



# **Ingeniería de los Computadores**

Sesión 10. Redes de interconexión.  
Técnicas de conmutación

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

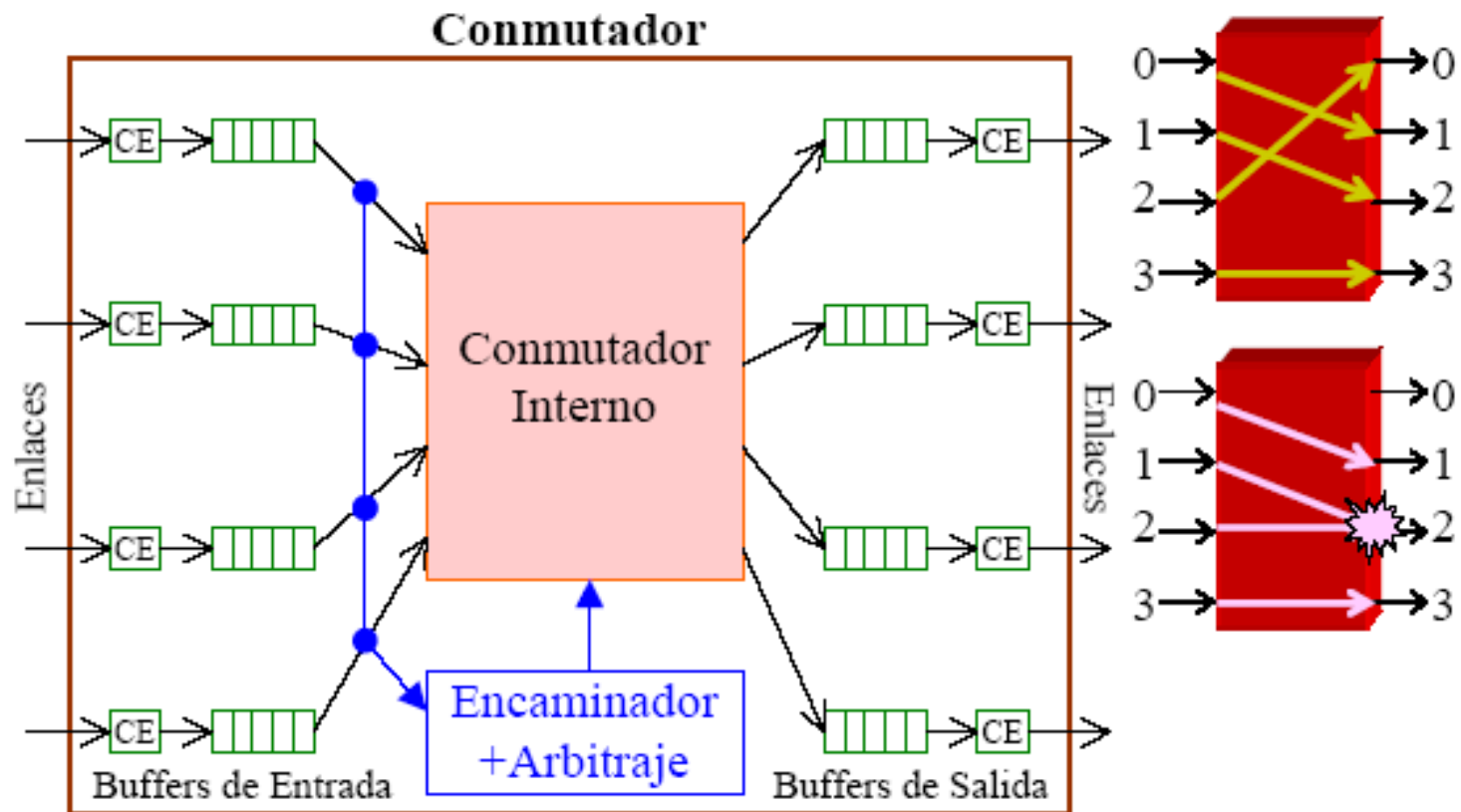
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Básico en las topologías



