TCP

Transporte fiable en Internet

Area de Ingeniería Telemática
http://www.tlm.unavarra.es

Redes
4º Ingeniería Informática

Hoy...

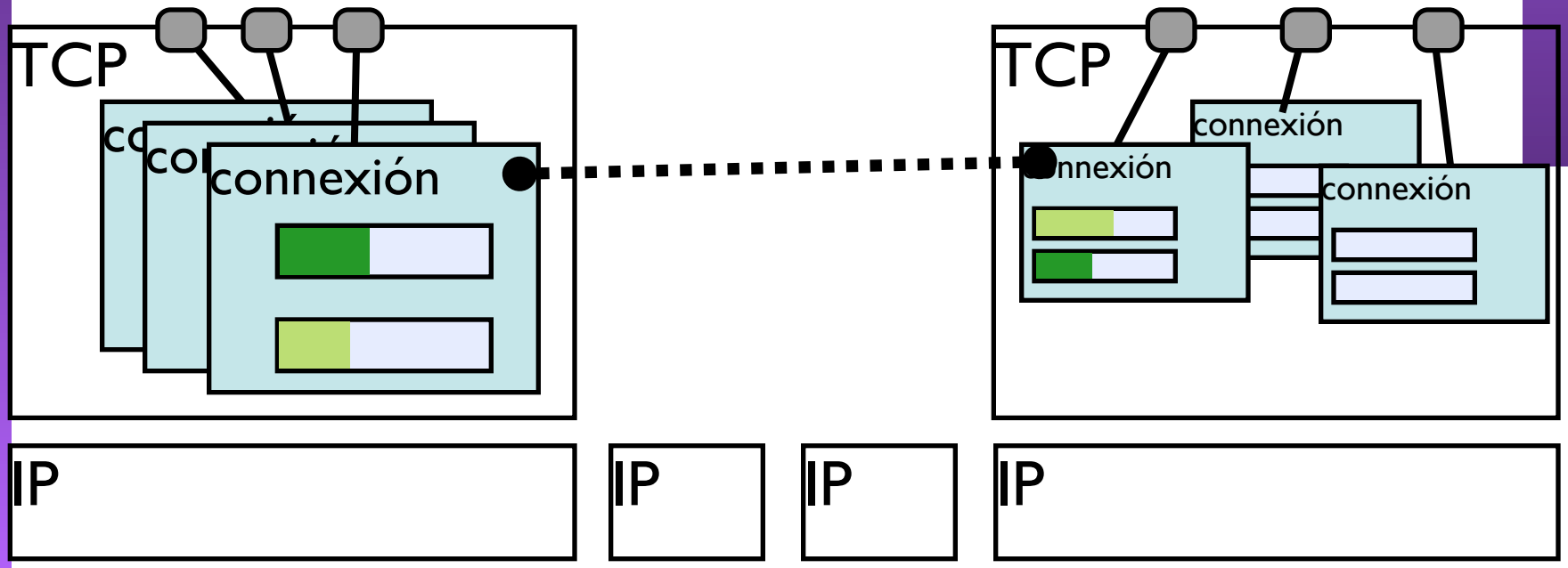
1. Introducción a las redes
2. Tecnologías para redes de área local
3. Conmutación de circuitos
4. Tecnologías para redes de área extensa y última milla
5. Encaminamiento
6. Arquitectura de conmutadores de paquetes
7. Control de acceso al medio
8. **Transporte extremo a extremo**

TCP

- Protocolo de transporte de Internet (RFC 793)
- Transporte fiable
  - Entrega garantizada
  - Entrega en orden
- Orientado a conexión
  - Stream bidireccional (como si fuera un fichero) entre los dos extremos
  - No mantiene las fronteras de los mensajes
- Con control de flujo y congestión

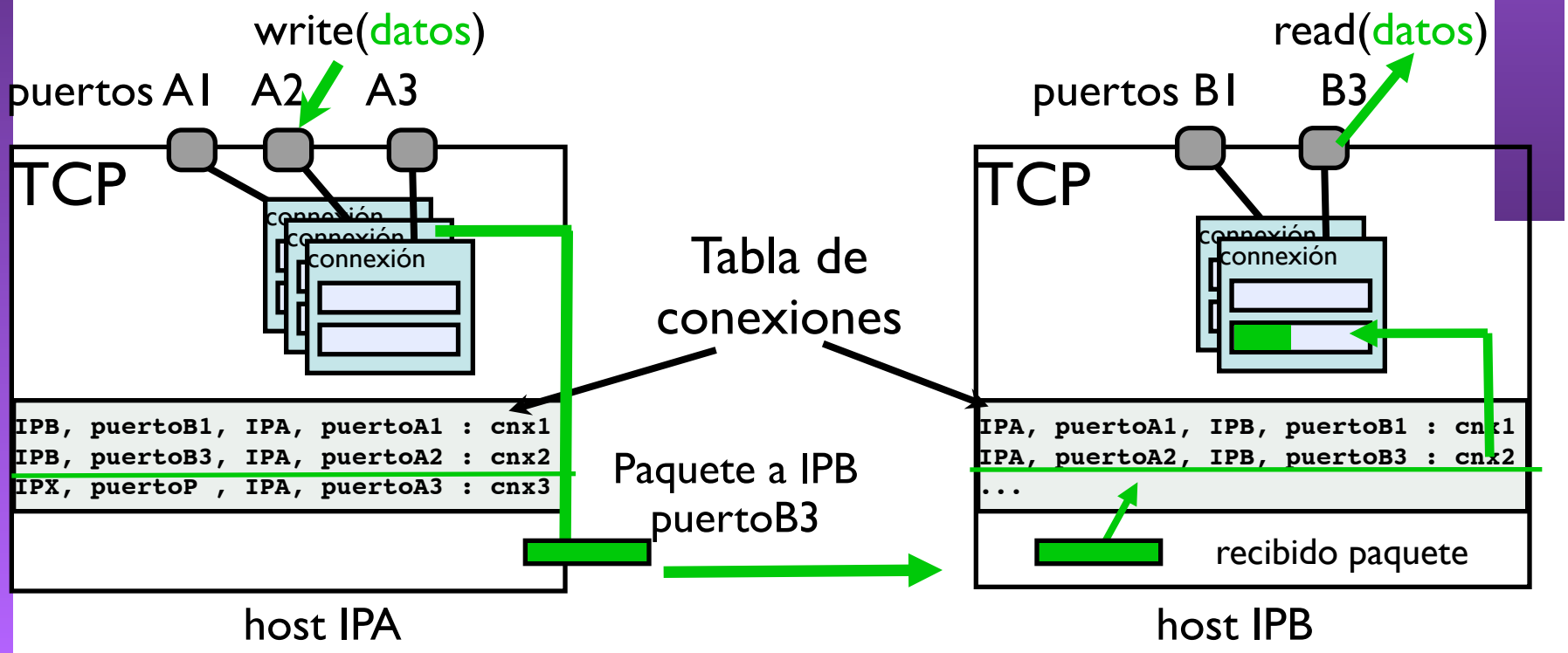
TCP

- Interfaz con el nivel de aplicación
  - Tras establecer una conexión proporciona un stream bidireccional entre sockets
  - Sin fronteras entre mensajes
  - 2 buffers por conexión
    - Escribir en el socket pone los datos en buffer de envio
    - Buffer de recepción para esperar el read()



TCP

- Demultiplexación de datos que llegan a TCP:
  - Se identifica al socket destino por la tupla (IP origen, puerto origen, IP destino, puerto destino)
  - La tabla de tuplas (ip,puerto,ip,puerto) con sus sockets de un nivel TCP es la tabla de conexiónes.
- La conexión sólo existe en los extremos TCP

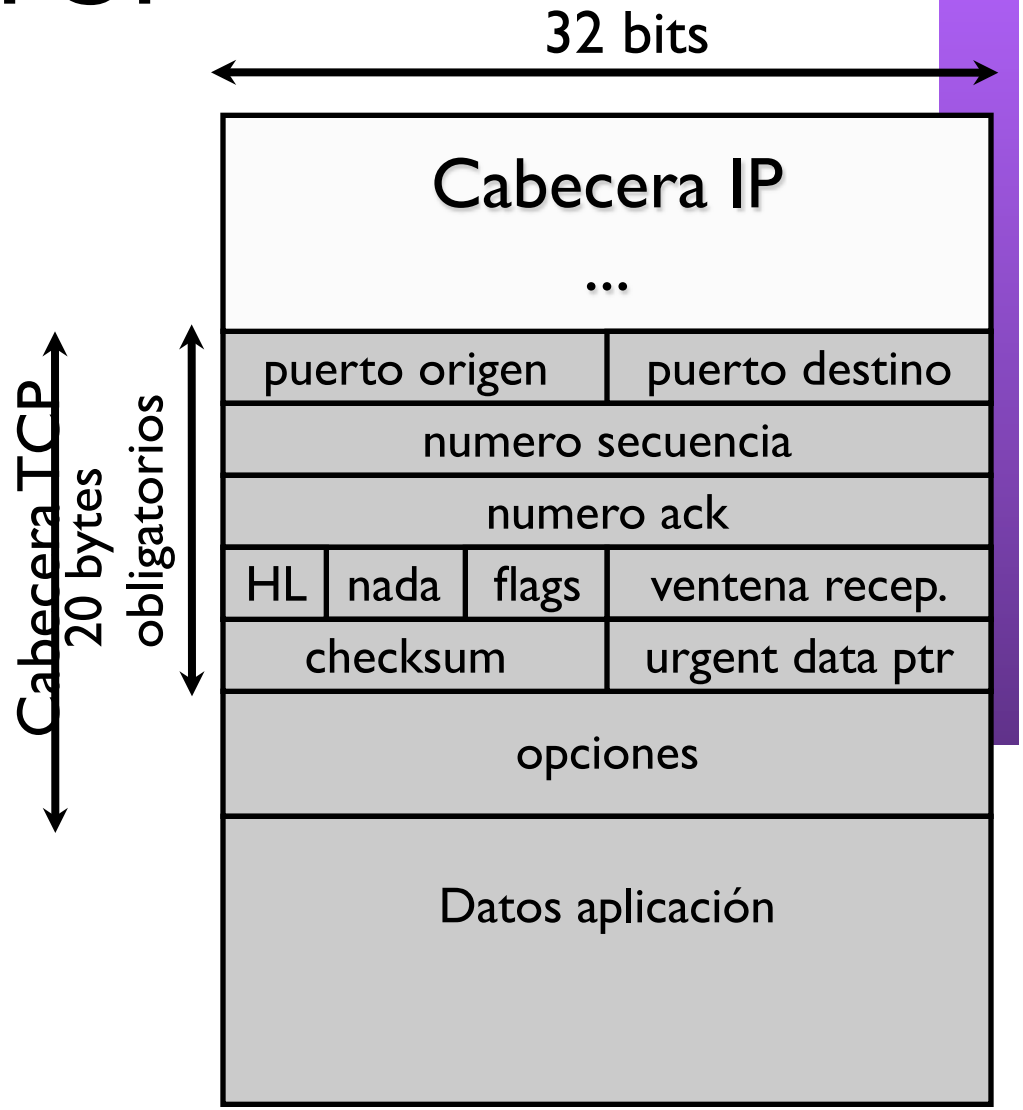


TCP

- Los buffers aislan a TCP de las operaciónes del usuario.
  - TCP hará lo posible por enviar los datos cuando pueda
  - TCP colocara los datos en el buffer de recepción cuando lleguen
- Para realizar esto TCP necesitara un conjunto de mensajes para comunicarse con el TCP del otro lado
  - Mensajes de establecimiento y cierre de conexión
  - Mensajes de datos
  - Mensajes con ACKs
- Veamos los mensajes del protocolo TCP

