

# *Scheduling (3)*

*Área de Ingeniería Telemática*  
<http://www.tlm.unavarra.es>

*Máster en Comunicaciones*

# Objetivos

- Saber calcular cotas a parámetros de red que afectan al tráfico

# WFQ

- *Weighted Fair Queueing*
- Aproximación de GPS (*Generalized Processor Sharing*) para el caso de paquetes
- Equivalente a PGPS (*Packet-by-packet Generalized Processor Sharing*)
- No requiere conocer el tamaño medio de paquete
- Emplea un reloj virtual
- Calcula el final virtual en que se enviaría cada paquete en el caso ideal GPS
- Se envían en orden de tiempo final virtual
- Más complejo de implementar
- Puede ofrecer *worst-case bounds*



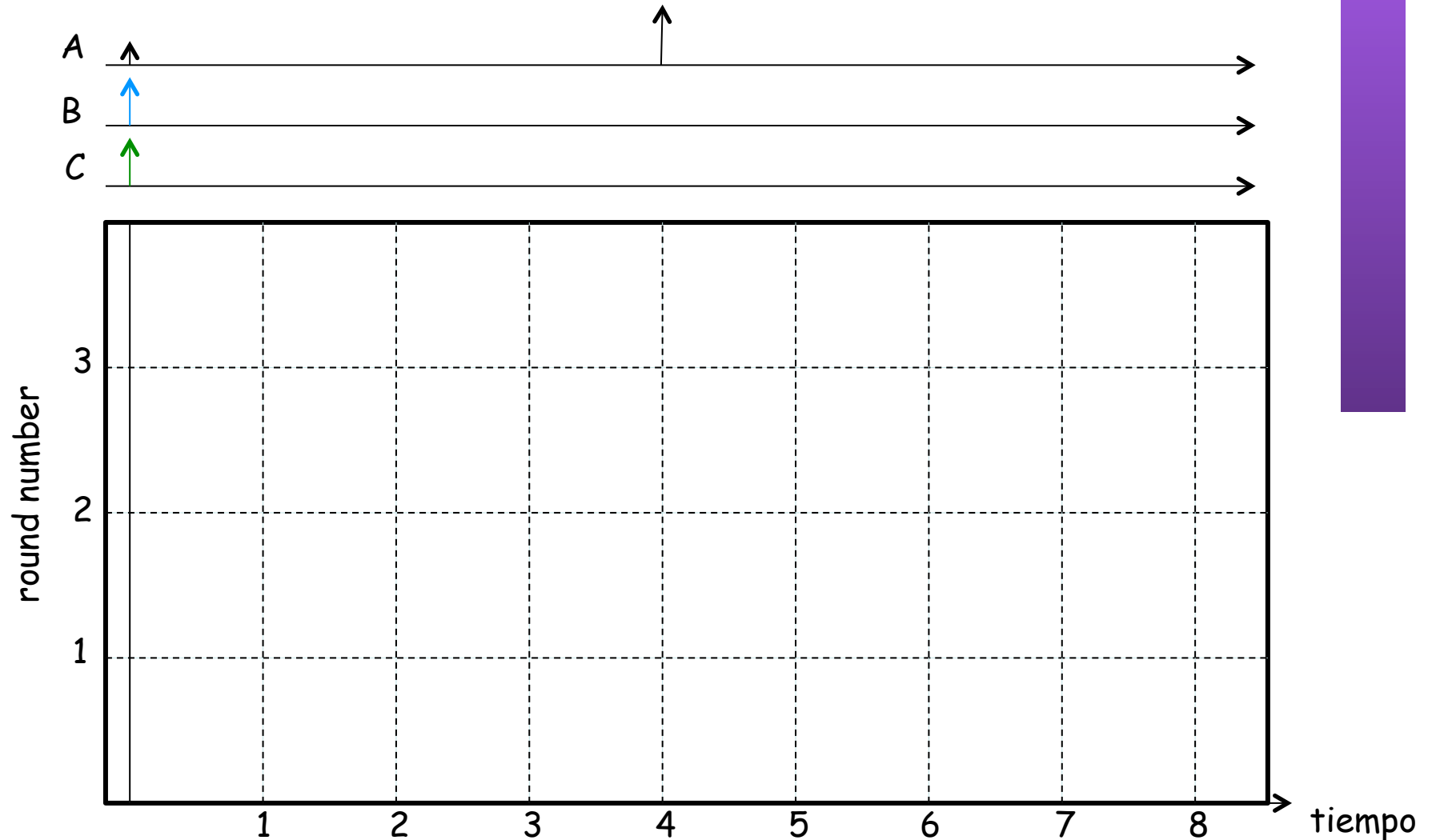
# WFQ



- Se simulan “turnos”
- Supongamos que no hay pesos
- Supongamos que GPS no sirve fluido perfecto sino bit-a-bit
- El número de turno (*round number*) es el número de turnos bit-a-bit que se han completado en un instante
- Cuantos más flujos activos simultáneos hay, más despacio se incrementa el turno con el tiempo pues en un turno hay que enviar un bit de cada uno de ellos
- En realidad podemos ignorar el servir bit-a-bit si definimos el round number como un valor que crece a una velocidad inversamente proporcional al número de flujos activos
- El *finish number*  $F(i,k,t)$  del paquete  $k$  del flujo  $i$  que llega en  $t$  es:
  - Si el flujo está inactivo: el *round number* actual + el tamaño en bits
  - Si el flujo está activo:  $\max[F(i,k-1,t), \text{round\_number}] + \text{tamaño en bits}$
- Si un paquete llega a una cola llena se descartan paquetes en orden decreciente de finish number hasta que quepa
- Una vez calculado el finish number de un paquete no hay que recalcularlo ante nuevas llegadas

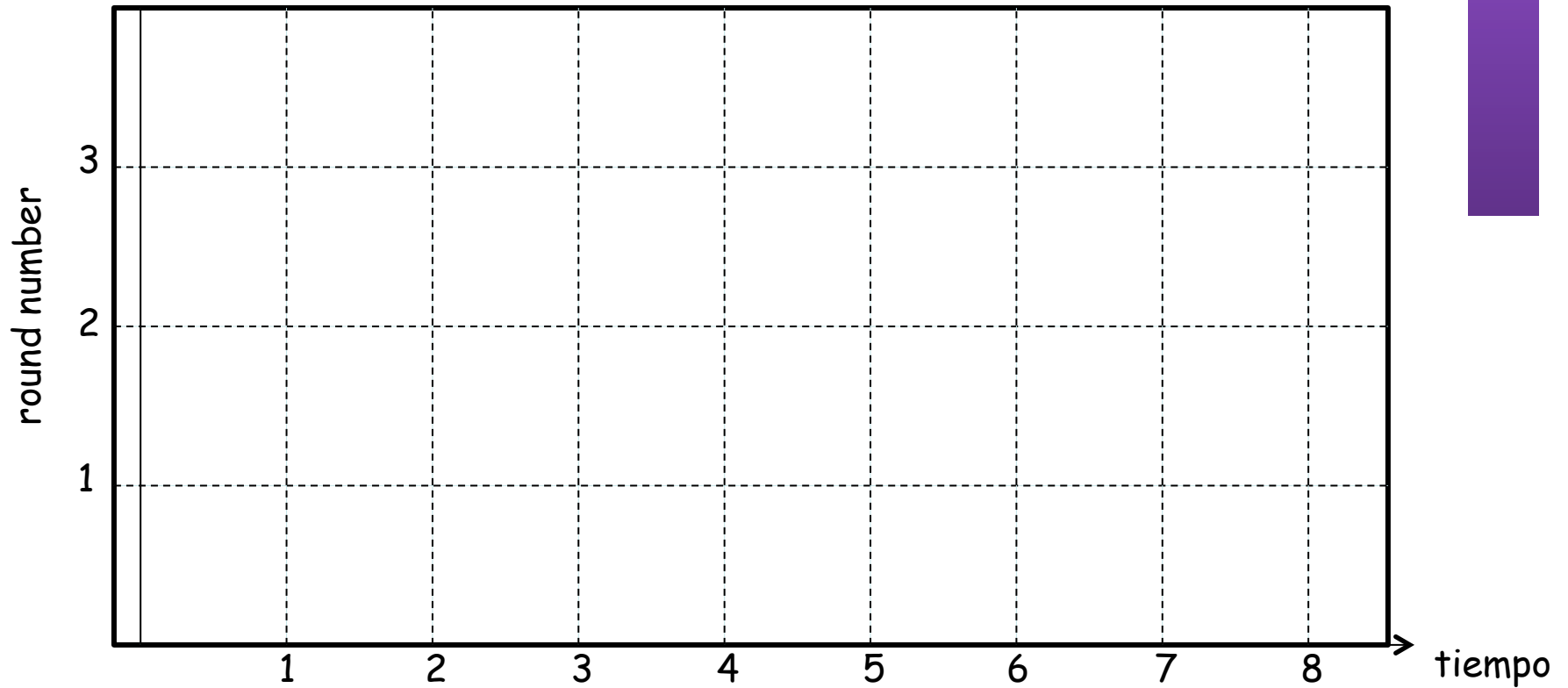
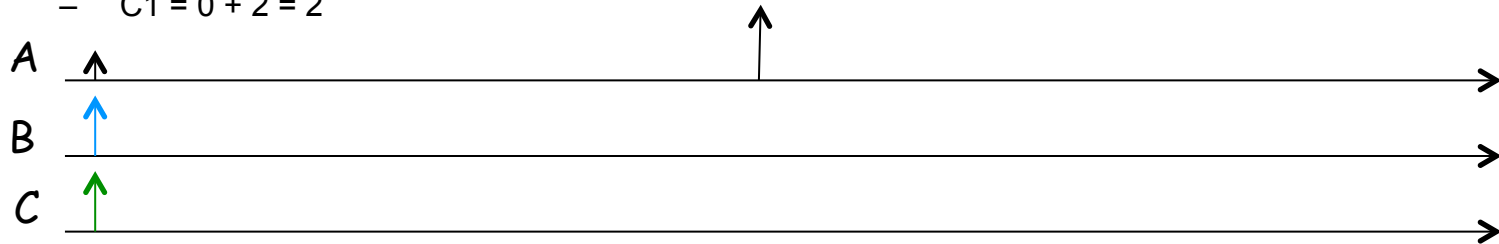
# WFQ (Ejemplo)