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

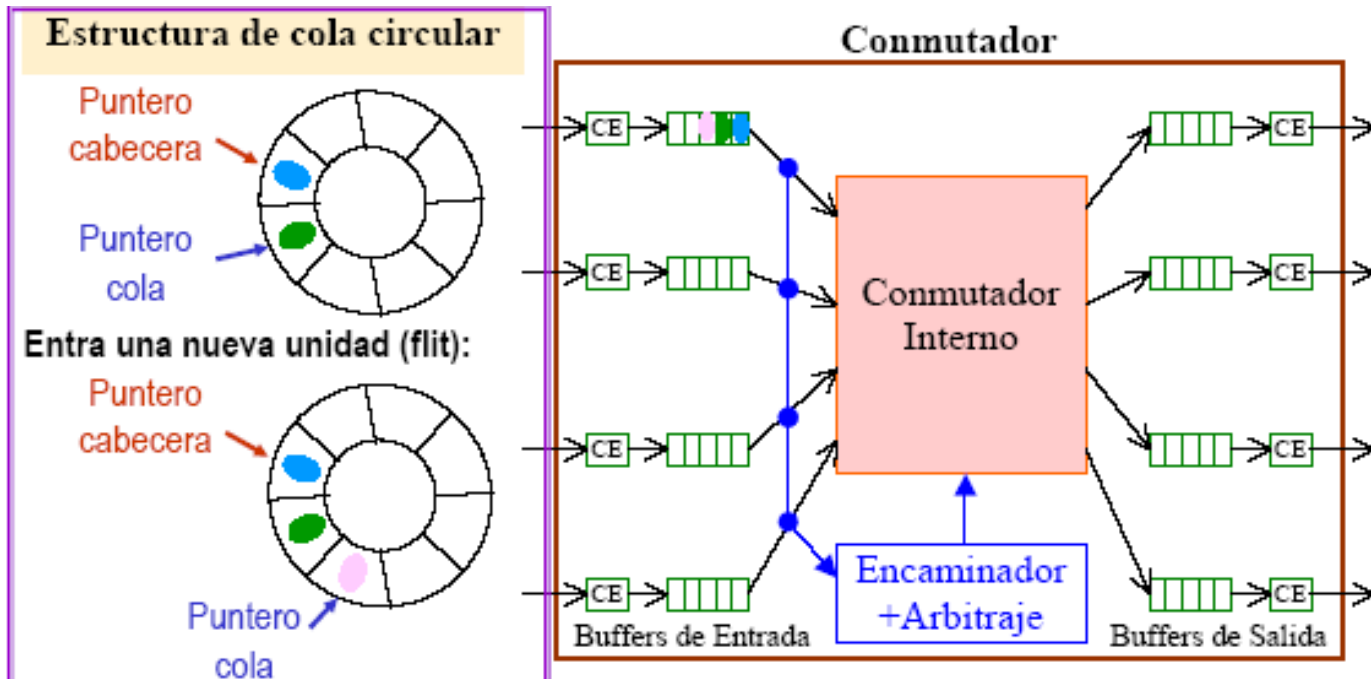
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Buffers de entrada



**Otra alternativa es una estructura de datos de lista enlazada**

Coste de gestión mayor. Además de actualizar punteros de cabecera y cola hay que modificar punteros entre celdas y gestionar una lista con celdas libres.

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

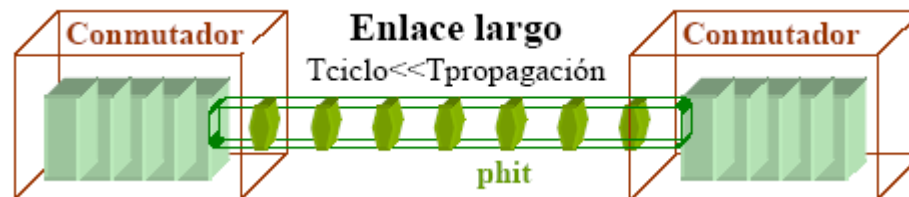
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Enlaces y canales.
  - Infraestructura: hilos eléctricos (cobre), fibras ópticas, etc.
- Anchura
  - Anchos. Se transmite simultáneamente datos y control
  - Estrechos. Multiplexa en el tiempo datos y control
- Longitud
  - Cortos. 1 símbolo
  - Largos. Varios símbolos de forma simultánea



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Enlaces: longitud
  - Cortos
    - El ciclo de red depende del retardo de propagación
  - Largos
    - Ciclo de red  $\ll$  retardo de propagación
- Velocidad del canal depende:
  - Energía empleada para transmitir por una línea
  - Distancia a atravesar
  - Ruido
  - Desplazamiento entre líneas de un enlace
  - Tamaño del buffer destino (enlaces largos)

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

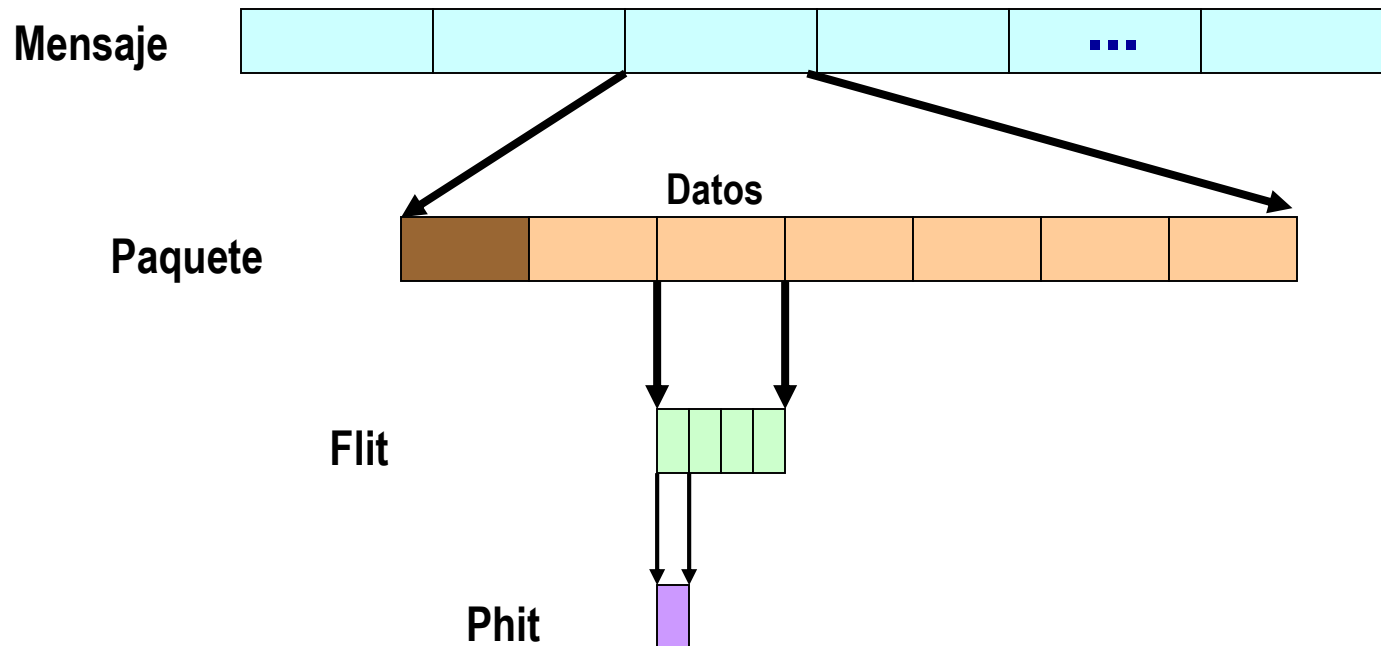
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Técnicas de conmutación
  - Cuándo y cómo se conectan entradas y salidas de routers
  - Cuándo se transfiere el mensaje por los caminos