TCP

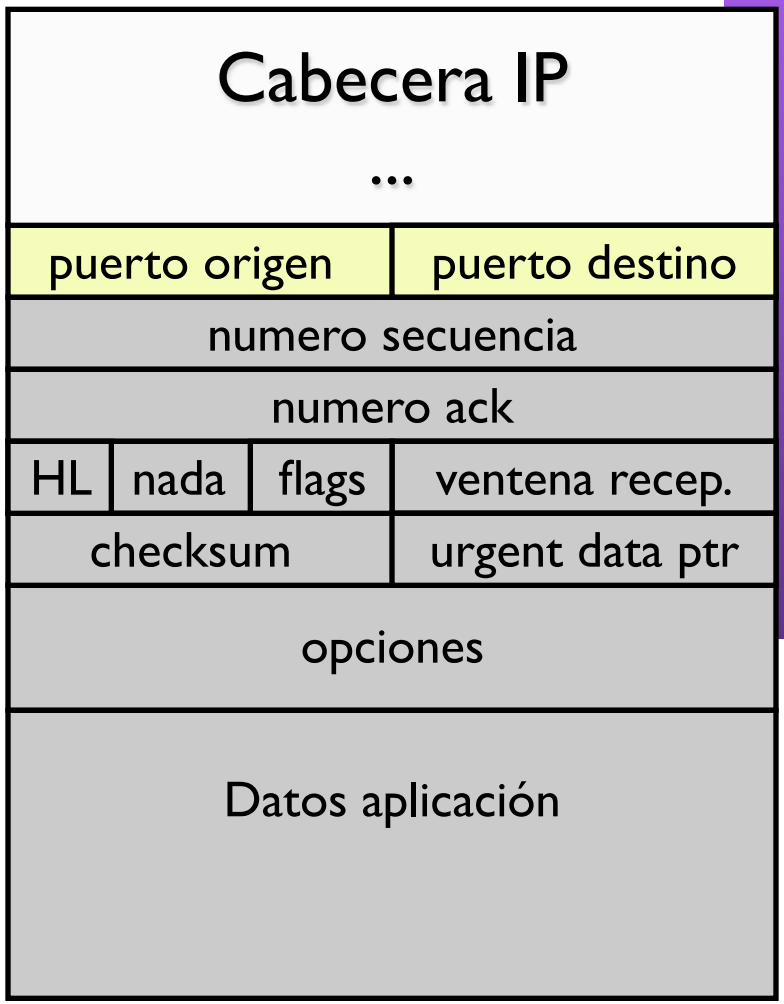
- Segmento TCP
- Cabecera de tamaño variable
  - 20 hasta 60 bytes según las opciones
- Datos del nivel de aplicación



TCP

Contenido

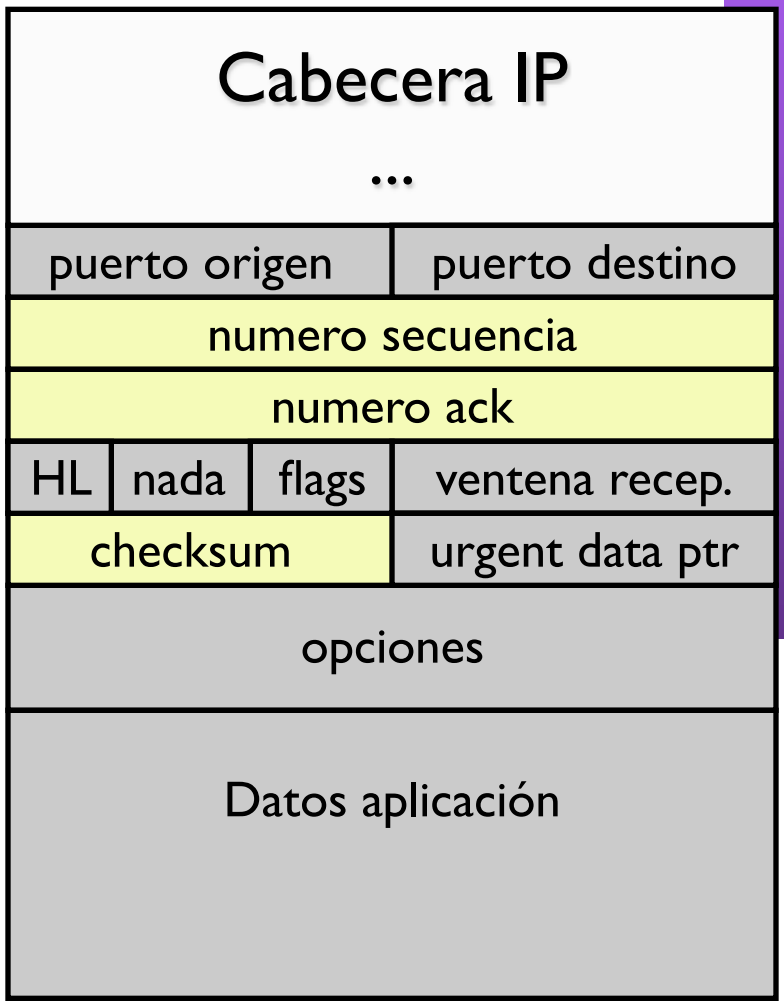
- Datos de multiplexación
  - Puerto origen
  - Puerto destino



TCP

Contenido

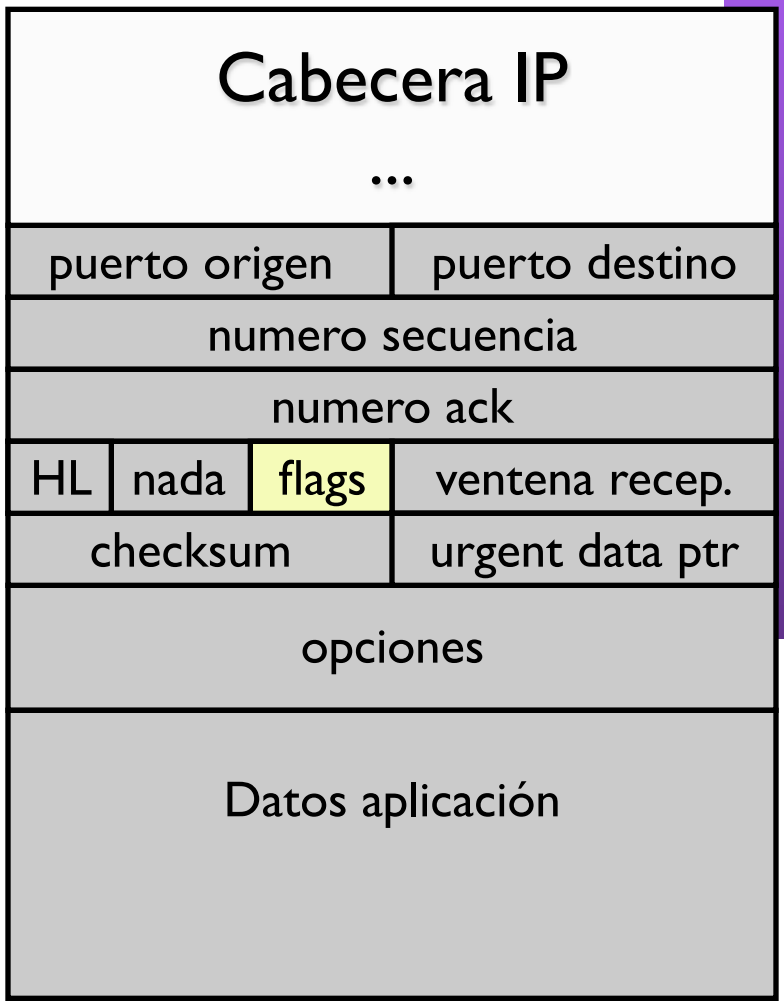
- Datos para transporte fiable
  - Número de secuencia
  - Número de ACK
  - Checksum
    Cabecera + datos de application + algunos datos de IP (pseudo cabecera como en UDP)
- En un mismo paquete podemos mandar datos y confirmar datos del sentido contrario



TCP

Contenido

- FLAGs: diferentes tipos de paquetes del protocolo
  - URG urgente
  - ACK acknowledgement
  - PSH push
  - RST reset
  - SYN syn
  - FIN fin

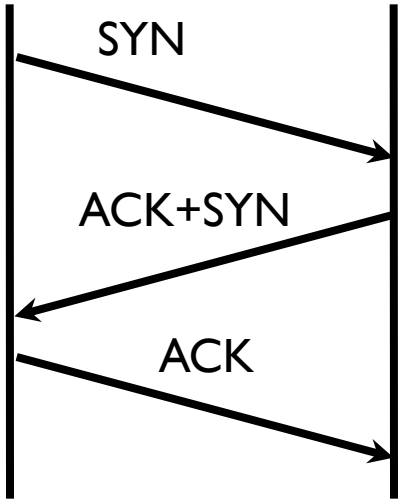


TCP: conexiones

- TCP es orientado a conexión
- Previamente a comunicarse datos entre un emisor y un receptor deben negociar un establecimiento de conexión.
  - TCP inicializa sus variables para la conexión y crea los buffers
  - Esto se hace mediante los paquetes que utilizan los flags SYN, FIN y RST
  - Protocolo para establecer la conexión
  - Protocolo para liberar la conexión