- Enlace a 1 unidad/s
- Llegadas de tamaños 1, 2 y 2 unidades en  $t=0$  y de tamaño 2 unidades en  $t=4$



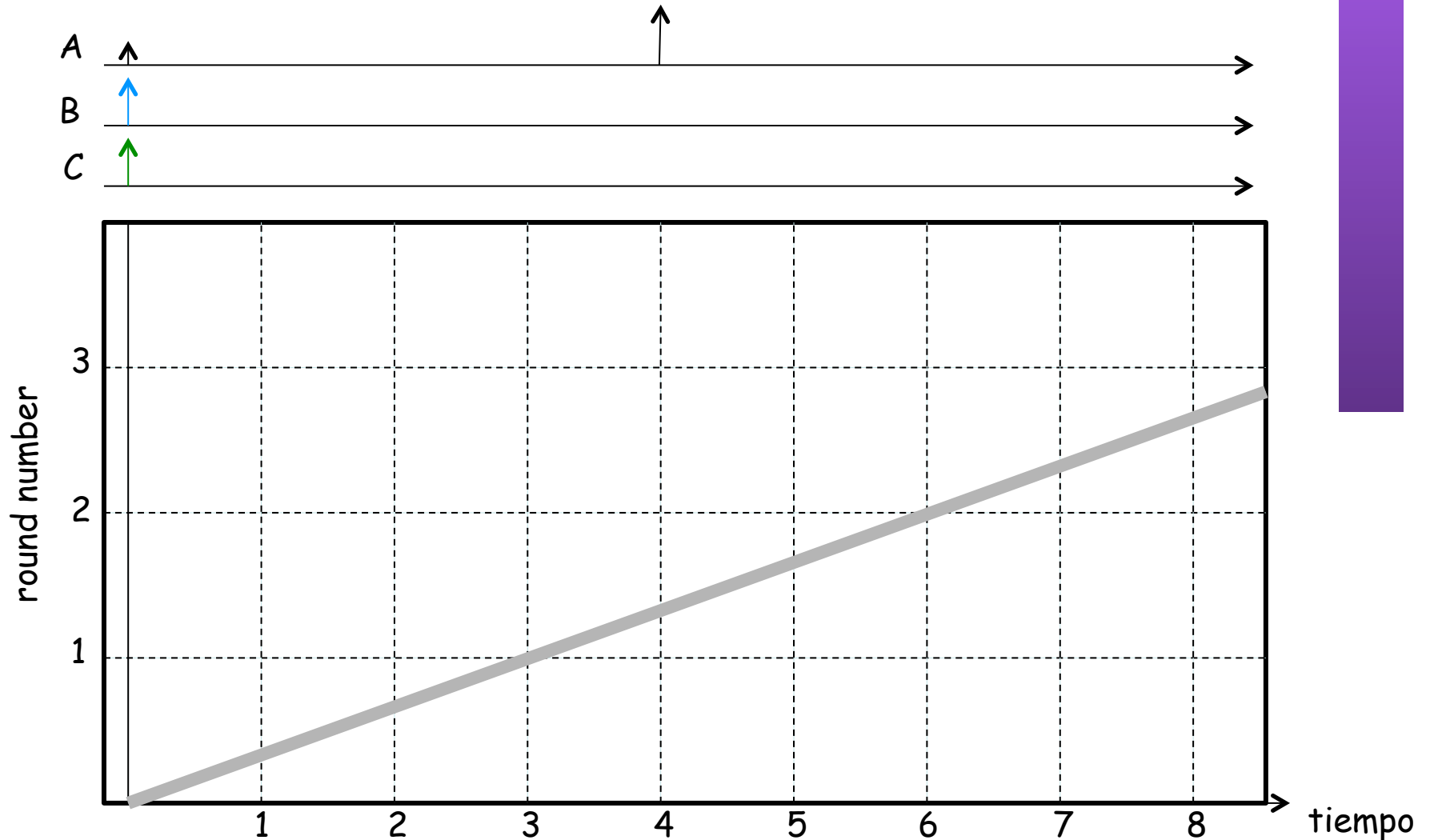
# WFQ (Ejemplo)

- Finish numbers:
  - $A1 = 0 + 1 = 1$
  - $B1 = 0 + 2 = 2$
  - $C1 = 0 + 2 = 2$



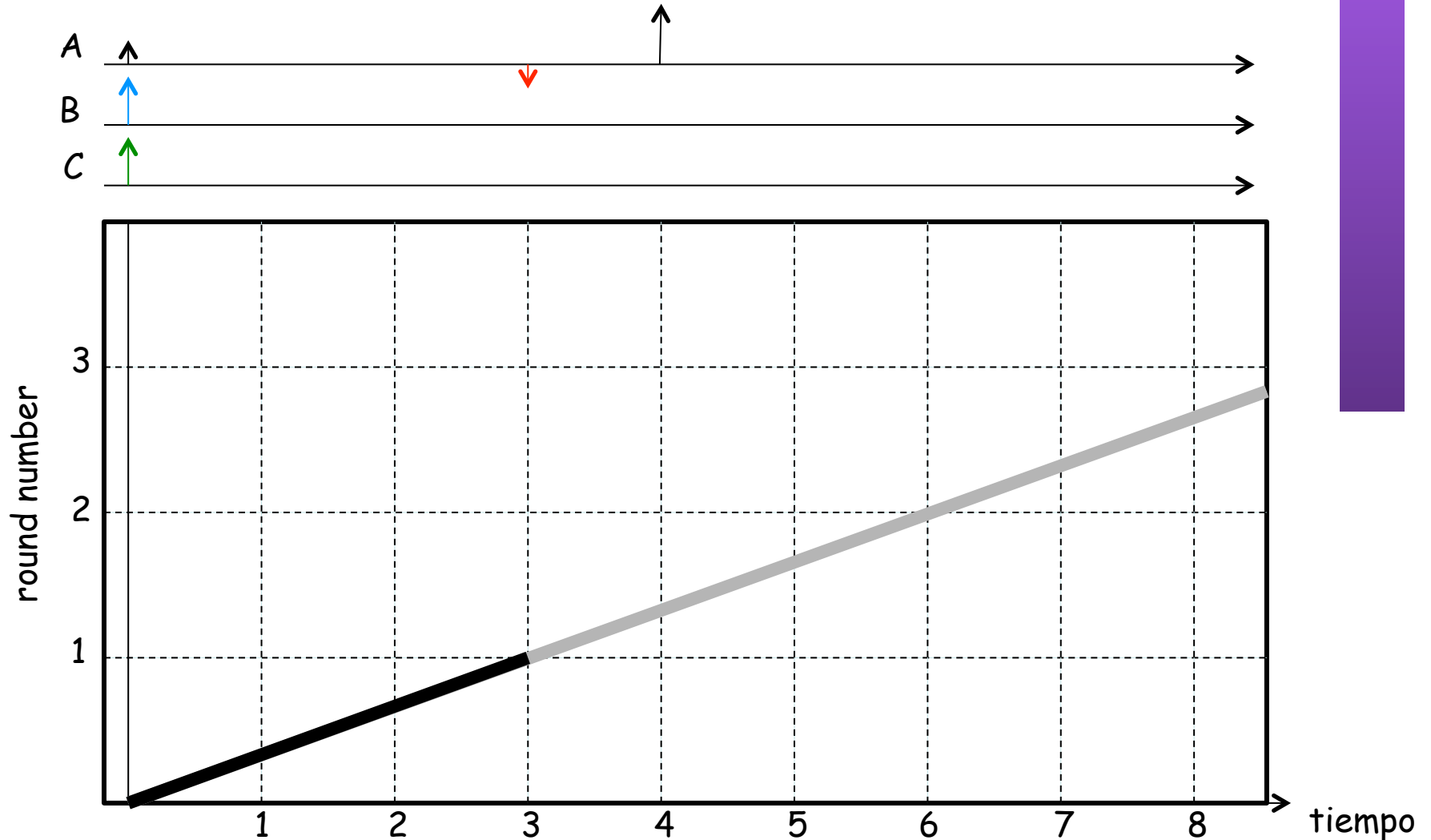
# WFQ (Ejemplo)

