamente trivial

Datagramas vs. CV

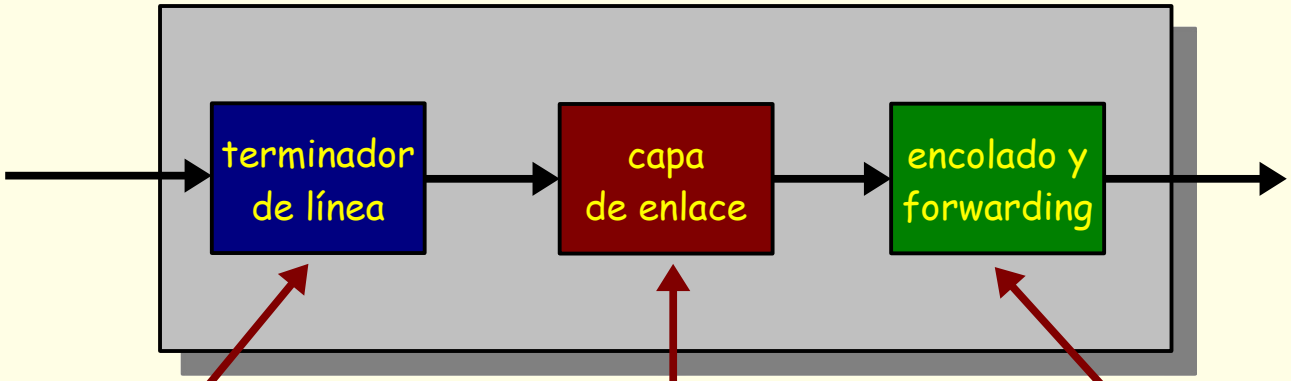
- En **ATM**:
  - Evolucionó a partir del sistema telefónico
  - Se diseño para entablar conversaciones entre humanos, por lo que se deben poder asegurar estrictos niveles de retardo y de confiabilidad
  - Es necesario que la red asegure una determinada calidad de servicio
  - Los sistemas en la frontera de la red carecen de inteligencia (por caso, un teléfono fijo o un fax)
  - La complejidad se aloja en el núcleo de la red

Estructura de un router

- Si dirigimos nuestra atención a qué hay dentro de un router, se identifican dos grandes tareas:
  - Debe ejecutar y cumplir con el protocolo de ruteo elegido (puede ser más de uno)
  - Debe llevar adelante el rol central del router, esto es, resolver el forwarding de los datagramas recibidos



Puertos de entrada



capa física (recepción de los bits)

capa de enlace (protocolo y desencapsulado)

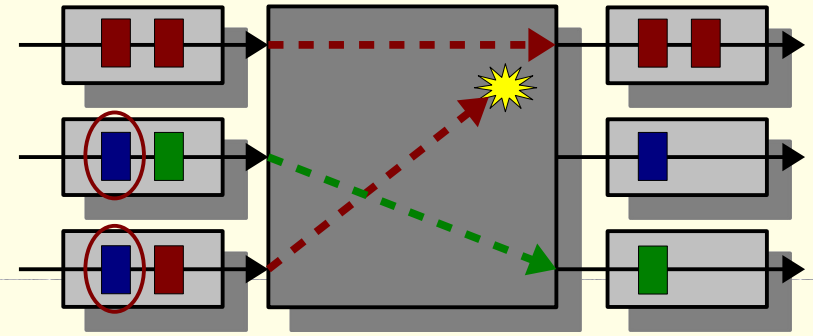
resolución de la conmutación de manera distribuida y eventual encolado

Conmutación descentralizada

- La multiplicidad de puertos de entrada permite descentralizar la toma de decisión respecto al forwarding de datagramas:
  - Para un dado datagrama, se consulta en la tabla de forwarding qué puerto de salida tomar
  - Idealmente se desea poder tomar la decisión a la misma velocidad que llegan los nuevos datagramas
  - En caso contrario, se producirá el encolado en el propio puerto de entrada