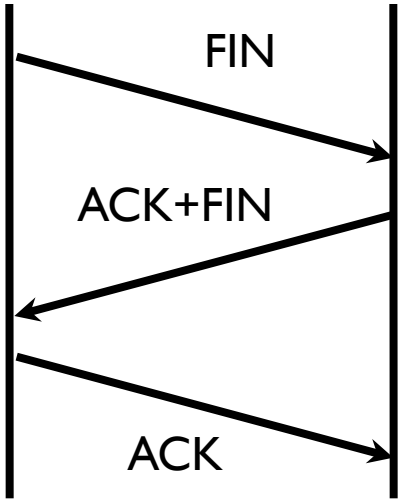
TCP: establecimiento de conexión

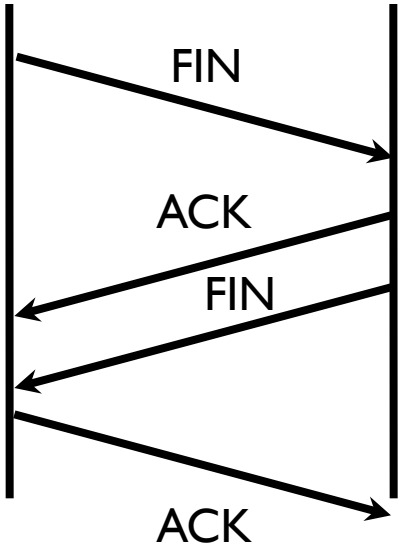
- Mecanismo: Three way handshake
  - Lado cliente (socket que hace connect)
  - envía un paquete sin datos con el flag **SYN**
  - Establece el numero de secuencia inicial
  - Lado servidor (socket que hace accept)
  - responde con un paquete sin datos con **ACK y SYN**
  - Establece el numero de secuencia inicial
  - Lado cliente confirma este paquete con un **ACK**
  - Este paquete ya puede llevar datos
  - Al recibir el ACK el servidor puede enviar ya datos
  - Los SYNs gastan un número de secuencia para poder confirmarse con ACKs



Cierre de la conexión

- Cualquiera de los dos extremos puede iniciarlo
  - Envía un paquete sin datos con el flag **FIN**. Consume también un número de secuencia
  - El otro extremo, confirma enviando un **ACK** e indica que cierra también con otro FIN. Este segundo **FIN** puede ir en el mismo paquete o en otro.
  - El extremo original confirma con un **ACK**

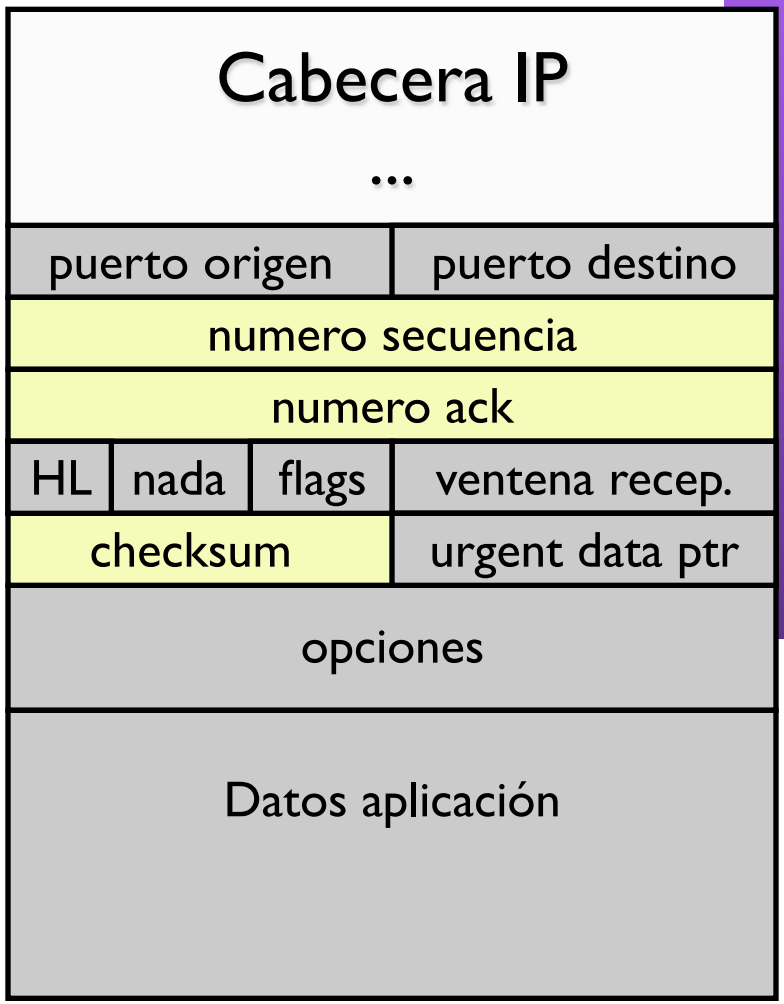




TCP

Contenido

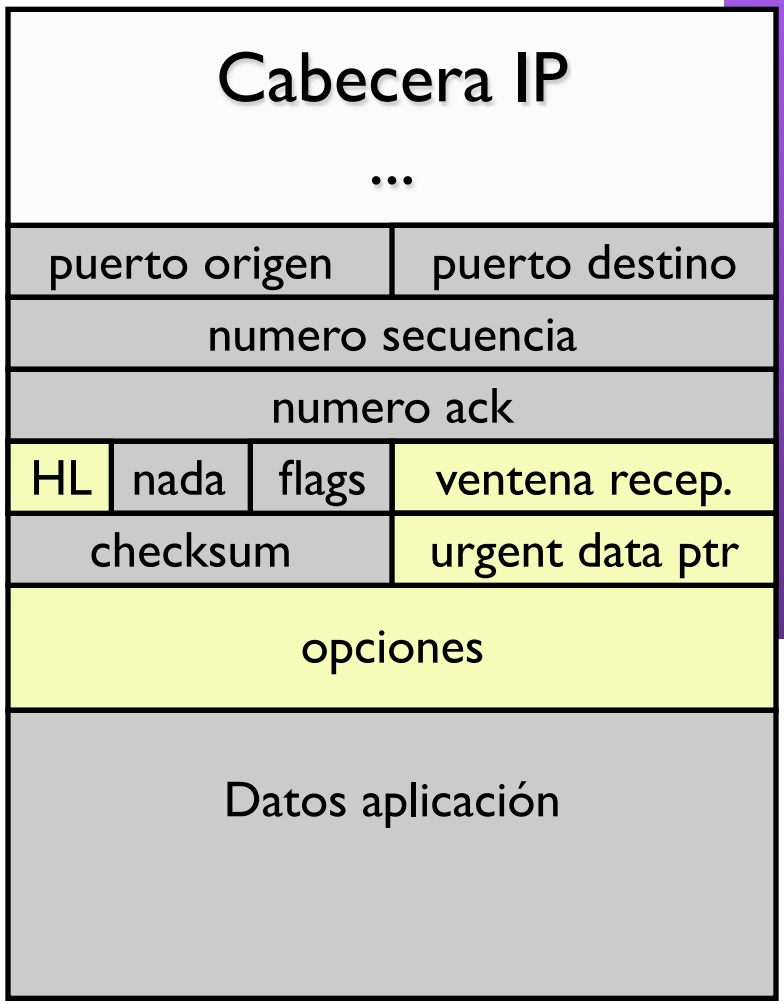
- Datos para transporte fiable
  - Número de secuencia
  - Número de ACK
  - Checksum
    Cabecera + datos de application + algunos datos de IP (pseudo cabecera como en UDP)
- En un mismo paquete podemos mandar datos y confirmar datos del sentido contrario



TCP

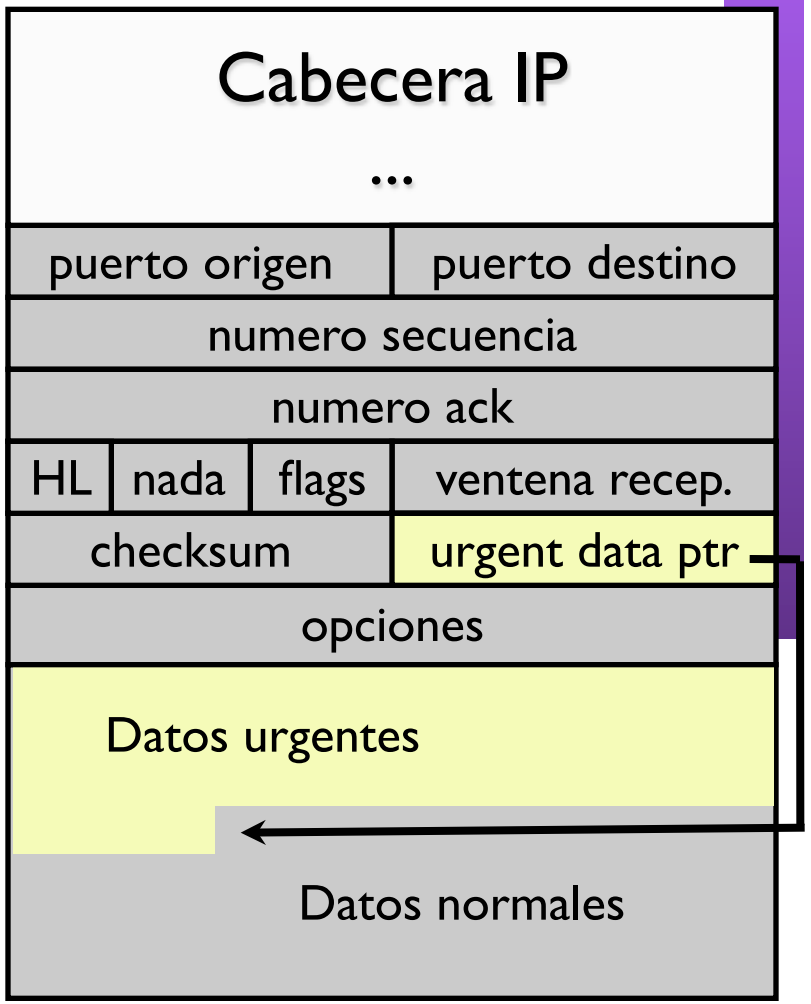
Contenido

- Ventana de recepción
- Datos urgentes
- HL (header length)
  - Tamaño de la cabecera (en palabras de 4 bytes)
  - 4 bits de de 5 a 15 palabras
    de 20 a 60 bytes
- Opciones extras