- Hay 3 flujos a enviar simultáneamente
- El round number se incrementa a  $C/3 = 1/3$  por unidad de tiempo



# WFQ (Ejemplo)

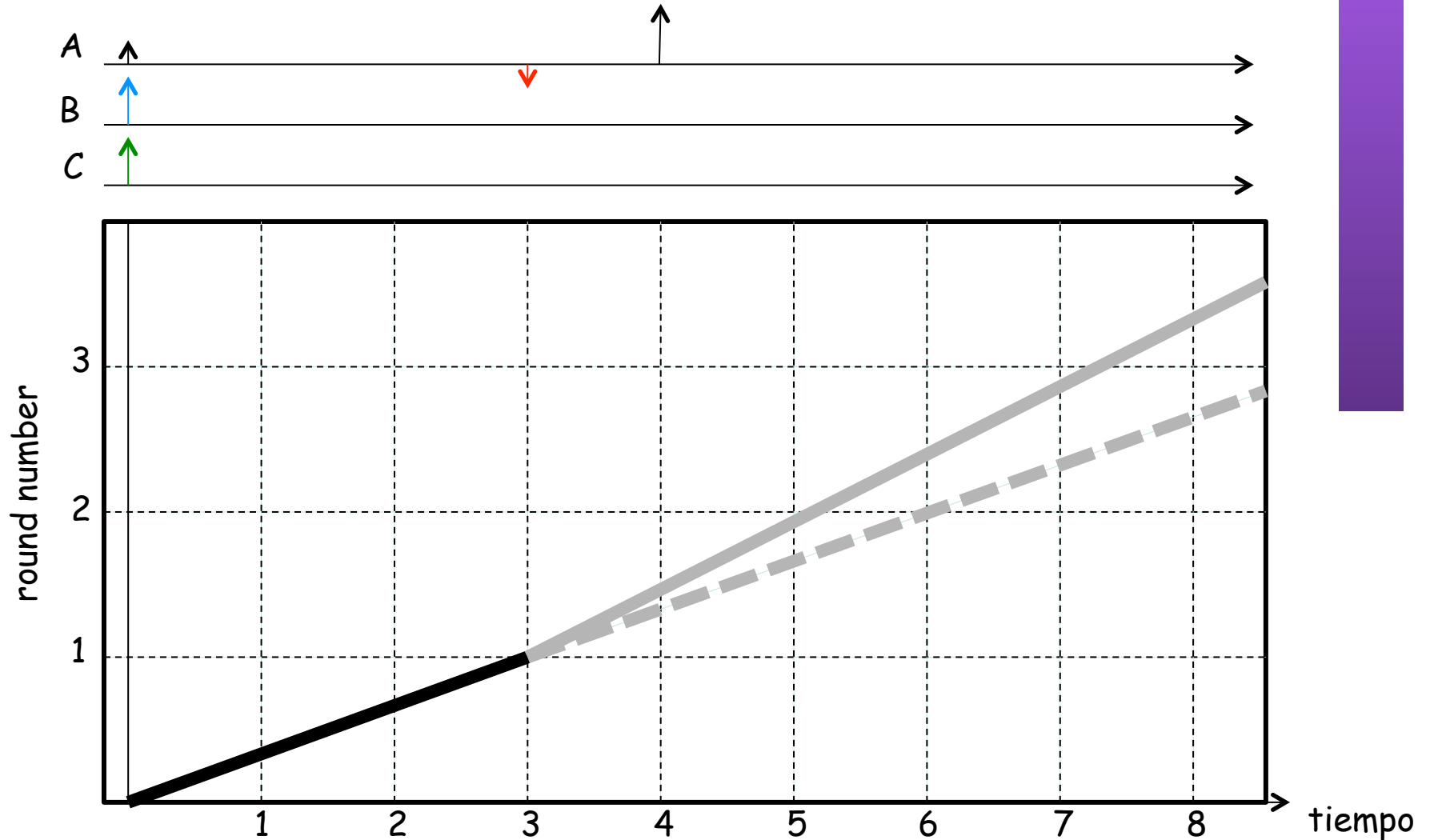
- En el instante  $t=3$  se han servido 3 bits, eso es uno por flujo y por lo tanto termina el round 1 y termina de enviarse A1





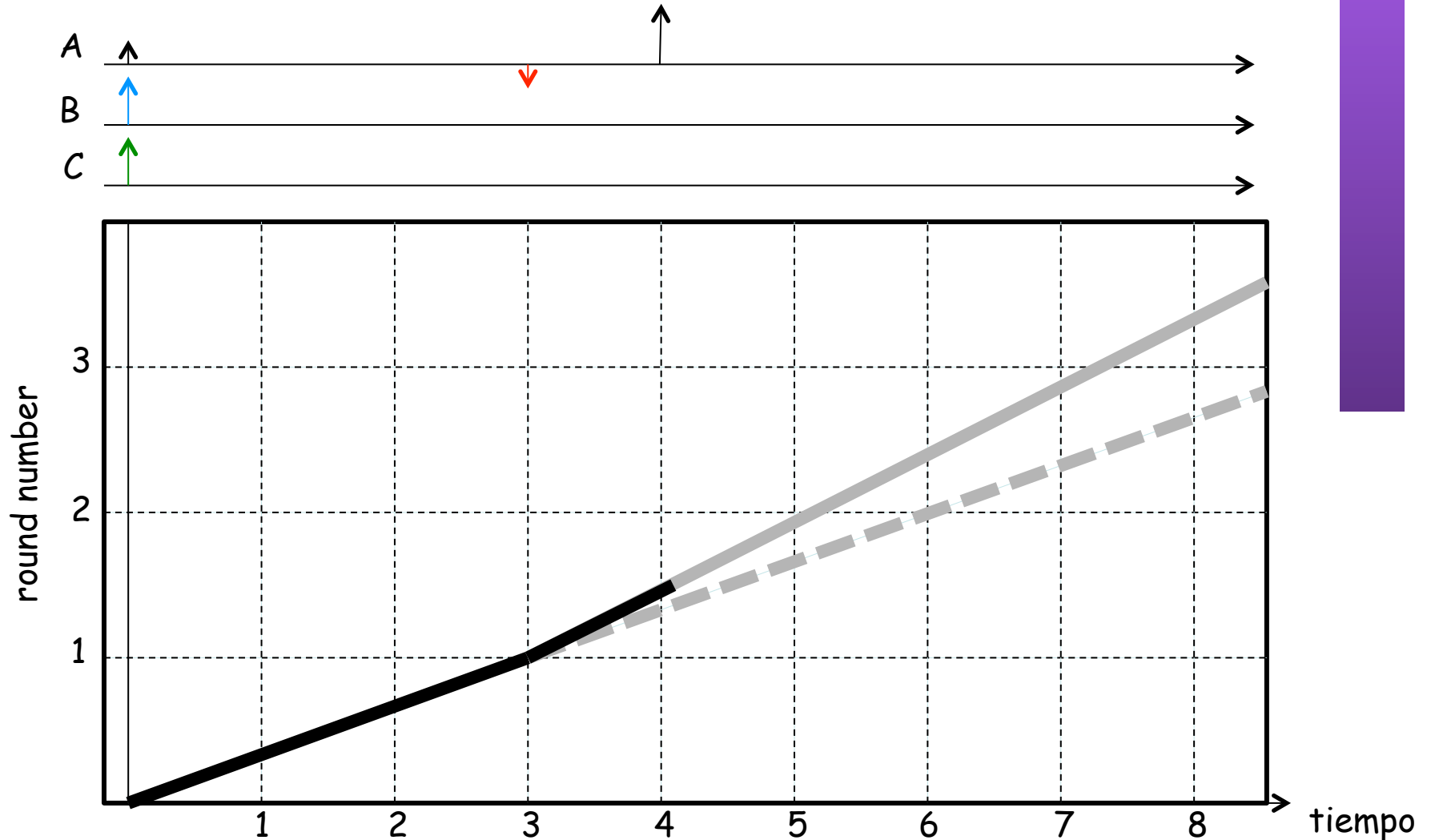
# WFQ (Ejemplo)