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Tipos de técnicas de conmutación
  - Almacenamiento y reenvío (S&F, Store and Forward)
  - Vermiforme (Wormhole)
  - Virtual Cut-Through (VCT)
  - Conmutación de circuitos (CC, Circuit Switching) (Origen en redes telefonicas)
  - Canales virtuales
- Comparación entre técnicas
  - Comparación cuantitativa: latencia de transporte
  - Comparación cualitativa: ancho de banda global

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Se considera (a efectos de explicación teórica siguientes transparencias):
  - $1 \text{ phit} = 1 \text{ flit} = w \text{ bits}$
  - Cabecera = 1 flit
  - Tamaño total del paquete =  $L \text{ bits} + w \text{ bits}$  (cabecera)
  - Distancia fuente-destino =  $D$  parejas conmutador-enlace
  - Conmutadores con buffer independiente para cada entrada y salidas sin buffer
  - $T_w$  = tiempo para que un phit atraviese una etapa conmutador/enlace
  - $T_r$  = tiempo de encaminamiento (routing)





# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Store & forward
  - El conmutador almacena el paquete completo antes de ejecutar el algoritmo de encaminamiento y reenviar
  - La unidad de transferencia (paquete) entre interfaces ocupa sólo un canal en cada instante
  - Almacenamiento en conmutadores: múltiplos de un paquete (mínimo 1 paquete)
  - Ancho de banda
    - El número de enlaces ociosos influye en el ancho de banda: para un tamaño de buffer mínimo (1 paquete), un paquete bloqueado deja ocioso un canal

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Store & forward

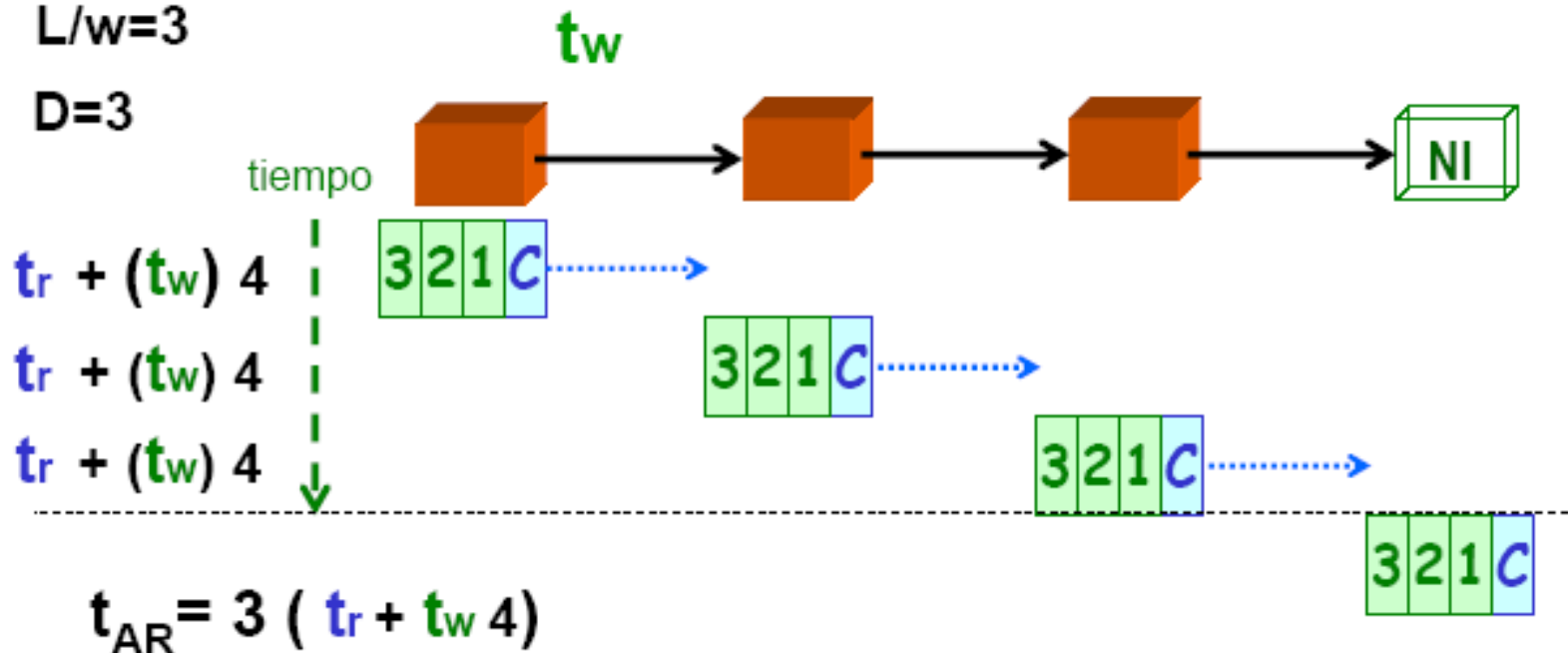
- Latencia de transporte:

$$t_{AR} = D \cdot \left[ t_r + t_w \cdot \left( \left\lceil \frac{L}{W} \right\rceil + 1 \right) \right]$$



$L/w=3$

$D=3$



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Wormhole
  - En cuanto llega la cabecera al conmutador se ejecuta el algoritmo de encaminamiento y se reenvía
  - La unidad de transferencia es el mensaje
  - La transferencia se hace a través de un camino segmentado ( $n^o$  etapas depende del  $n^o$  de buffer). La unidad de transferencia puede ocupar varios canales en un instante
  - Almacenamiento en conmutadores: múltiplos de un flit (mínimo 1 flit)
  - Ancho de banda
    - El número de enlaces ociosos influye en el ancho de banda: para un tamaño de buffer mínimo (1 flit), un paquete bloqueado deja ociosos varios canales

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

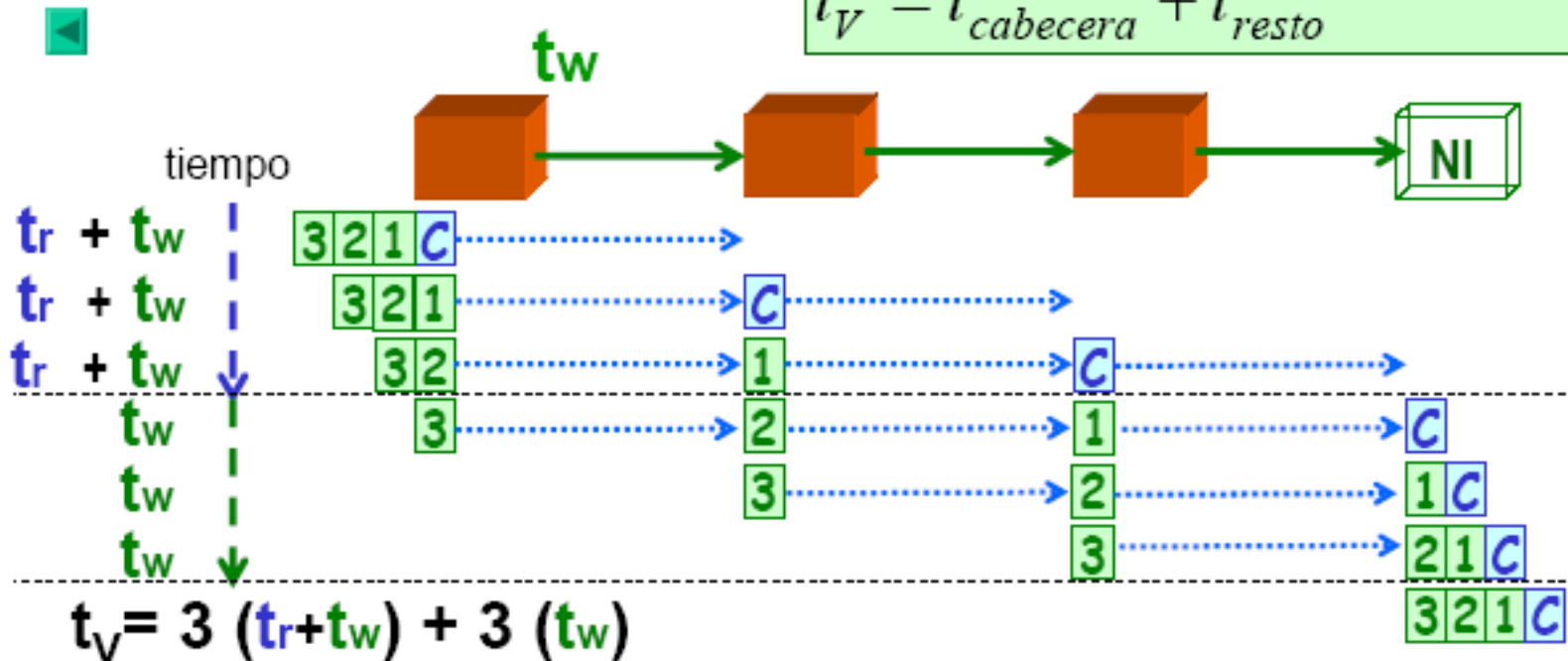
Conmutación

- Wormhole

- Latencia de transporte  
(buffer sólo en entradas de conmutadores)