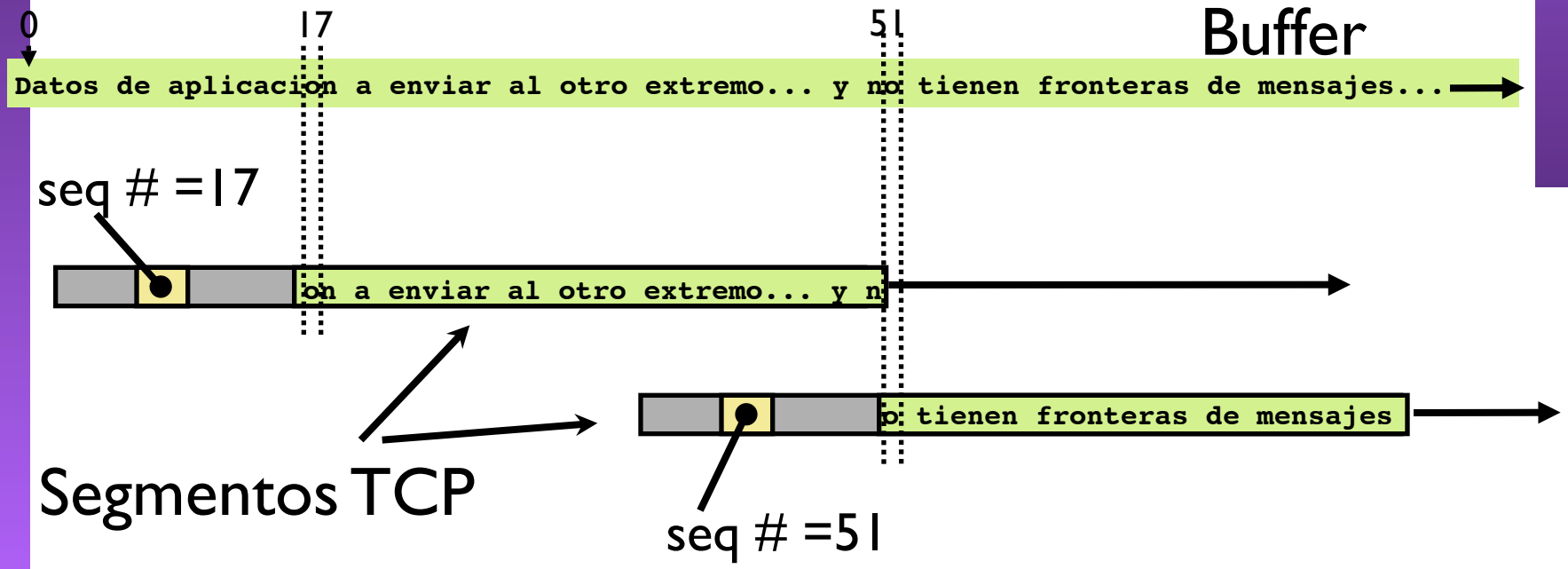
Datos urgentes

- Si URG está activado.
  - El paquete lleva datos urgentes.
    Canal de datos Out-of-band
  - El puntero urgente indica donde acaban los datos urgentes
  - Los datos normales se entregan normalmente en el buffer para la aplicación
  - Los datos urgentes se entregan aparte
- No se usa mucho



TCP: envío de datos

- Los bytes a enviar se colocan en el buffer y forman una corriente de bytes sin fronteras de paquetes
- TCP envia los datos en paquetes de un tamaño determinado por la variable MSS (Maximum Segment Size) que se negocia en el establecimiento de conexión
- El número de secuencia (y el numero de ACK) hacen referencia al primer byte del paquete en la secuencia global

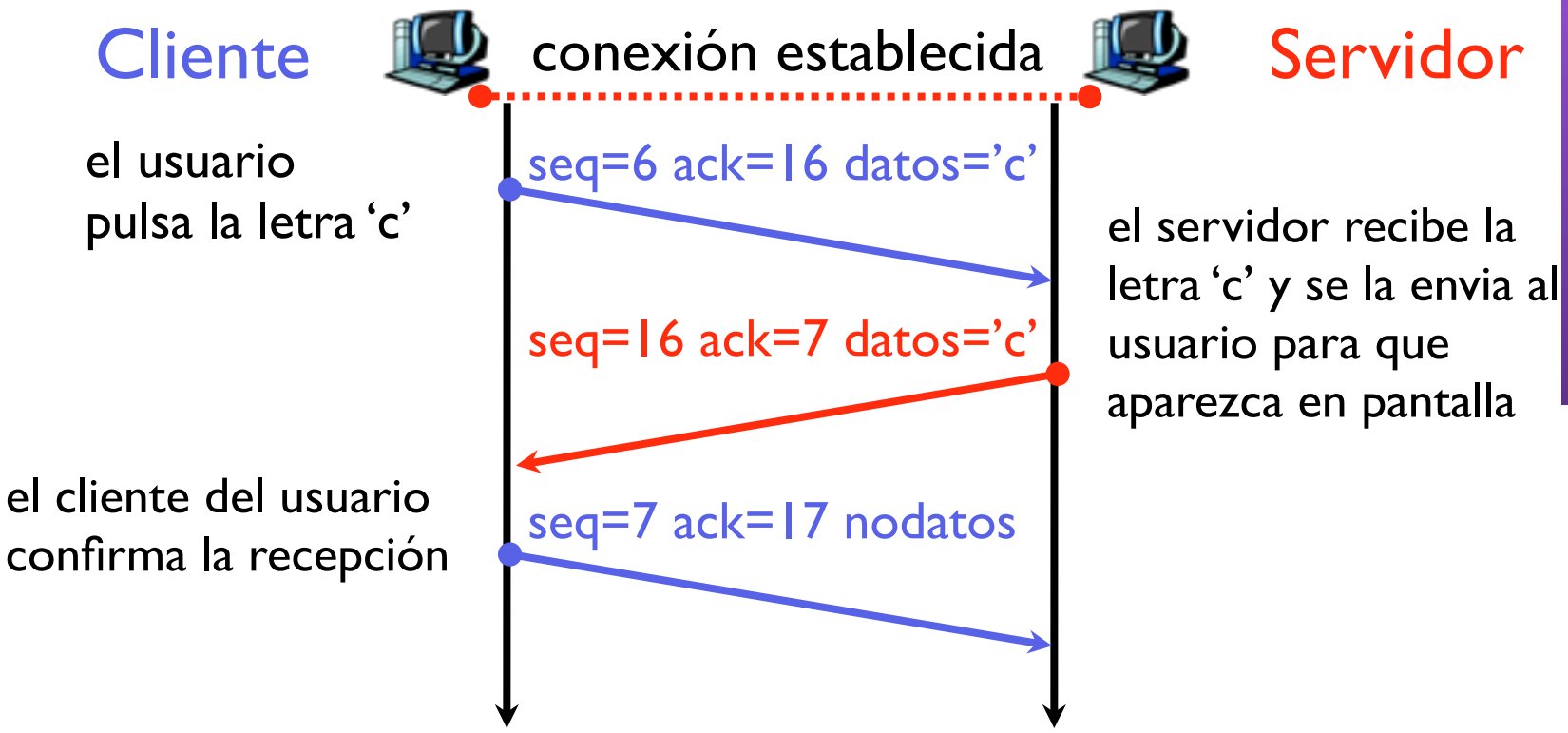


TCP: envío de datos

- Secuencia y ACK: campos de 32 bits
  - 4 GB de datos antes de dar la vuelta
  - La secuencia no empieza de 0 sino que se genera al azar al principio de cada conexión y para cada sentido
- El campo ACK
  - es valido si esta activado el flag ACK
  - indica la próxima secuencia que el receptor espera recibir
    cumulative ACK: tipo Go back N a nivel de byte
- Si una conexión está transmitiendo en ambos sentidos los ACKs de un sentido van en los paquetes de datos del opuesto piggyback

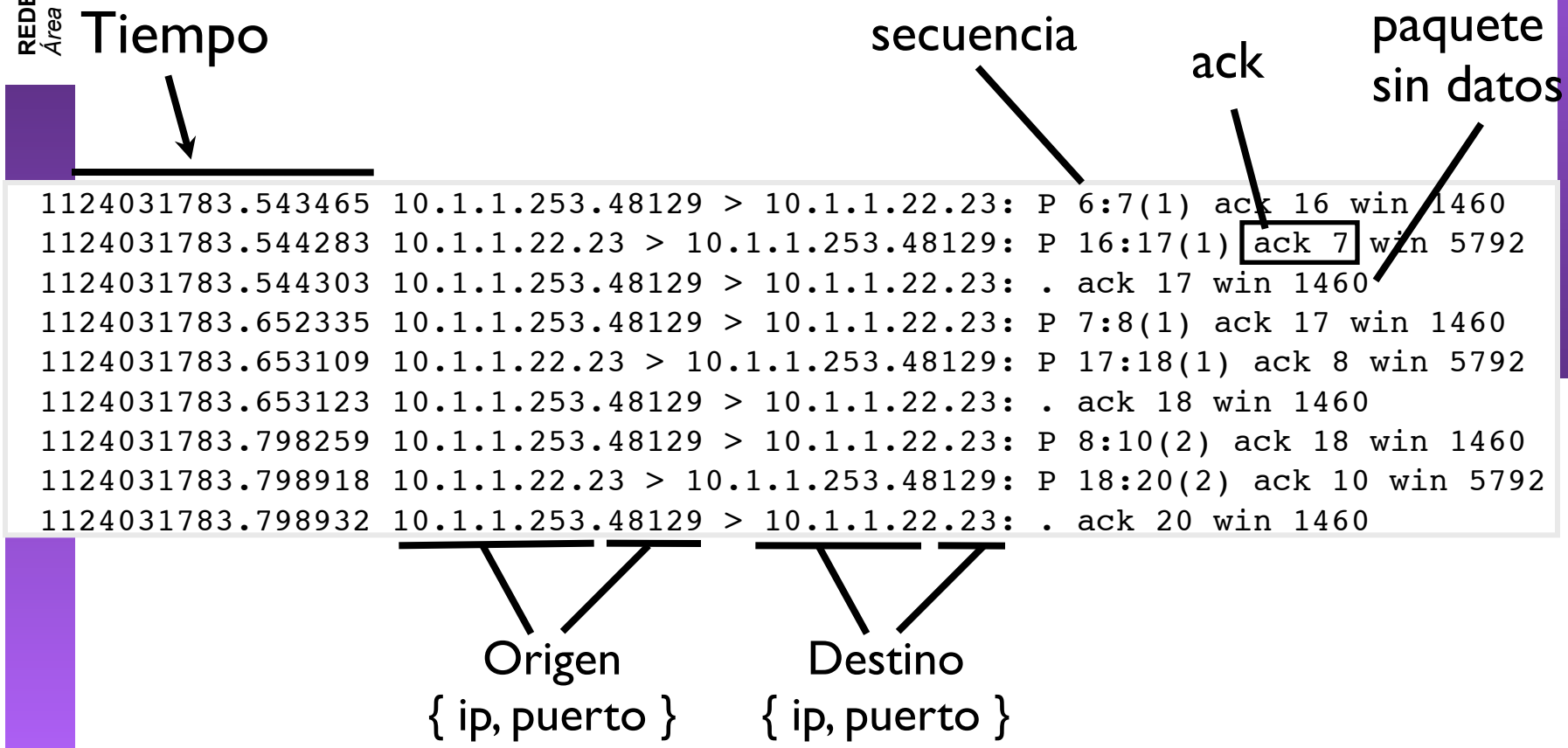
Ejemplo

- Paquetes de un telnet desde 10.1.1.253 a 10.1.1.22



Ejemplo

- Paquetes de un telnet desde 10.1.1.253 a 10.1.1.22
- Usando tcpdump para ver los paquetes