- A partir de ahí se siguen sirviendo B1 y C1 con finish number = 2
- Al haber dos flujos activos crece el round number a 1/2



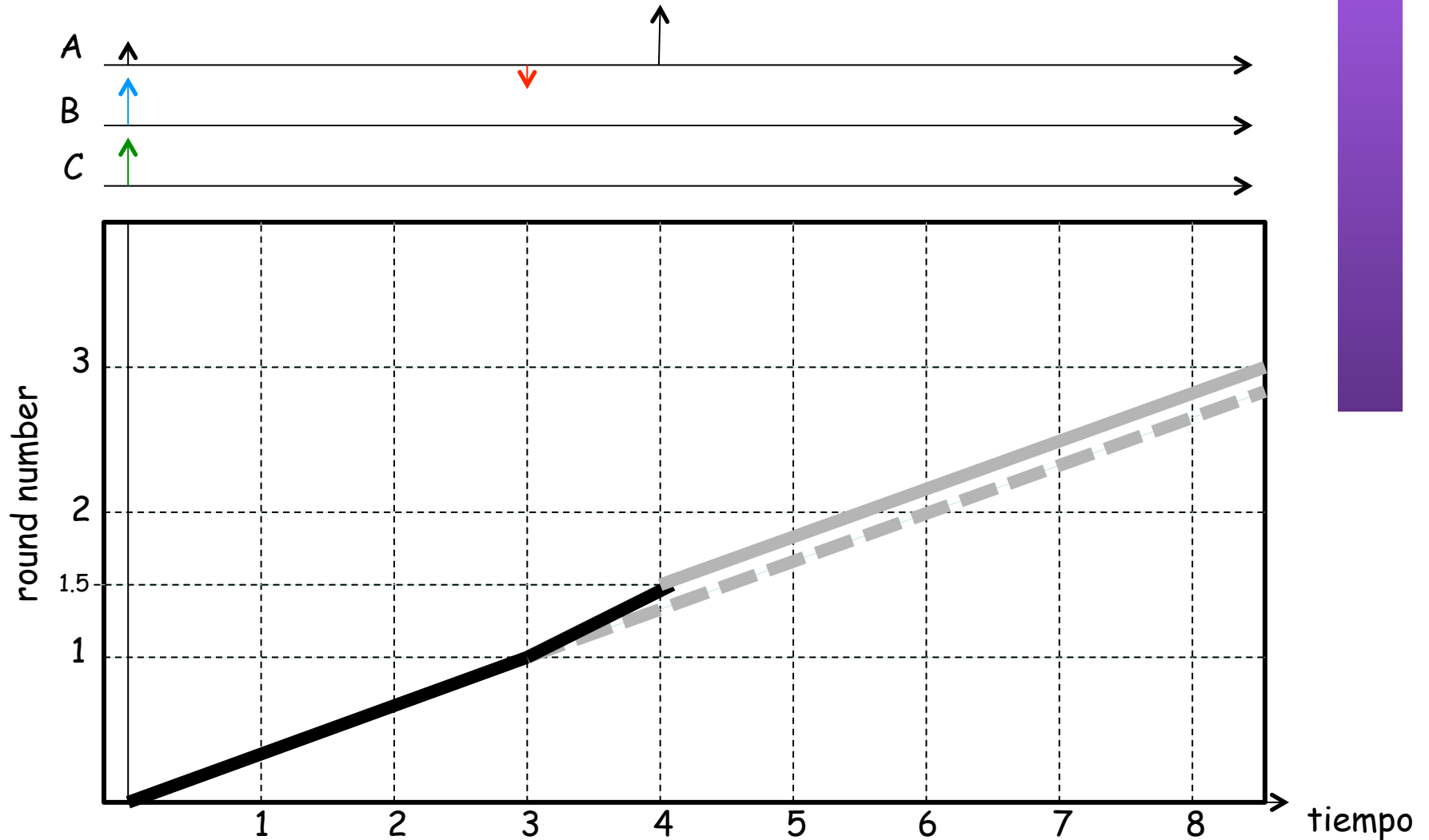
# WFQ (Ejemplo)

- B1 y B2 terminarían de enviarse al alcanzar round number = 2 (t = 5) pero llega antes A2



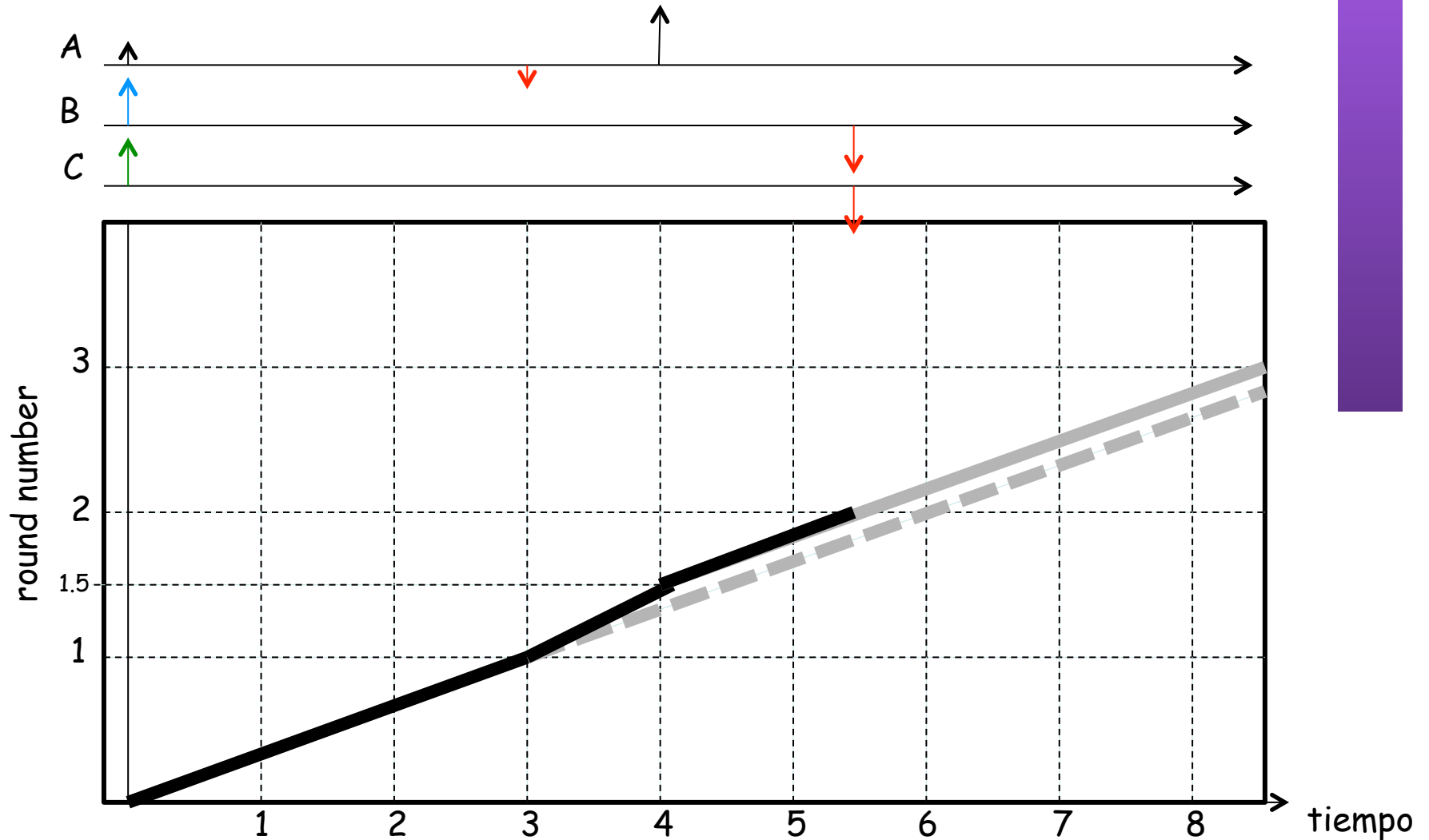
# WFQ (Ejemplo)

- Finish number de A2 es  $1.5 + 2 = 3.5$
- A partir de  $t=4$  vuelve a haber 3 flujos simultáneos