$$t_V = D \cdot (t_r + t_w) + t_w \cdot \left\lceil \frac{L}{W} \right\rceil$$

$$t_V = t_{cabecera} + t_{resto}$$



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

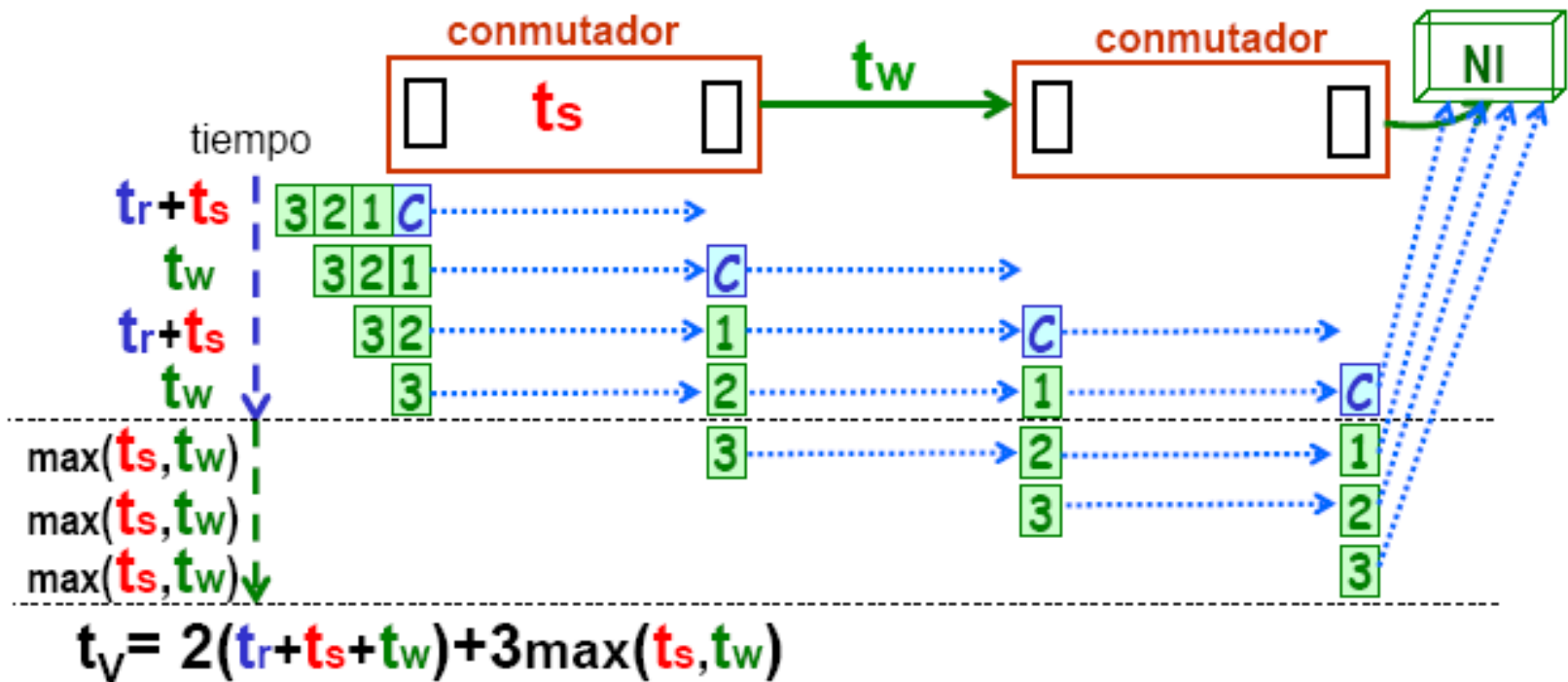
Conmutación

### • Wormhole

- *Latencia de transporte:*  
(buffer en entradas y salidas)

$$t_V = D \cdot (t_r + t_s + t_w) + \max(t_s, t_w) \cdot \left\lceil \frac{L}{W} \right\rceil$$

$$t_V = t_{cabecera} + t_{resto}$$



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Virtual Cut-Through
  - En cuanto llega la cabecera al conmutador se ejecuta el algoritmo de encaminamiento y se reenvía
  - La unidad de transferencia es el paquete
  - La transferencia se hace a través de un camino segmentado ( $n^{\circ}$  etapas depende del  $n^{\circ}$  de buffer). La unidad de transferencia puede ocupar varios canales en un instante
  - Almacenamiento en conmutadores: múltiplos de un paquete (mínimo 1 paquete)
  - Prestaciones
    - Latencia = wormhole
    - Ancho de banda = Store-and-Forward

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Conmutación de circuitos
  - Desde el fuente se envía una sonda (flit) que reserva el camino. El destino devuelve una señal de reconocimiento y el fuente comienza la transmisión
  - La unidad de transferencia es el mensaje
  - La transferencia se hace a través del canal entre fuente y destino (o un camino segmentado) reservado por la sonda
  - Almacenamiento en conmutadores: los buffers almacenan la sonda
  - Ancho de banda
    - Cuando la sonda queda bloqueada deja ociosos múltiples canales (tantos como la distancia del punto de bloqueo al fuente)