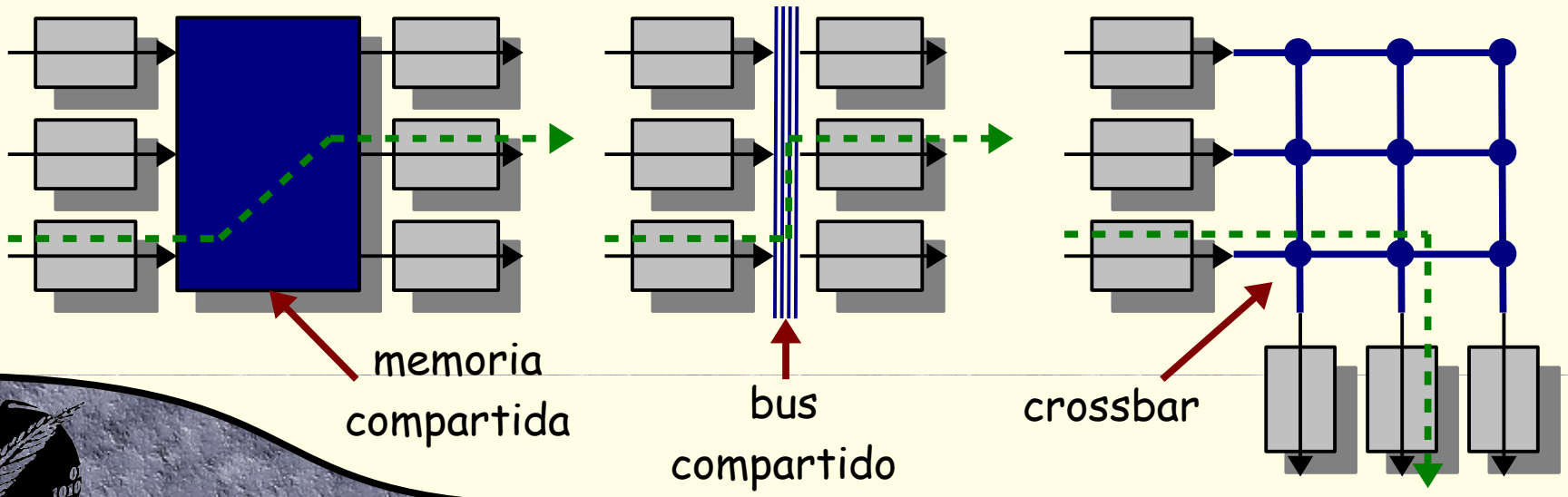
Encolado

- El encolado se produce toda vez que el núcleo de conmutación no alcance a distribuir a tiempo el tráfico recibido por los puertos de entrada
  - El datagrama en la primer posición de la cola puede bloquear a los datagramas que vienen detrás
  - Si el buffer se va saturando se producirán demoras y eventualmente pérdidas de datagramas



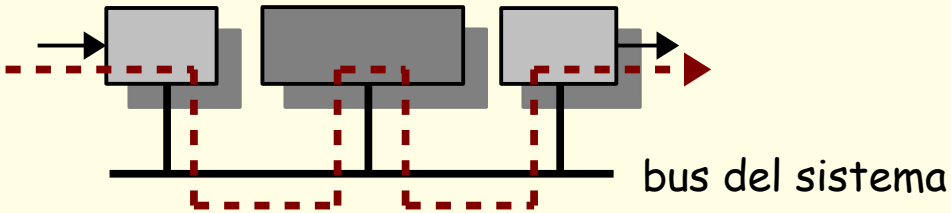
Núcleo de conmutación

- En la actualidad existen varias alternativas a la hora de implementar el núcleo de conmutación:
  - Hacer uso de una memoria compartida
  - Organizarlo en torno a un bus compartido
  - Organizarlo en torno a un crossbar



Memoria compartida

- Routers de primera generación (hoy legacy):
  - Un único **CPU** se encarga de copiar los datagramas de los puertos de entrada a los puertos de salida
  - La velocidad de conmutación está limitada por el ancho de banda de la memoria (pues se requieren dos accesos para conmutar cada datagrama)