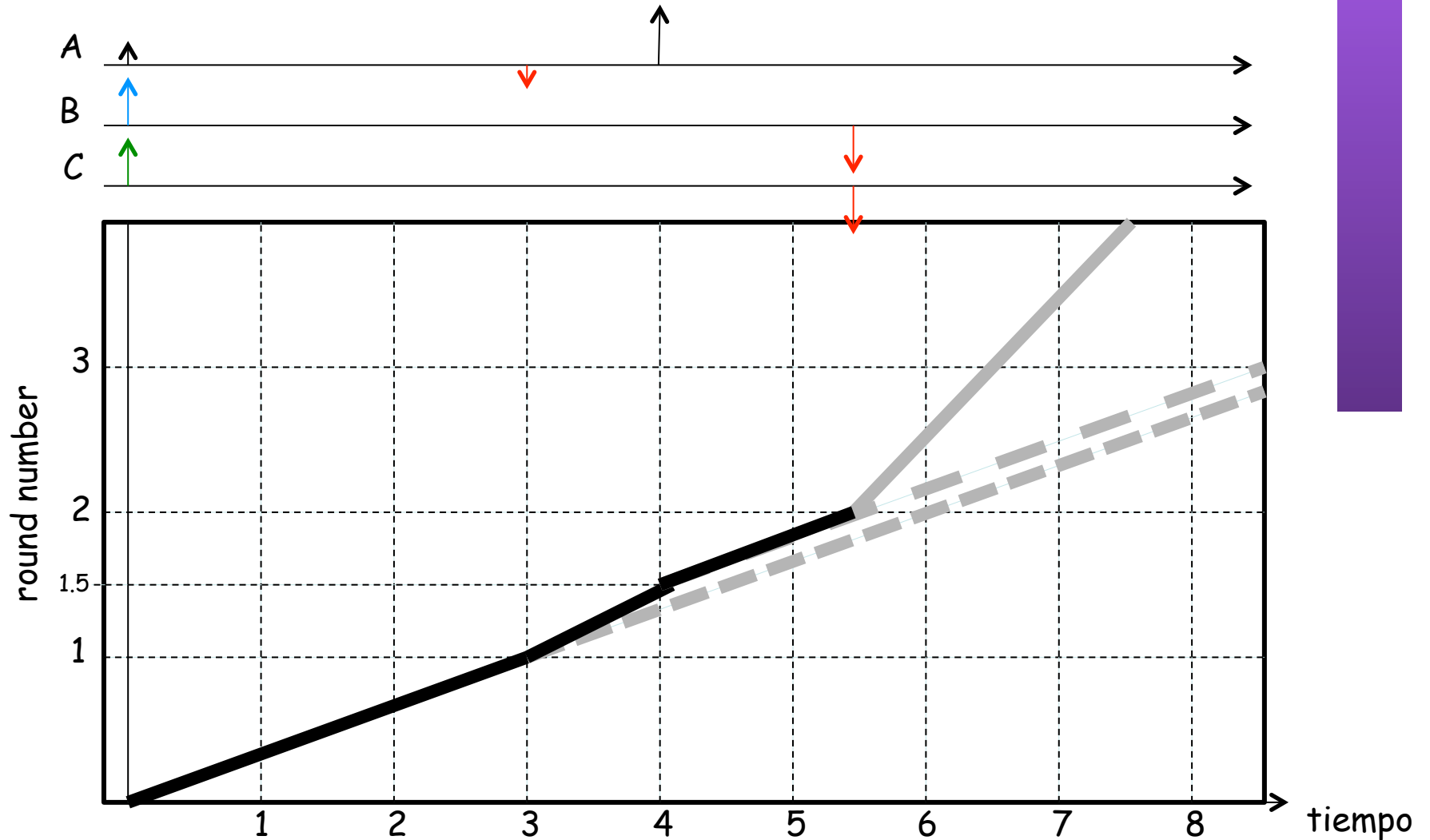
# WFQ (Ejemplo)

- Se alcanza el round number 2 en  $t = 4 + 0.5/(1/3) = 5.5$
- Entonces se completaría el envío GPS de B1 y C1



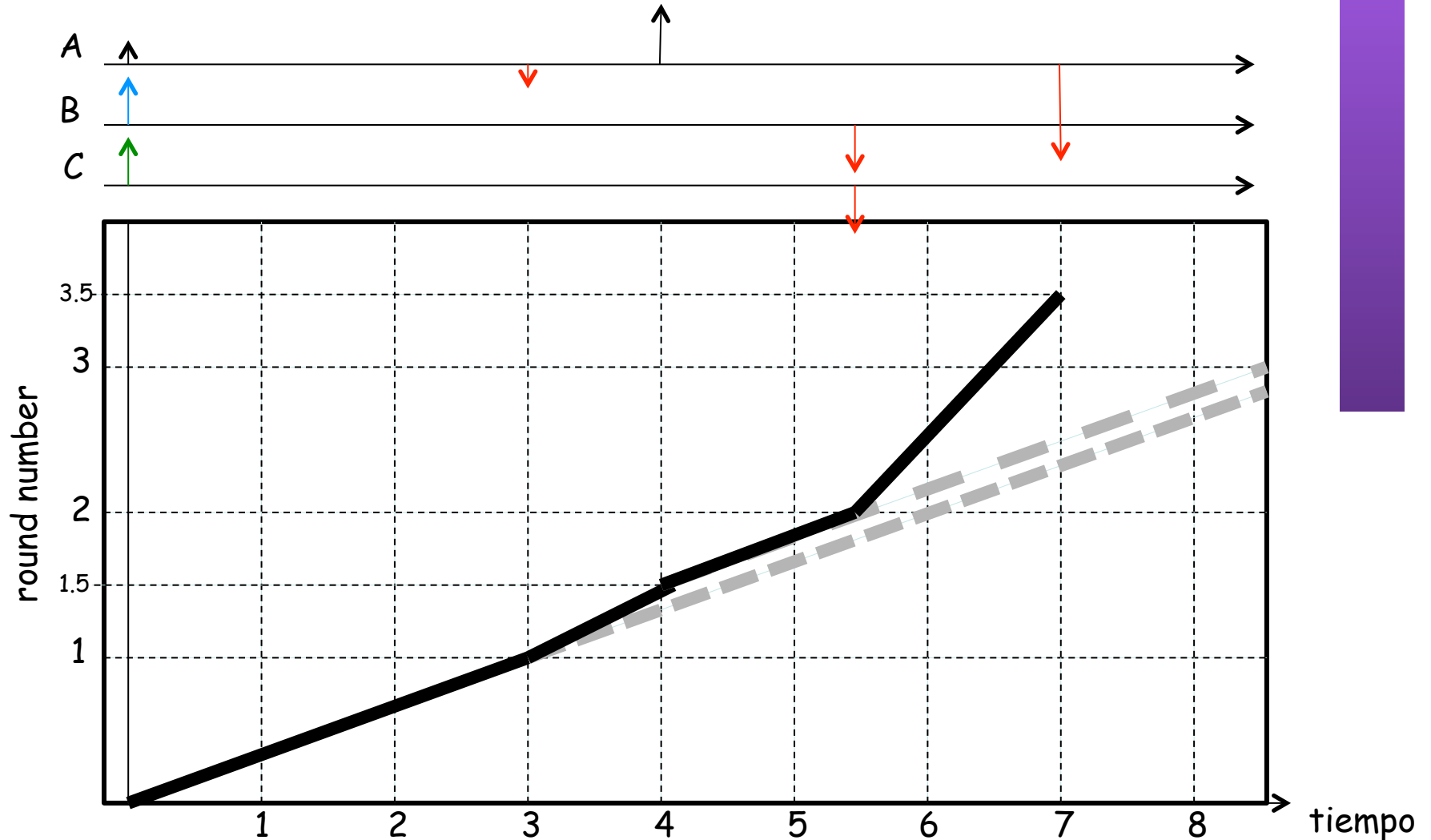
# WFQ (Ejemplo)

- Queda solo una fuente activa luego ahora se avanza a 1 round por unidad de tiempo



# WFQ (Ejemplo)

- Queda solo una fuente activa luego ahora se avanza a 1 round por unidad de tiempo
- En  $t = 7$  se alcanza el round number 3.5 y termina de enviarse A2