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

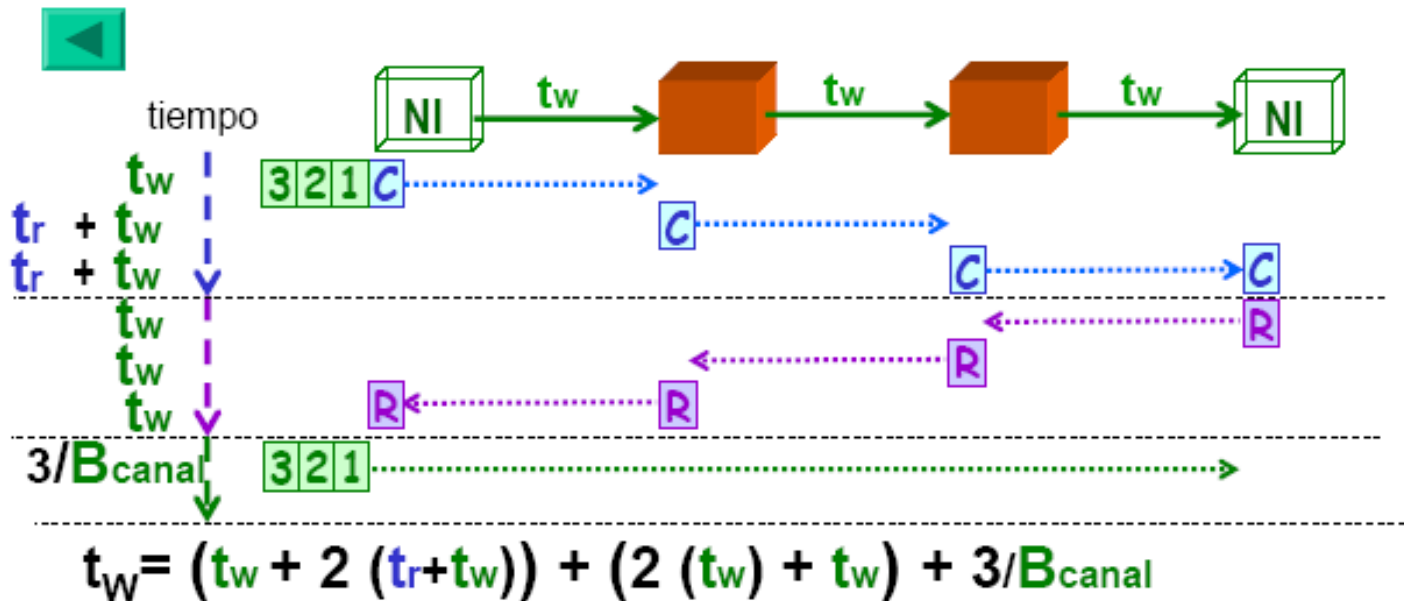
Conmutación

- Conmutación de circuitos

- Latencia de transporte (si se establece 1 canal):

$$t_{CC} = [t_w + D \cdot (t_r + t_w)] + [D \cdot (t_w) + t_w] + [1/B_{canal} \cdot \lceil L/W \rceil]$$

$$t_{CC} = t_{sonda} + t_{reconocimiento} + t_{datos}$$





# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

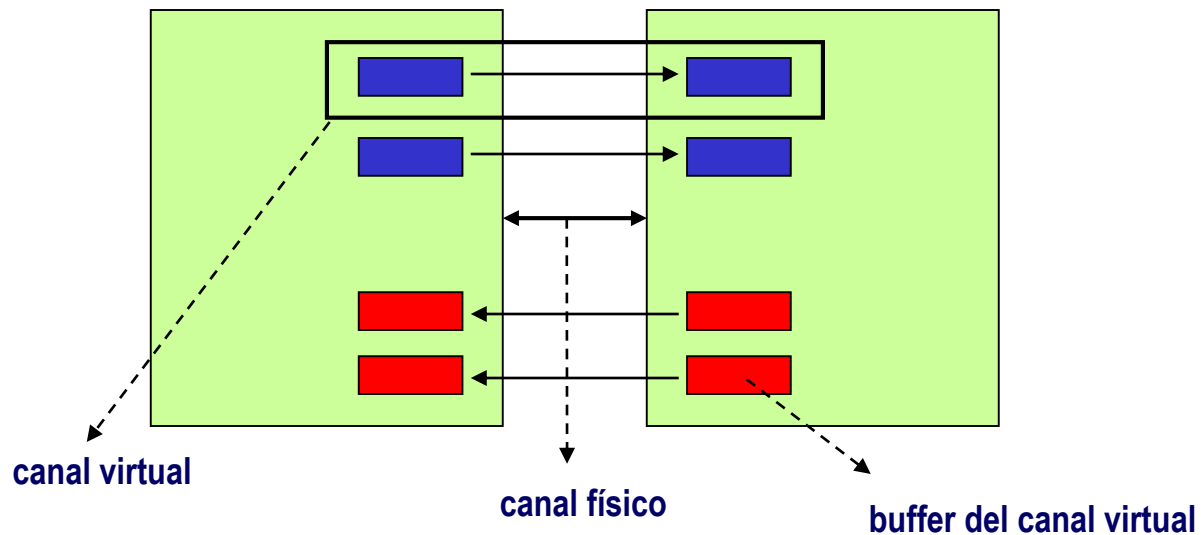
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Canales virtuales
  - Permiten que varios paquetes compartan el mismo enlace (a nivel de flit)
  - Mejoran el ancho de banda y la latencia al disminuir la probabilidad de bloqueos
  - Se aplica con el resto de mecanismos