TCP: transporte fiable

- TCP utiliza una ventana deslizante
  - Número de secuencia: el primer byte enviado en el segmento
  - ACK: el próximo byte que espera recibir el receptor
  - Máximo de la ventana permitida de recepción indicada en el campo window (cuantos bytes puedo enviar sin rcibir ACK)
- Los paquetes TCP llevan
  - Número de secuencia de los datos. Si no llevan datos, el campo número de secuencia indica el proximo numero de secuencia que se enviará
  - Próximo número de secuencia que espera recibir su emisor. Es válido si el byte ACK está activado (o sea todos salvo en el SYN inicial)
  - Los números de secuencia son independientes en ambos sentidos
- Transmisiones simultáneas en los dos sentidos
  Cada extremo funciona como un emisor y un receptor independientes

TCP: emisor

Eventos en el emisor

Llegan datos desde el nivel de aplicacion

- crear segmento nuevo
- sec # el siguiente de la stream
- iniciar temporizador si no hay uno iniciado

timeout

- retransmitir el segmento que causó el timeout
- reiniciar timeout

recibido ACK

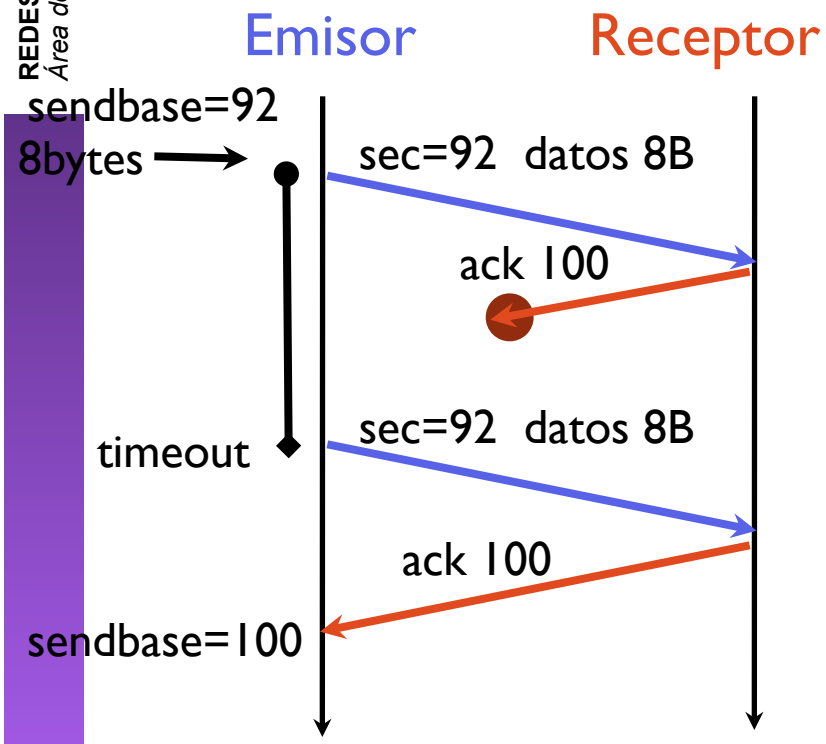
- Si confirme un segmento nuevo

> actualizar ventana cumulative ACK

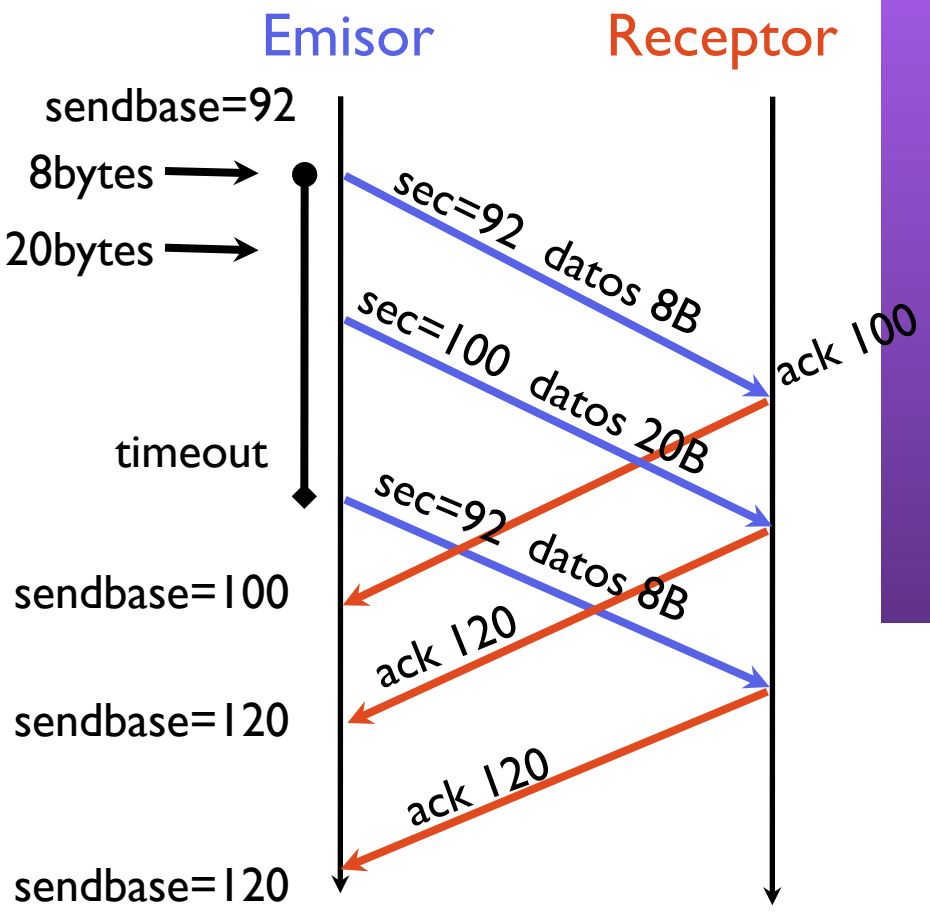
> reiniciar timeout si quedan segmentos por confirmar