# WFQ

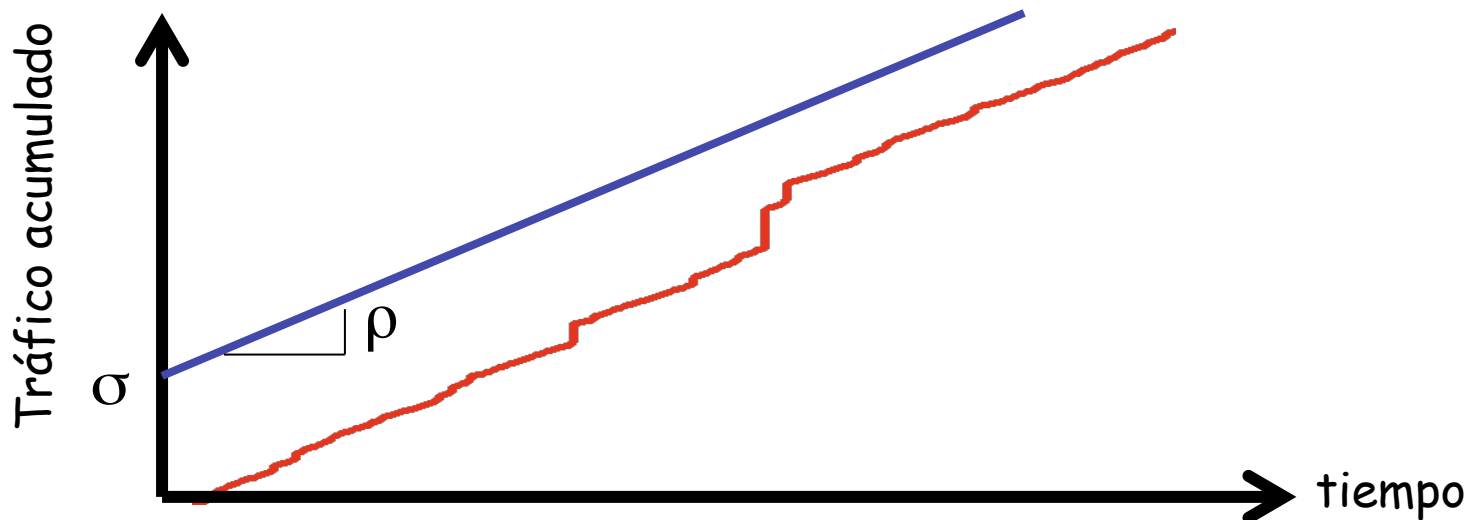
- Calcular el round number es complejo
- Hay que hacerlo para cada paquete que llega y por cada uno que se envía
- En el caso con pesos a la hora de calcular el finish number:
  - Si flujo inactivo: el *round number* actual + tamaño / peso
  - Si flujo activo:  $\max[F(i,k-1,t), \text{round\_number}] + \text{tamaño} / \text{peso}$
- y el round number se incrementa con el inverso de la suma de los pesos
- Existen variantes para simplificar este cálculo:
  - Self-Clocked Fair Queuing (SCFQ)
  - Start-Time Fair Queuing

# Cotas (*bounds*) en WFQ

- WFQ garantiza reparto weighted max-min fair
- Eso quiere decir que cada flujo recibe una asignación proporcional a su peso

$$c_i = C \frac{\phi(i)}{\sum \phi(i)}$$

- Además pone una cota al retardo máximo
- Supongamos un flujo con una restricción “sigma-ro” ( $\sigma, \rho$ ) :
  - En un intervalo  $t$  llegan como mucho  $\sigma + \rho t$  bits
  - Es la salida de un *token bucket*
  - *Linear Bounded Arrival Process* (LBAP)





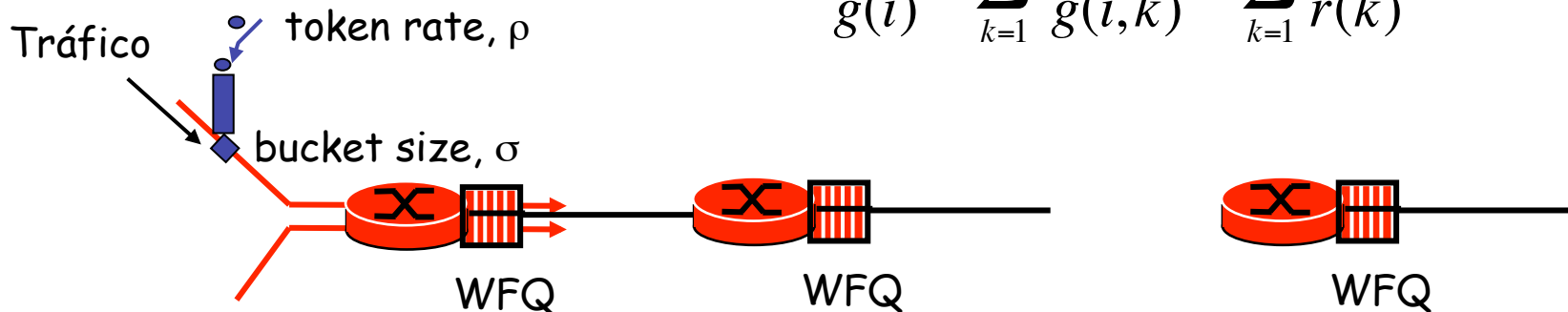
# Cotas (*bounds*) en WFQ

- Un flujo  $i$  con restricción  $(\sigma(i), \rho(i))$  (el resto puede no estar conformado)
- Camino con  $K$  saltos (todos WFQ)
- Se le ha asignado una tasa  $g(i,k)$  en cada uno:

$$g(i,k) = r(k) \frac{\phi(i,k)}{\sum_j \phi(j,k)} \quad r(k) \text{ link rate en enlace } k$$

- $g(i)$  es el mínimo de  $g(i,k)$  y  $g(i) \geq \rho(i)$
- $P_{\max}(i)$  es el mayor tamaño de paquete del flujo  $i$  y  $P_{\max}$  en la red
- Entonces el retardo extremo a extremo debido a encolado y transmisión en el peor caso es:

$$D^*(i) \leq \frac{\sigma(i)}{g(i)} + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{P_{\max}(i)}{g(i,k)} + \sum_{k=1}^K \frac{P_{\max}}{r(k)}$$



# Cotas (*bounds*) en WFQ

- Podemos garantizar un retardo máximo extremo a extremo
- Planificadores WFQ en todo el camino
- Requiere que el flujo esté conformado por un leaky bucket
- No se imponen restricciones al resto de flujos en la red
- Solo hay que seleccionar los valores adecuados de reserva de BW en los enlaces
- **Ejemplo**
  - (...)

$$D^*(i) \leq \frac{\sigma(i)}{g(i)} + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{P_{\max}(i)}{g(i,k)} + \sum_{k=1}^K \frac{P_{\max}}{r(k)}$$

# Cotas (*bounds*) en WFQ

- Podemos garantizar un retardo máximo extremo a extremo
- Planificadores WFQ en todo el camino
- Requiere que el flujo esté conformado por un leaky bucket
- No se impone restricciones al resto de flujos en la red
- Solo hay que seleccionar los valores adecuados de reserva de BW en los enlaces

$$D^*(i) \leq \frac{\sigma(i)}{g(i)} + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{P_{\max}(i)}{g(i,k)} + \sum_{k=1}^K \frac{P_{\max}}{r(k)}$$

- **Ejemplo**

- Flujo LBAP con parámetros (16 KBytes, 150 Kbps)
- K = 10 saltos, todos a 45 Mbps, retardo de propagación total de 30ms
- Máximo tamaño de paquete de 8 KBytes
- Queremos un retardo extremo-a-extremo máximo de 100 ms
- (...)

# Cotas (*bounds*) en WFQ

- Podemos garantizar un retardo máximo extremo a extremo
- Planificadores WFQ en todo el camino
- Requiere que el flujo esté conformado por un leaky bucket
- No se impone restricciones al resto de flujos en la red
- Solo hay que seleccionar los valores adecuados de reserva de BW en los enlaces

$$D^*(i) \leq \frac{\sigma(i)}{g(i)} + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{P_{\max}(i)}{g(i,k)} + \sum_{k=1}^K \frac{P_{\max}}{r(k)}$$

- **Ejemplo**

- Flujo LBAP con parámetros (16 KBytes, 150 Kbps)
- K = 10 saltos, todos a 45 Mbps, retardo de propagación total de 30ms
- Máximo tamaño de paquete de 8 KBytes
- Queremos un retardo extremo-a-extremo máximo de 100 ms
- Entonces retardo máximo de 100 - 30 = 70 ms

- (...) 
$$\frac{16 * 1024 * 8}{g} + 9 * \frac{8 * 1024 * 8}{g} + 10 * \frac{8 * 1024 * 8}{45 * 10^6} \leq 70 * 10^{-3}$$