- Los puertos de entrada de los más modernos son capaces acceder directamente a memoria

Bus compartido

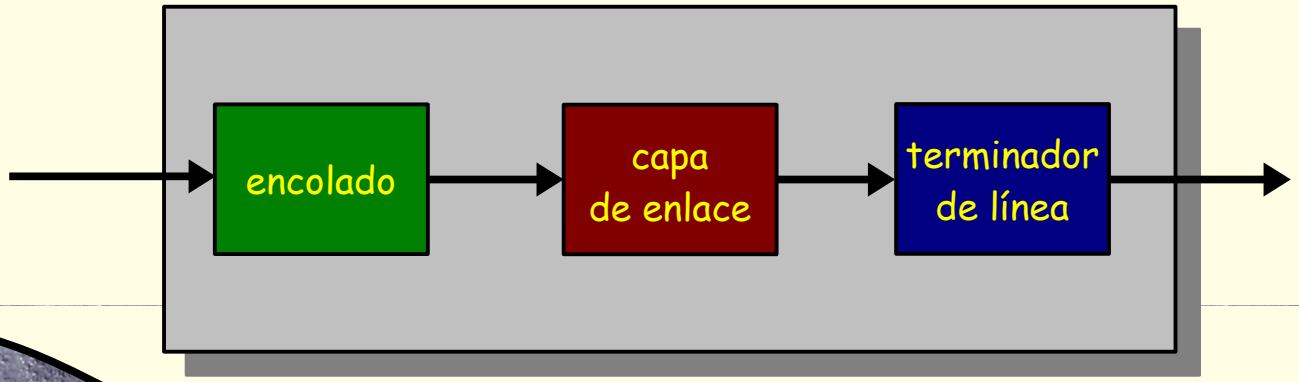
- Otra alternativa a la hora de diseñar un router es organizarlo en torno a un bus compartido:
  - Los datagramas se trasladan del buffer de entrada al buffer de salida haciendo uso de un bus
  - La contención en el acceso al bus aumenta el tiempo de encolado en los distintos puertos de entrada
  - Por ende, la velocidad de conmutación estará limitada por el ancho de banda del bus
  - Adecuado incluso hoy en día para routers hogareños y también tipo **PyME**

Crossbar

- El crossbar surge como una extensión natural del bus compartido
  - Su principal objetivo es aliviar el problema de la contención en el acceso al medio compartido
  - Esta tecnología se empezó a utilizar en las viejas supercomputadoras para interconectar de manera eficiente a sus múltiples procesadores
- Las versiones más modernas fragmentan los datagramas en celdas de tamaño fijo, las que son conmutadas a través del núcleo

Puertos de salida

- Los puertos de salida son en cierta forma la imagen especular de los puertos de entrada
  - Si la cantidad de datagramas conmutados supera la capacidad de transmisión del puerto de salida se apela al encolado o al descarte de datagramas
  - La disciplina de despacho (schedulling discipline) dictamina qué datagrama transmitir a continuación



Pérdida de datagramas

- El nivel de ocupación de los distintos buffers afectan directamente el desempeño del router
  - Un mayor nivel de ocupación implica un mayor retardo de encolado
- Sólo existen dos puntos en los que se puede tener que descartar un datagrama válido:
  - Al llegar un nuevo datagrama a un puerto de entrada que tenga su buffer lleno
  - Al conmutar un nuevo datagrama hacia un puerto de salida que tenga su buffer lleno

Requerimientos de buffering

- Resulta crucial determinar la cantidad óptima de almacenamiento intermedio del router:
  - Un buffer insuficiente conduce a pérdidas
  - Un buffer excesivo incrementa el costo de router
- La **RFC 3439** especifica como regla del pulgar multiplicar el **RTT** promedio de la red por la capacidad del enlace
  - Por ejemplo, asumido un **RTT** de 250ms necesitamos 2.5Gbits de buffer para un enlace de 10Gb/s
  - Actualmente se está revisando esta recomendación

¿Preguntas?