Parece de tipo Go back-N

Ejemplos

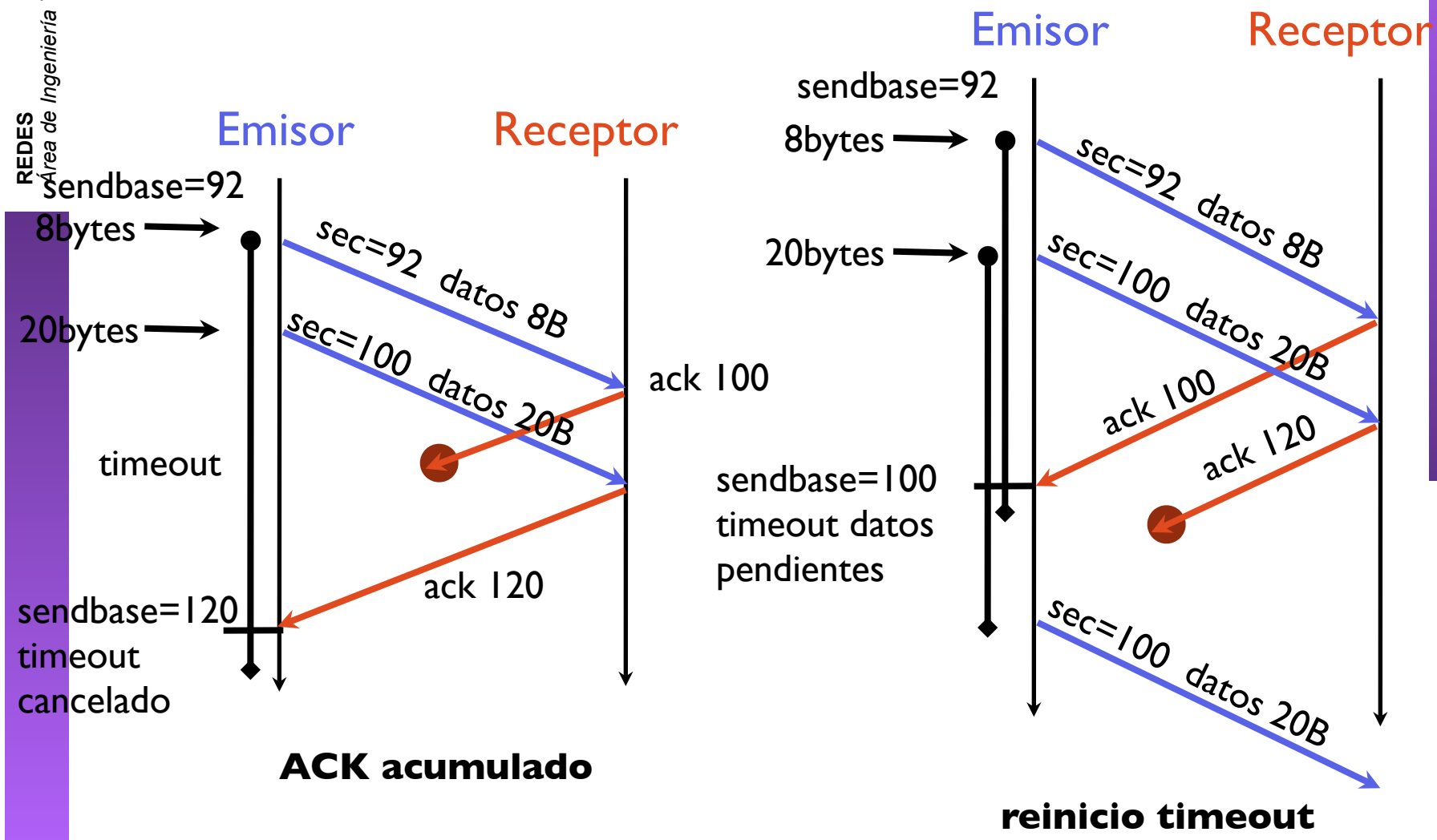


pérdida de ACK



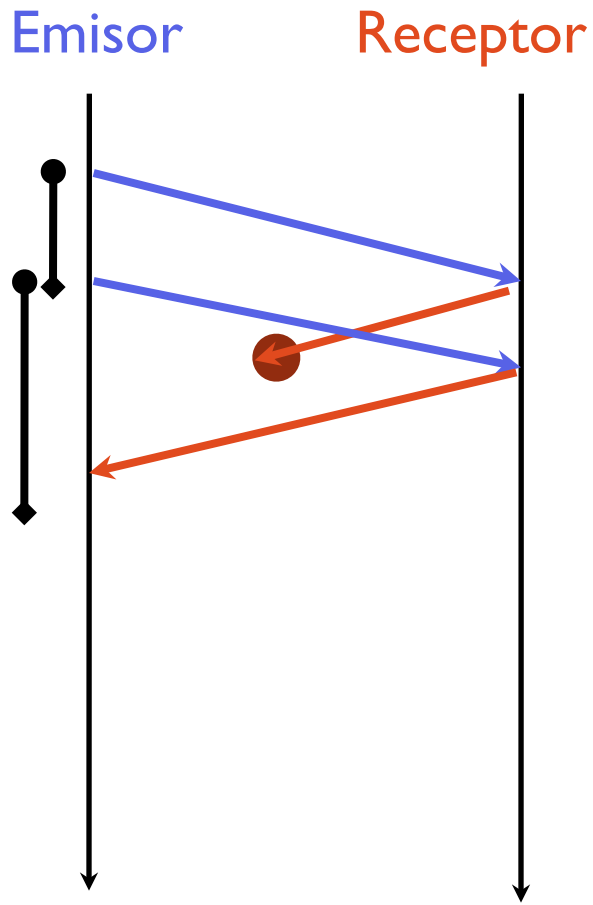
timeout prematuro

Ejemplos


Emisor
Receptor
sendbase=92
8bytes
sec=92 datos 8B
20bytes
sec=100 datos 20B
ack 100
timeout
ack 120
sendbase=120
timeout
cancelado
ACK acumulado
Emisor
Receptor
sendbase=92
8bytes
sec=92 datos 8B
20bytes
sec=100 datos 20B
ack 100
ack 120
sendbase=100
timeout datos
pendientes
sec=100 datos 20B
reinicio timeout

TCP: timeout

- El RTT se va estimando observando los tiempos que tardan en llegar los ACKs y se elige un timeout mayor que el RTT estimado
- El timeout se dobla cada vez que caduca y se envía de nuevo el paquete
- El timeout que usamos va acercandose al RTT que observamos, y si hay errores sube bruscamente



TCP: transporte fiable (resumen)

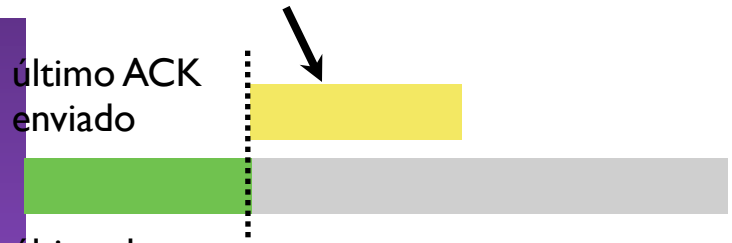
- Emisor de tipo Go back-N
  - ACKs acumulados por bytes individuales
  - Timeout adaptativo estimando el RTT
  - Ventana indicada por el receptor en cada paquete, en lugar de ser un N fijo

- El receptor es un poco más complicado
- El emisor es tambien más complicado en realidad

TCP: receptor

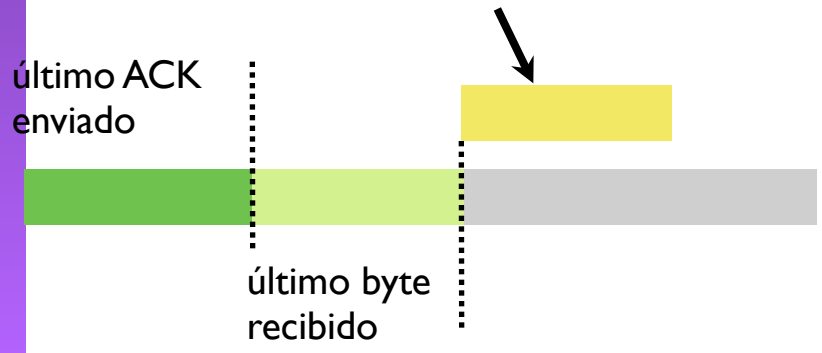
Eventos del receptor

- **Llega segmento en orden con el numero de secuencia esperado**
  No hay ACKs pendientes de enviar



Acción: **Delayed ACK**, espera hasta 500ms al siguiente paquete, si no llega manda ACK

- **Llega segmento en orden con el numero de secuencia esperado**
  Hay un delayed ACK pendiente

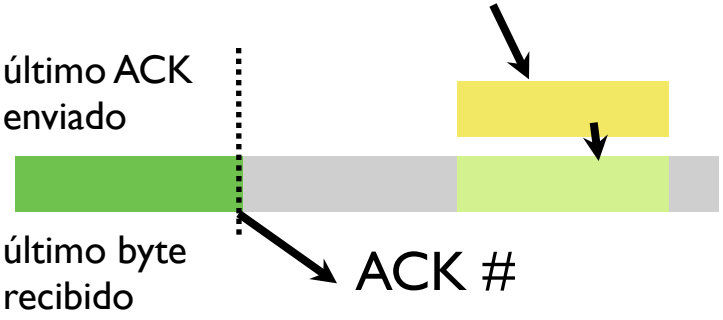


Acción: envía inmediatamente ACK (al ser acumulado confirma los dos)

TCP: receptor

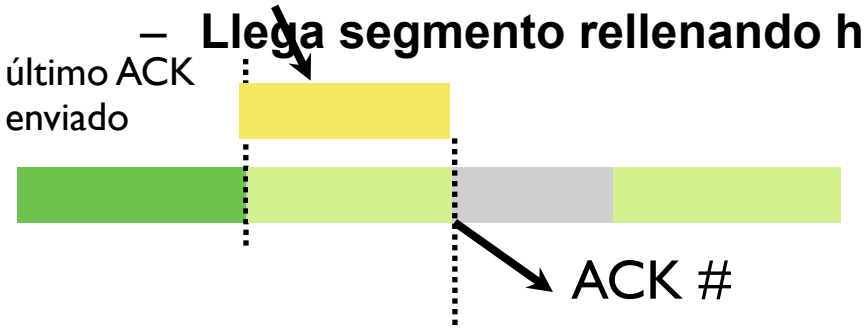
Eventos del receptor

- **Llega segmento fuera de orden generando hueco**



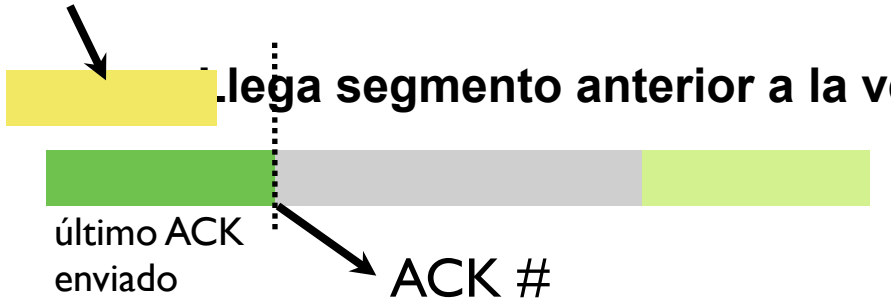
Acción: envía inmediatamente ACK causando ACK duplicado

- **Llega segmento rellenando hueco**



Acción: envía inmediatamente ACK

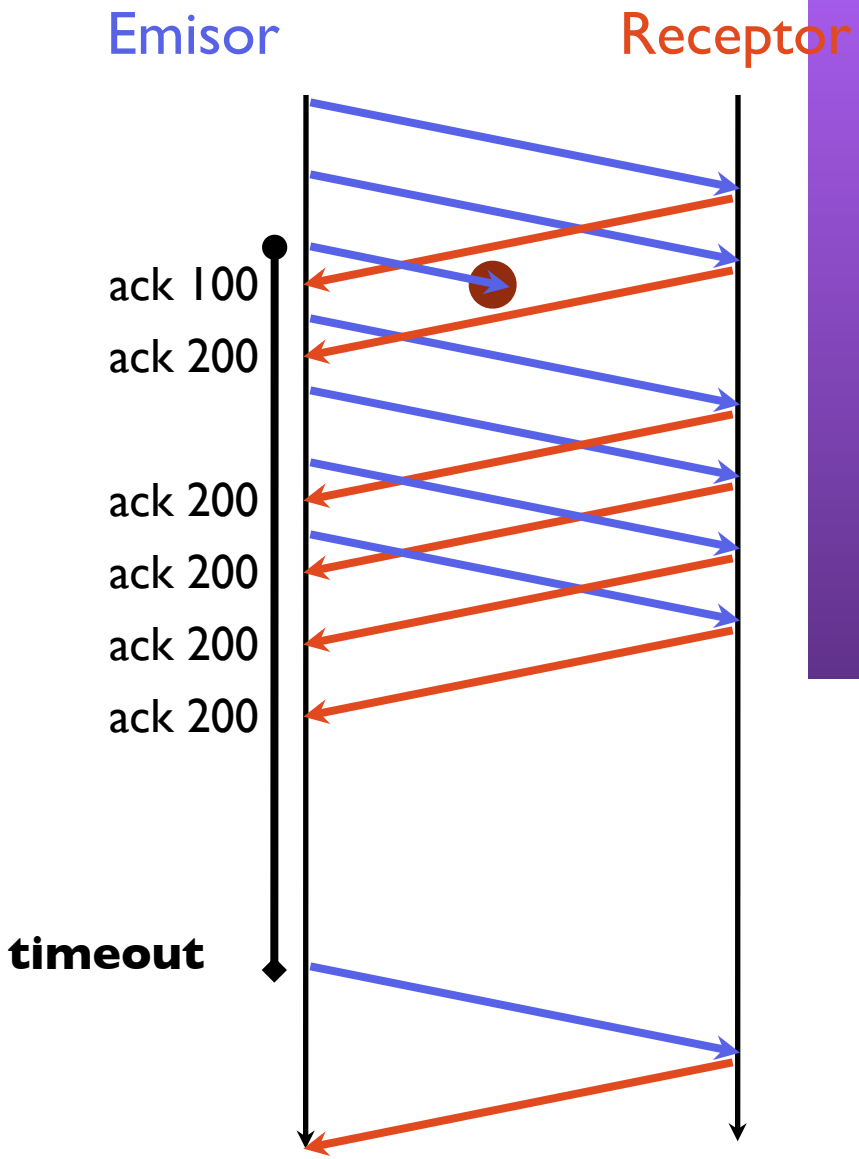
- **Llega segmento anterior a la ventana**