# Cotas (*bounds*) en WFQ

- Podemos garantizar un retardo máximo extremo a extremo
- Planificadores WFQ en todo el camino
- Requiere que el flujo esté conformado por un leaky bucket
- No se impone restricciones al resto de flujos en la red
- Solo hay que seleccionar los valores adecuados de reserva de BW en los enlaces

$$D^*(i) \leq \frac{\sigma(i)}{g(i)} + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{P_{\max}(i)}{g(i,k)} + \sum_{k=1}^K \frac{P_{\max}}{r(k)}$$

- **Ejemplo**

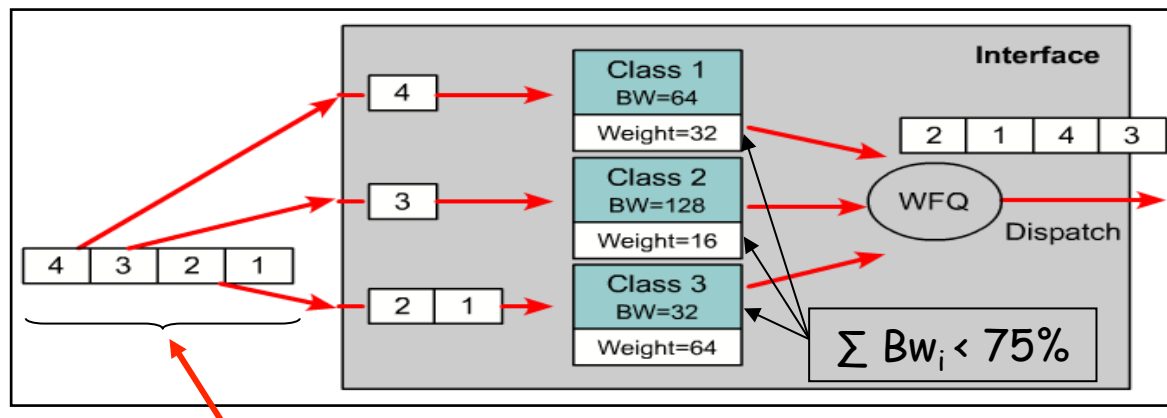
- Flujo LBAP con parámetros (16 KBytes, 150 Kbps)
- K = 10 saltos, todos a 45 Mbps, retardo de propagación total de 30ms
- Máximo tamaño de paquete de 8 KBytes
- Queremos un retardo extremo-a-extremo máximo de 100 ms
- Entonces retardo máximo de 100 - 30 = 70 ms

$$\frac{16 * 1024 * 8}{g} + 9 * \frac{8 * 1024 * 8}{g} + 10 * \frac{8 * 1024 * 8}{45 * 10^6} \leq 70 * 10^{-3}$$

- $g \geq 13.004$  Mbps !!
- El segundo término contribuye en 45.4 ms y el tercero en 14.5 ms
- El término  $\sigma/\rho$  solo contribuye en torno a 10.07 ms
- Al haber paquetes grandes tienen un gran efecto en el retardo de caso peor

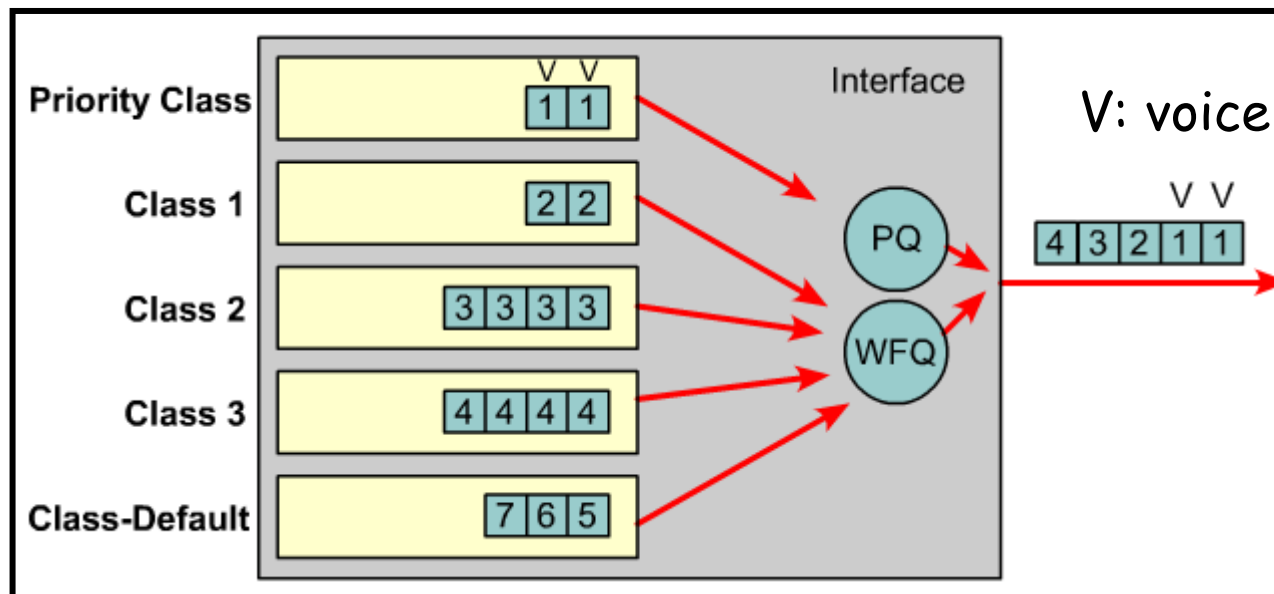
# Típica implementación de WFQ

- Cada flujo es una “conversación” reconocida por info. de layer 3 (direcciones IP, precedencia) y de layer 4 (puertos)
- Pesos en función de los bits de precedencia de los paquetes
- No requiere configuración
- No escala (una cola por conversación)
- CBWFQ
  - *Class Based WFQ*
  - Especificar los filtros (clases) que determinan los paquetes que van a cada cola (una por clase, no por flujo)
  - Especificar peso para cada cola



# Low Latency Queueing (LLQ)

- Añade una PQ (*Priority Queue*) a CBWFQ = PQ-CBWFQ = LLQ
- Recomendable para tráfico multimedia (VoIP): bajo retardo y jitter.
- Aunque WFQ puede acotar retardo lo habitual para tráfico con requisitos estrictos de bajo retardo es usar una cola de prioridad
- Se puede configurar junto al resto de colas CBWFQ como una cola más asociada a una clase determinada.

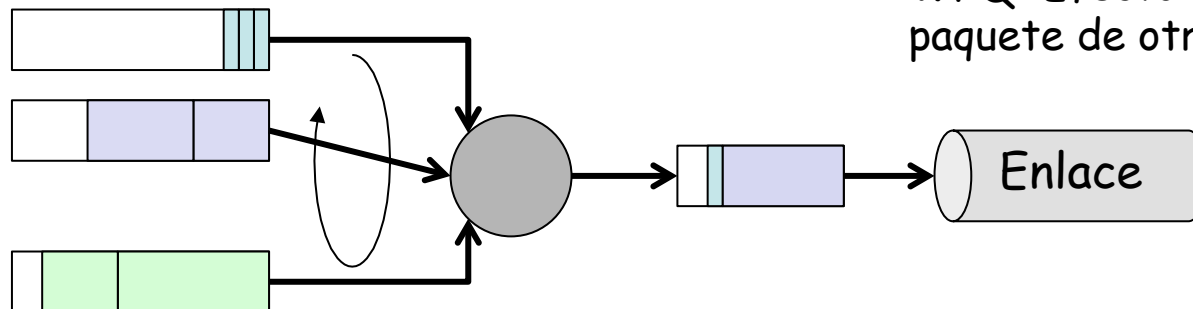


# Cola en el interfaz

- Normalmente el planificador no envía los paquetes directamente al enlace
- Los envía a una cola del interfaz hardware
- Esta cola permite maximizar el throughput en el interfaz
- Es una cola FIFO: “interface FIFO” o “transmit ring buffer” o “tx-ring”
- Entre el scheduler y la cola se emplea un control de flujo para que no se desborde el tx-ring
- Incluso un paquete con prioridad se encola ahí
- El tamaño suele estar en torno a 1-2 MTUs
- Puede introducir un retardo significativo en enlaces de muy baja velocidad
- Básicamente es el problema de que llegue un paquete de alta prioridad cuando se está transmitiendo uno de baja prioridad (...)

$$D^*(i) \leq \frac{\sigma(i)}{g(i)} + \sum_{k=1}^K \frac{P_{\max}(i)}{g(i,k)} + \sum_{k=1}^K \frac{P_{\max}}{r(k)}$$