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

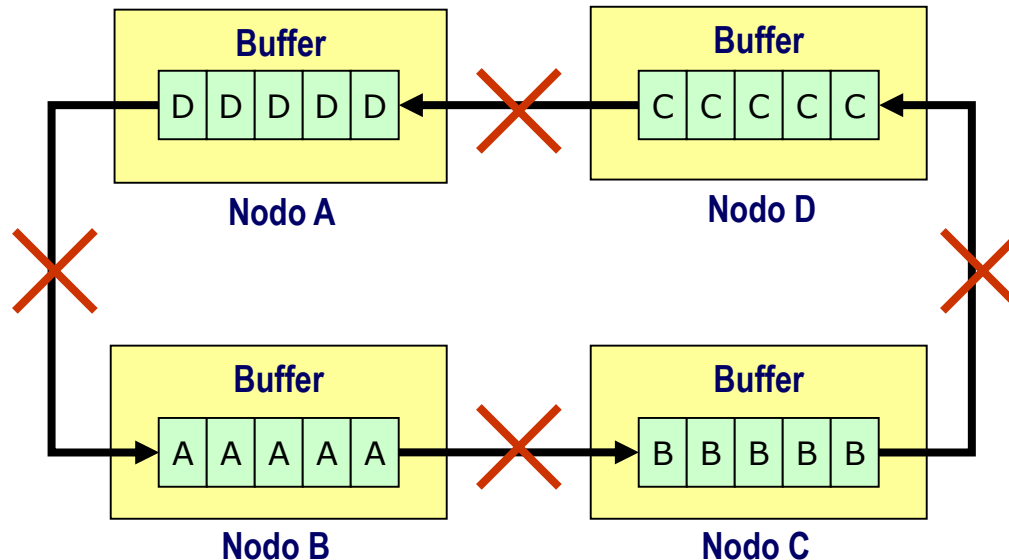
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Bloqueos
  - Algunos paquetes no pueden alcanzar el destino
  - Capacidad de los buffers finita
  - Canales ocupados



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Bloqueos. Clasificación
  - Interbloqueos (deadlocks)
    - Recursos no disponibles para el avance de los paquetes
    - Buffers ocupados
    - Bloqueo permanente
  - Bloqueos activos (livelocks)
    - Los paquetes nunca llegan a su destino
    - Canales ocupados por otros paquetes
    - Sólo ocurre si se permiten caminos no mínimos
  - Inanición (los recursos siempre se asignan a otros paquetes)

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Bloqueos. Soluciones
  - Inanición
    - Emplear un esquema de asignación de recursos correcto
    - Cola circular con distinta prioridad
  - Bloqueos activos
    - Usar solo rutas mínimas
    - Usar rutas no mínimas restringidas
    - Dar mayor probabilidad a caminos mínimos respecto a no mínimos
  - Interbloqueos
    - Prevención
    - Evitación
    - Recuperación

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

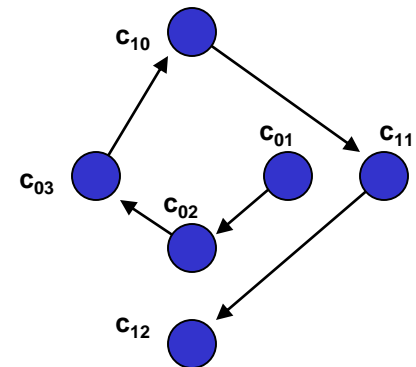
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Prevención de interbloqueos
  - Estrategia muy conservadora: se asignan todos los recursos para transmitir un mensaje antes de iniciar la transmisión
  - Un flit de sondeo establece el camino
  - Si existe bloqueo, retrocede y libera recursos
- Evitación de interbloqueos
  - Los recursos se asignan a medida que el mensaje atraviesa la red
  - Un recurso se asigna a un paquete si el estado resultante es seguro (grafo de dependencias acíclico)



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

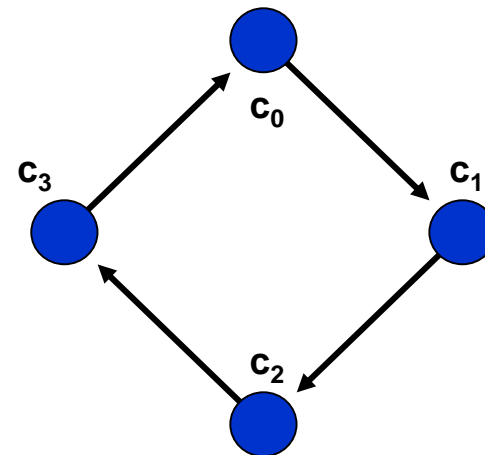
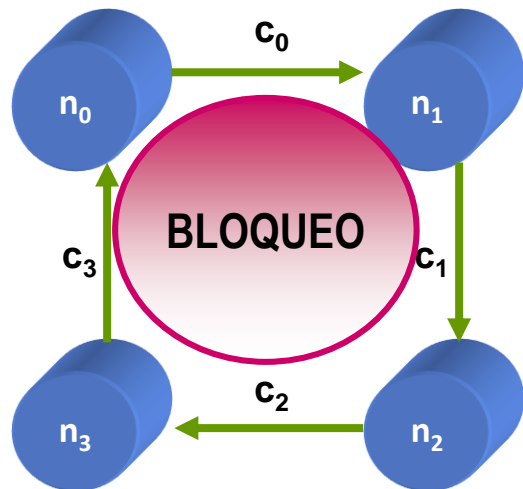
Topologías

Conmutación

- Evitación de interbloqueos – grafo de dependencias

**Teorema:** Una función de encaminamiento determinista  $F$  para una red  $R$  está libre de interbloqueos si sólo si no existen ciclos en su grafo de dependencia de canales