Acción: envía ACK

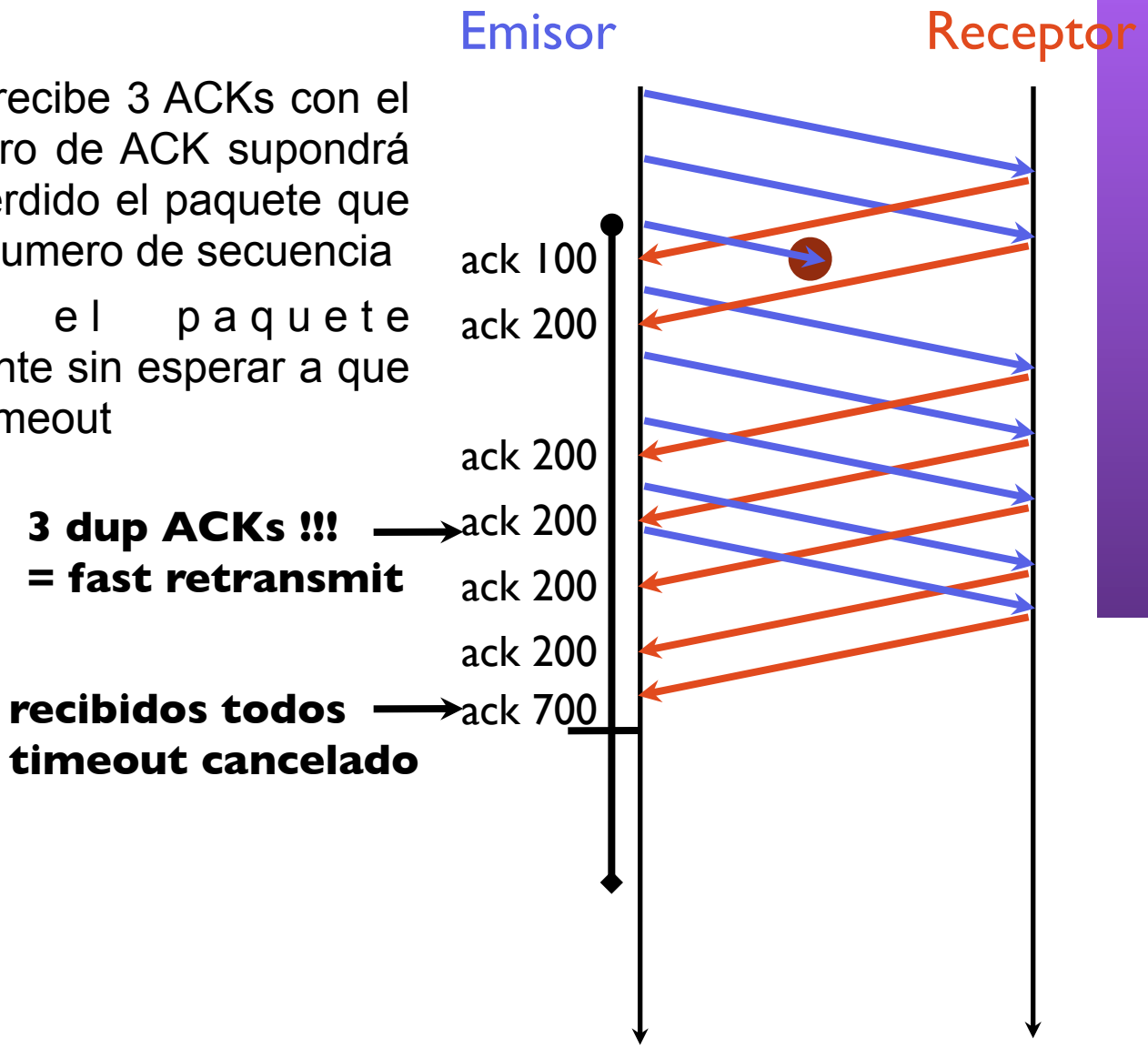
TCP: Fast retransmit

- El timeout normalmente es relativamente largo
  - Si se pierde un paquete de datos se genera hueco y se detendrá la transmisión durante un timeout
  - Normalmente el emisor envía varios paquetes seguidos
- El receptor no puede hacer un NACK pero está generando ACKs duplicados !!



TCP: Fast retransmit

- Fast retransmit
  - Si el emisor recibe 3 ACKs con el mismo numero de ACK supondrá que se ha perdido el paquete que llevaba ese numero de secuencia
  - Reenvia el paquete inmediatamente sin esperar a que caduque el timeout



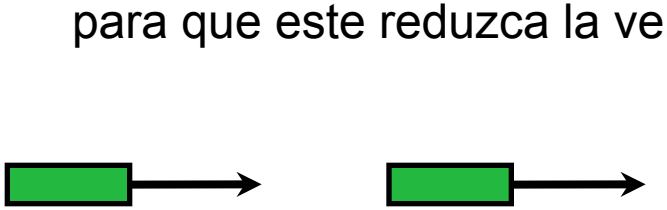
TCP: transporte fiable (resumen)

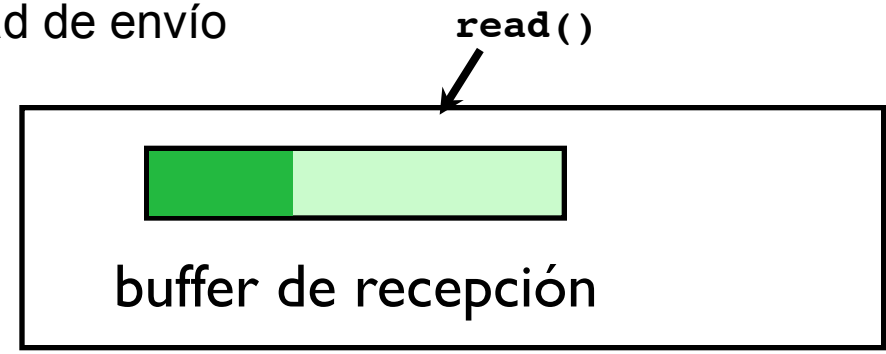
- Carácterísticas de Go back-N y SR
  - ACKs acumulados (y por byte individual)
  - Pero almacena paquetes fuera de secuencia en recepción

    Aunque no envía ACKs por paquete
  - Eso permite técnicas más sofisticadas de retransmisión al detectar duplicados (Fast retransmit)

TCP: Control de flujo

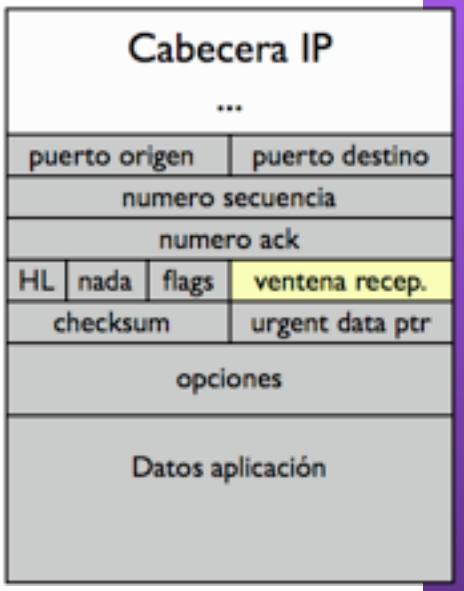
- El receptor de TCP tiene un buffer en el que TCP va colocando los datos que llegan.
  - Estos datos se le entregan al nivel de aplicación al hacer un read() sobre el socket
  - La aplicación puede ser lenta al leer los datos. Qué pasa si los datos llegan y no hay buffer?
  - Hace falta un mecanismo que ajuste la velocidad de los datos que llegan a la velocidad a la que lee la aplicación
- Este es el problema del **control de flujo**.
  - Es un problema general de los protocolos de comunicaciones
  - Normalmente se resuelve haciendo que el receptor sea capaz de enviar indicaciones al emisor de que su buffer se esta llenando para que este reduzca la velocidad de envío

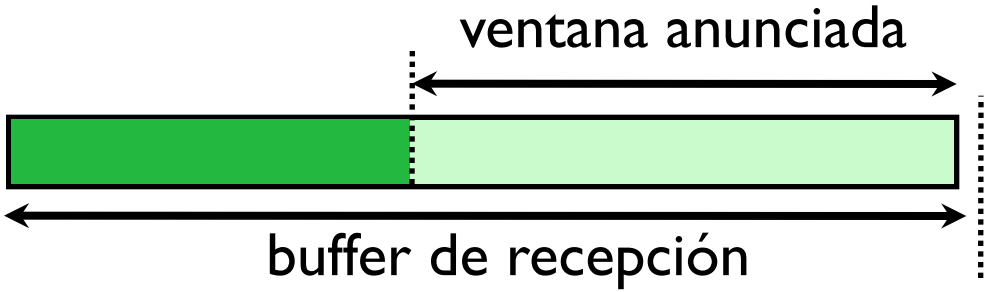




TCP: Control de flujo

- TCP informa al emisor de cuanto buffer tiene libre en cada paquete que le envía !!
  - Esa es la función del campo ventana de recepción de la cabecera
  - En cada paquete el receptor anuncia cuantos datos es capaz de recibir
  - Este valor se utiliza como máximo numero de bytes que se pueden tener en la red sin recibir ACK. Máximo de la ventana deslizante