WFQ: Efecto de encontrar paquete de otra clase delante





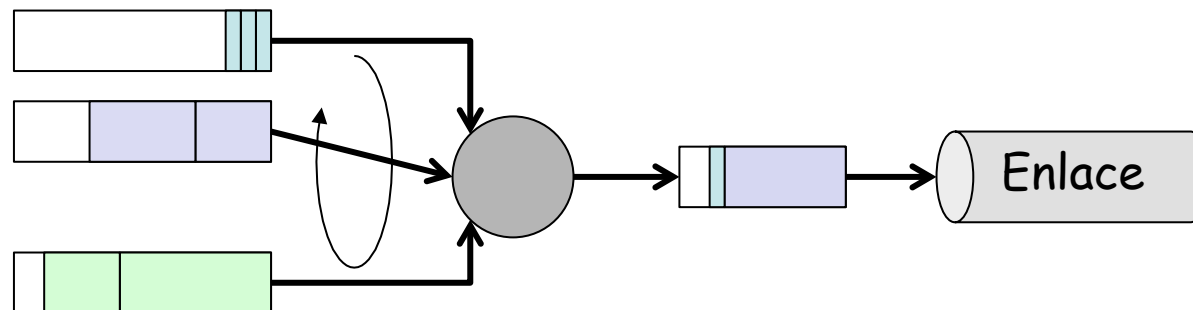
# Link Fragment and Interleaving (LFI)

## Problema:

- Llega paquete IP a su cola de alta prioridad (estando ésta vacía)
- Mientras está saliendo otro paquete de clase con menor prioridad
- Retardo máximo producido si el paquete es de 1500 bytes y la línea de 256Kbps:

$$(1500 \cdot 8) \text{ bits} / 256 \text{ Kbps} = 46.8 \text{ ms!}$$

	64Bytes	1024Bytes	1500Bytes
<b>128Kbps</b>	4 ms	64 ms	93 ms
<b>256Kbps</b>	2 ms	32 ms	46 ms
<b>512Kbps</b>	1 ms	16 ms	23 ms
<b>768Kbps</b>	0.64 ms	10.2 ms	15 ms
<b>1Mbps</b>	0.51 ms	8.19 ms	12 ms

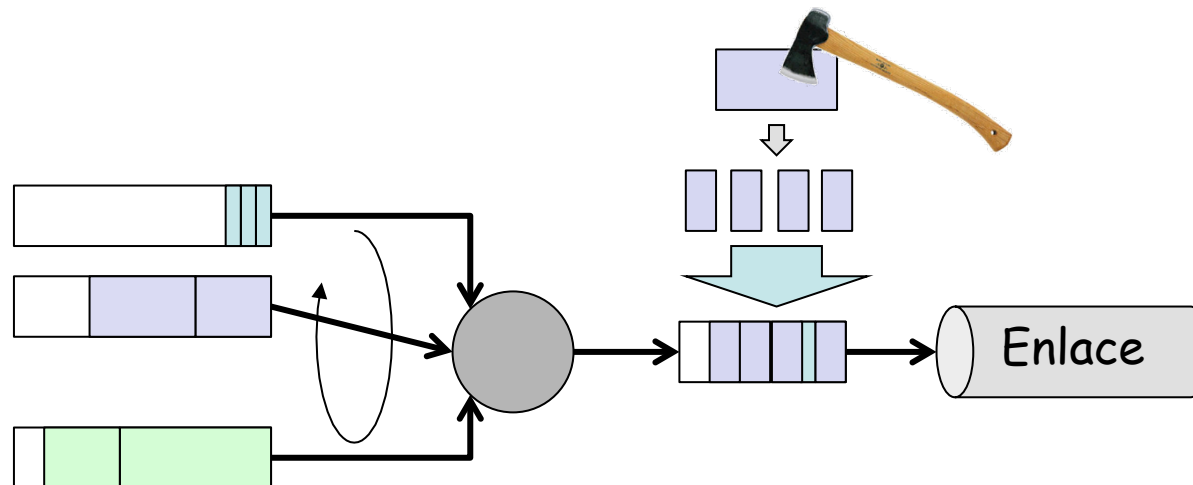


# Link Fragment and Interleaving (LFI)

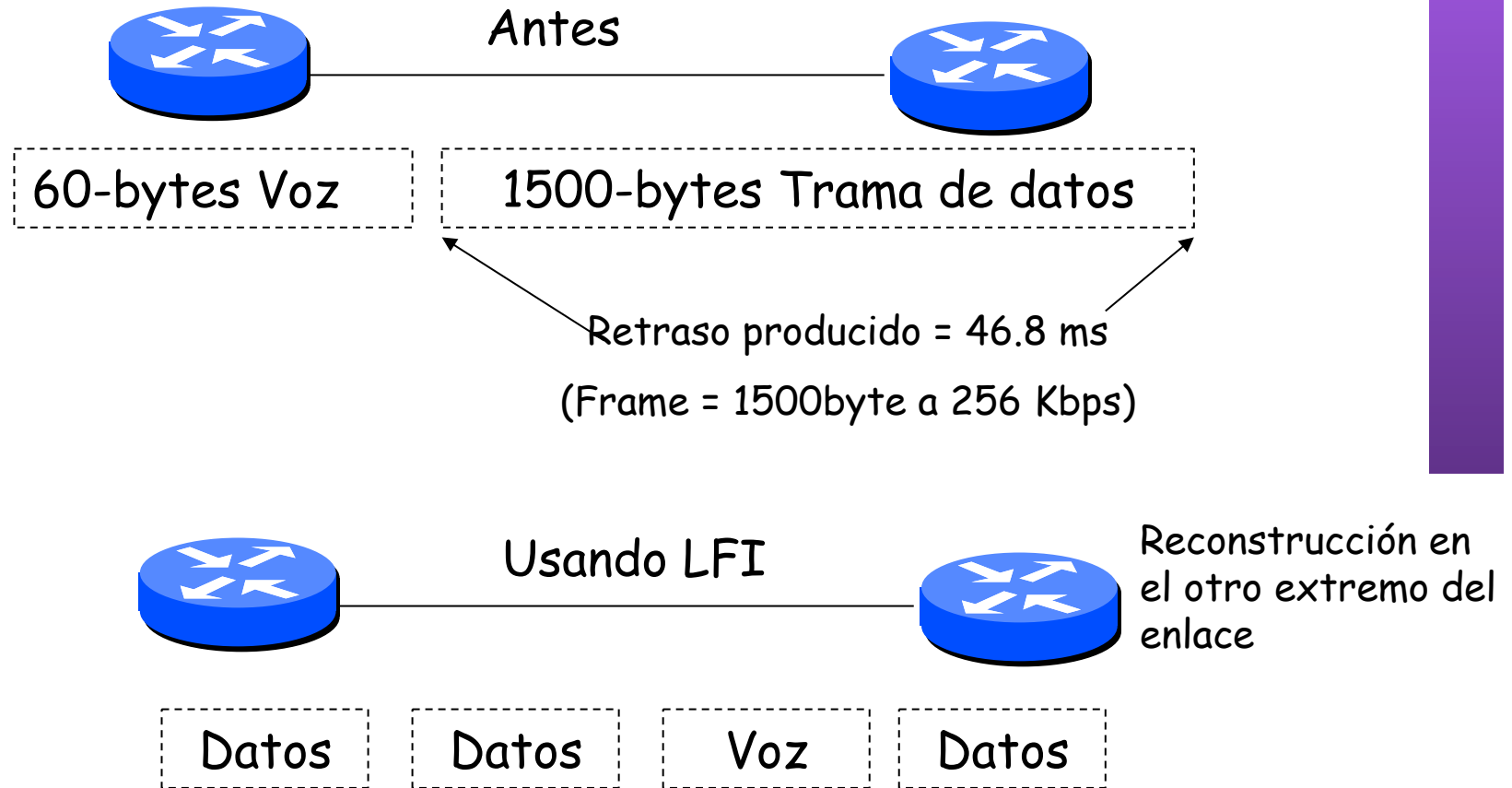
## Solución:

- Fragmentar los paquetes de datos
- Ej.: límite fragmentos “de 10ms”
- Es decir, tamaño de un paquete igual a máximo que se pueda enviar en 10 ms
- Insertar paquete de VoIP entre estos paquetes
- Asegura un retraso mucho menor
- Los paquetes VoIP no deben fragmentarse

	64Bytes	1024Bytes	1500Bytes
<b>128Kbps</b>	4 ms	64 ms	93 ms
<b>256Kbps</b>	2 ms	32 ms	46 ms
<b>512Kbps</b>	1 ms	16 ms	23 ms
<b>768Kbps</b>	0.64 ms	10.2 ms	15 ms
<b>1Mbps</b>	0.51 ms	8.19 ms	12 ms



# Ejemplo de uso de LFI



# Resumen

- Weighted Fair Queueing
- Worst case bounds

# *Scheduling (3)*

*Área de Ingeniería Telemática*  
<http://www.tlm.unavarra.es>

*Máster en Comunicaciones*