- Anillo unidireccional



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

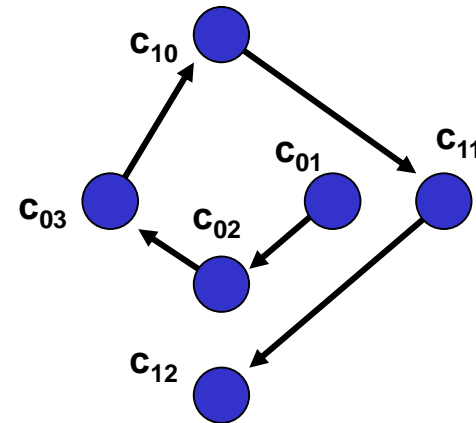
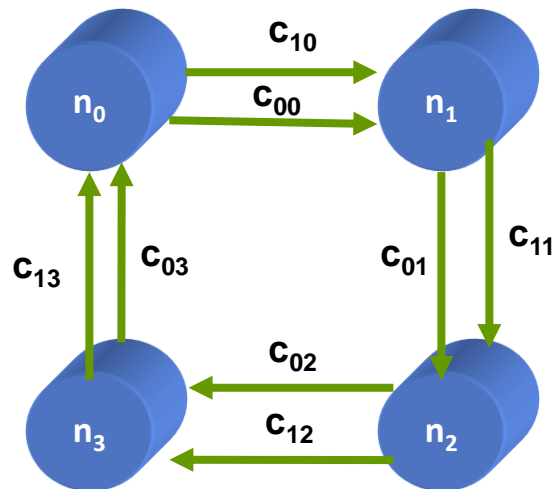
Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Evitación de interbloqueos – grafo de dependencias
  - Anillo unidireccional con canales virtuales



Función de encaminamiento:

Usar  $c_{0i}$  si  $j < i$ , o  $c_{1i}$  si  $j > i$

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

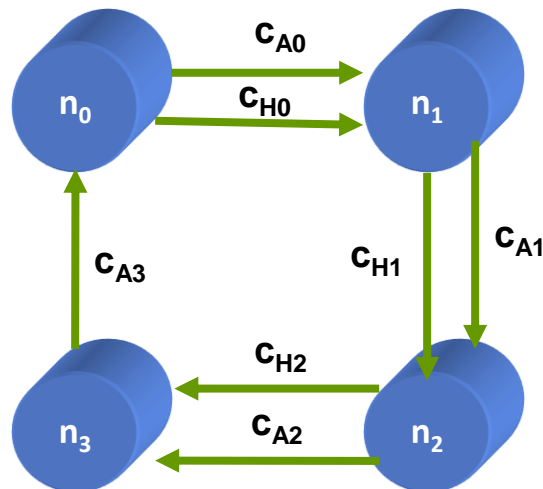
Clasificación

Topologías

Conmutación

- Evitación de interbloqueos – grafo de dependencias

**Teorema:** Una función de encaminamiento adaptativa  $F$  para una red  $R$  está libre de interbloqueos si, existiendo dependencias cíclicas, cada paquete encuentra un camino libre de bloqueos para llegar al destino



**Función de encaminamiento:**

Usar  $c_{Ai}$  si  $j \neq i$ , o  $c_{Hi}$  si  $j > i$



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- Recuperación de interbloqueos
  - Estrategia optimista: supone que rara vez ocurre un bloqueo
  - Los recursos se asignan a los mensajes sin ninguna comprobación adicional
  - Si existe bloqueo, se liberan bloqueos
  - Se reasignan los recursos a otro mensaje
  - Detección de bloqueos en el nodo origen

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- **Ejercicio**

- Un programa tarda 40 s en ejecutarse en un multiprocesador. Durante un 20% de ese tiempo se ha ejecutado en cuatro procesadores; durante un 60%, en tres; y durante el 20% restante, en un procesador (consideramos que se ha distribuido la carga de trabajo por igual entre los procesadores que colaboran en la ejecución en cada momento, y despreciamos sobrecarga).
- ¿Cuánto tiempo tardaría en ejecutarse el programa en un único procesador?.
- ¿Cuál es la ganancia en velocidad obtenida con respecto al tiempo de ejecución secuencial?.
- ¿Y la eficiencia?

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- **Ejercicio**

- Un banco ha adquirido un supercomputador formado por 32768 nodos conectados mediante una red toro 3D cuyos enlaces tienen una velocidad de 2Gbit/s. Para terminar de analizar el rendimiento del supercomputador se desea saber cuánto tardará un paquete formado por 56 bytes (incluyendo la cabecera) que se envía desde el nodo 3056 al nodo 12018. El tiempo de enrutamiento es de 9ns. Calcula los tiempos de envío tanto utilizando “store and forward” como “wormhole”. Nota: la cabecera del paquete está formada por 2 bytes.

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 10. Técnicas de conmutación

Conceptos

Clasificación

Topologías

Conmutación

- **Ejercicio**

- Un multicomputador utiliza una red de comunicación en la que los enlaces son de 1Gbps y la técnica de conmutación es Store&Forward (almacenamiento y reenvío). Mandar un paquete de 32 bytes a un nodo a distancia 6 cuesta 1.56 microsegundos. ¿Cuántas veces sería más rápida la transmisión si la comunicación fuera vermiforme (wormhole)? Suponga tráfico cero, flits de 8 bits y 1 flit de cabecera (31 flits de datos y 1 de cabecera).