Ejemplo

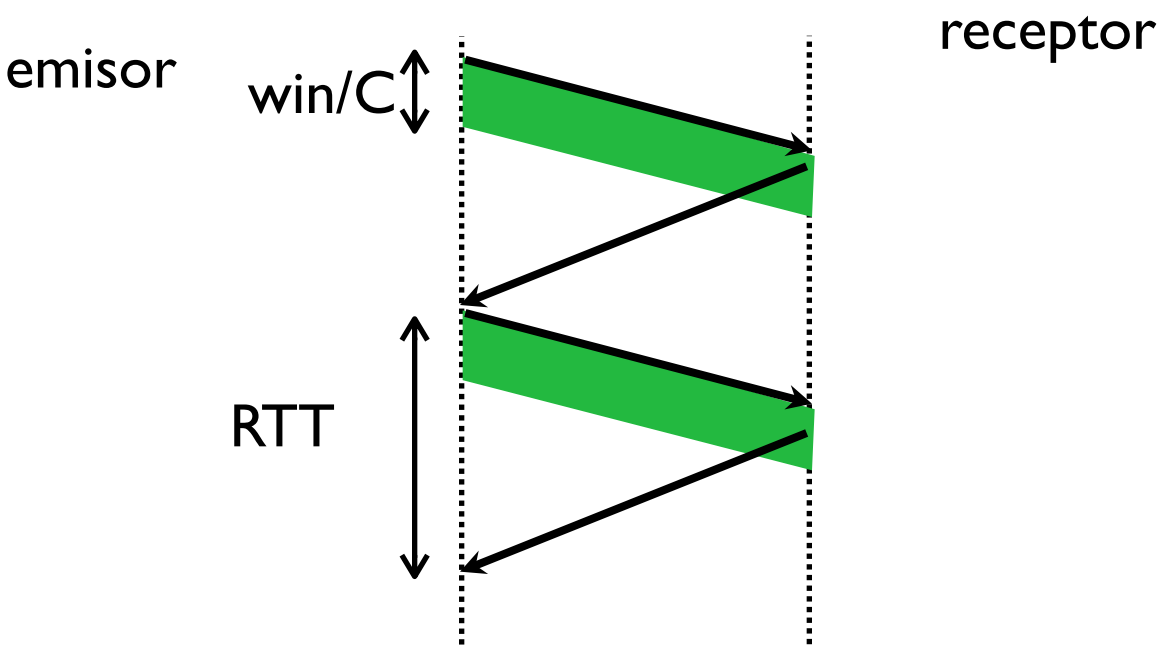
- De una transferencia de página web

```
1124207801.184011 IP 130.206.169.177.53611 > 130.206.166.105.80: . ack 1 win 65535
1124207825.463815 IP 130.206.169.177.53611 > 130.206.166.105.80: P 1:39(38) ack 1 win 65535
1124207825.464062 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . ack 39 win 24616
1124207825.466289 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: P 1:291(290) ack 39 win 24616
1124207825.466784 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 291:1739(1448) ack 39 win 24616
1124207825.466915 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: P 1739:3187(1448) ack 39 win 24616
1124207825.511610 IP 130.206.169.177.53611 > 130.206.166.105.80: . ack 3187 win 63422
1124207825.512278 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 3187:4635(1448) ack 39 win 24616
1124207825.512382 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 4635:6083(1448) ack 39 win 24616
1124207825.512503 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 6083:7531(1448) ack 39 win 24616
1124207825.512626 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: P 7531:8979(1448) ack 39 win 24616
1124207825.711709 IP 130.206.169.177.53611 > 130.206.166.105.80: . ack 8979 win 57630
1124207825.712371 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 8979:10427(1448) ack 39 win 24616
1124207825.712474 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 10427:11875(1448) ack 39 win 24616
1124207825.712595 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 11875:13323(1448) ack 39 win 24616
1124207825.712723 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: . 13323:14771(1448) ack 39 win 24616
1124207825.712842 IP 130.206.166.105.80 > 130.206.169.177.53611: P 14771:16219(1448) ack 39 win 24616
1124207825.911783 IP 130.206.169.177.53611 > 130.206.166.105.80: . ack 16219 win 50390
```

- Conforme recibo datos se va llenando el buffer

TCP: prestaciones

- Máxima velocidad de TCP
  - Si la ventana anunciada se envia antes de que vuelva el primer ACK...
  - El throughput máximo de TCP es w/RTT



TCP: prestaciones

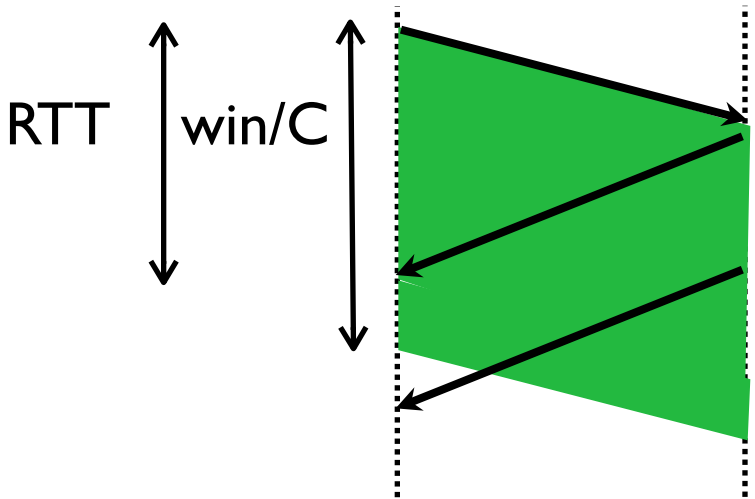
- Máxima velocidad de TCP
  - Si no da tiempo a enviar la ventana antes de que vuelva el primer ACK
  - Es porque w/C > RTT
  - O sea que la maxima velocidad que conseguimos es

    C si w/RTT > C o w/RTT si w/RTT < C
  - min{ C, w/RTT }
  - Esto son las prestaciones máximas de TCP

    si no hay errores y retransmisiones

    si la aplicación no deja de enviar

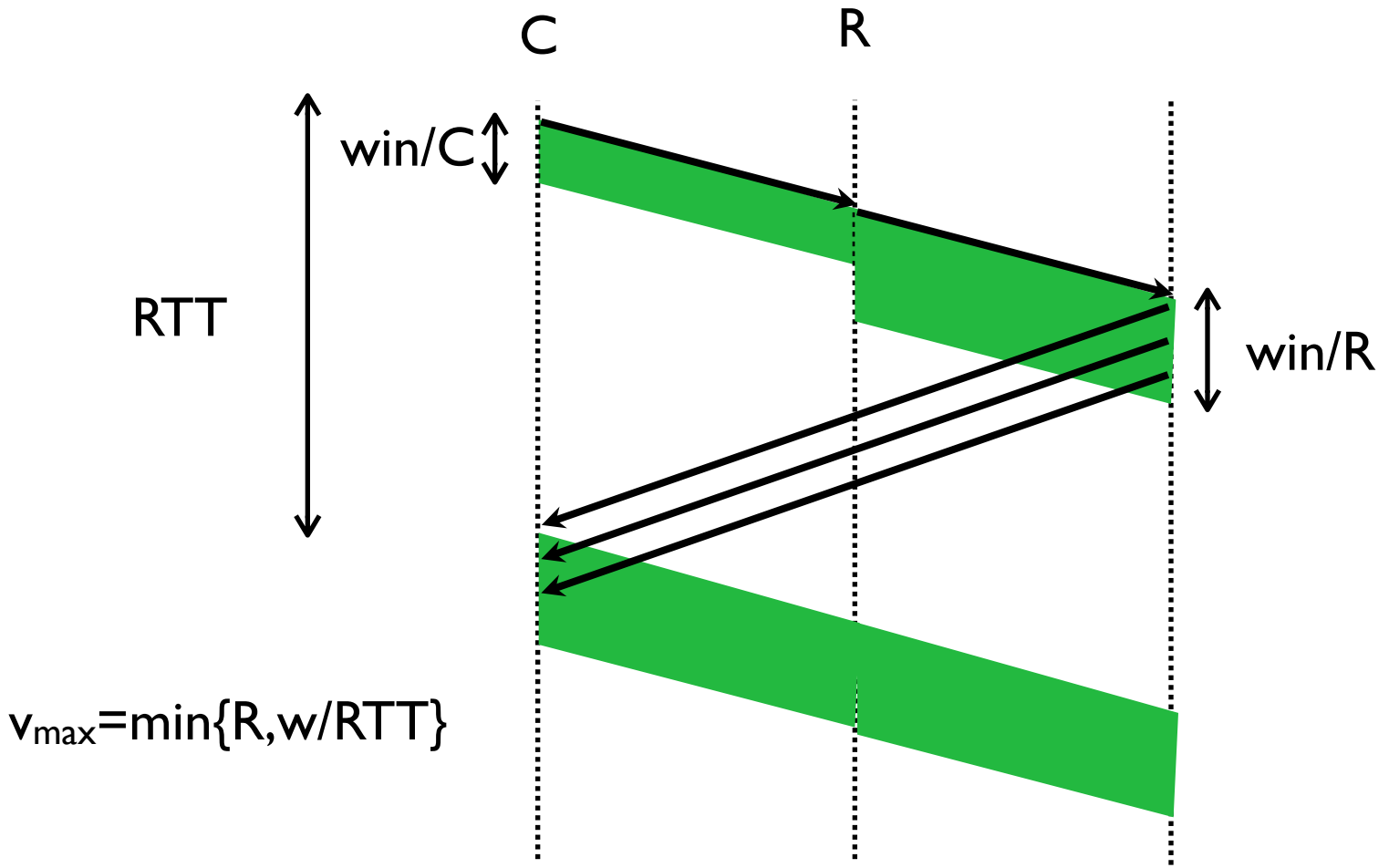
    si el receptor consume los datos rápido y siempre anuncia ventana máxima



TCP: prestaciones

- Y si algún punto intermedio no tiene tanta capacidad disponible??
- El receptor recibe la ventana en el tiempo win/R como maximo

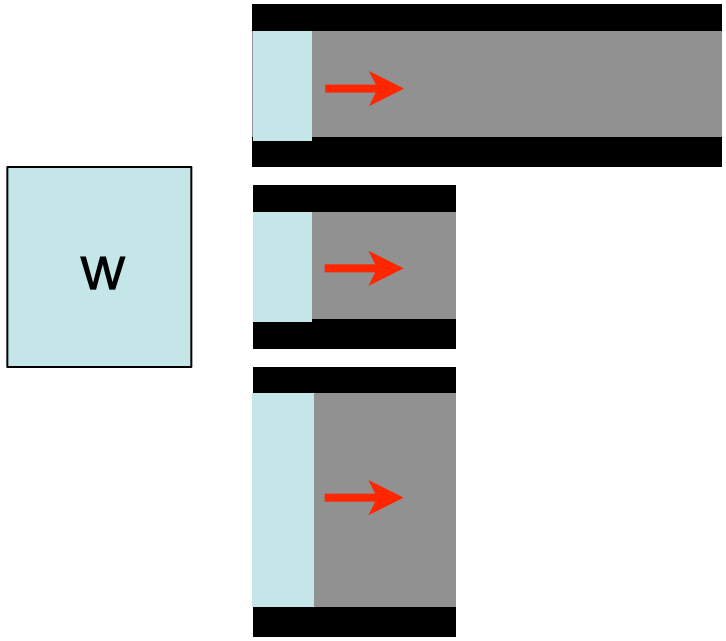
Los ACKs se espacian y el emisor acaba mandando a esa velocidad la ventana



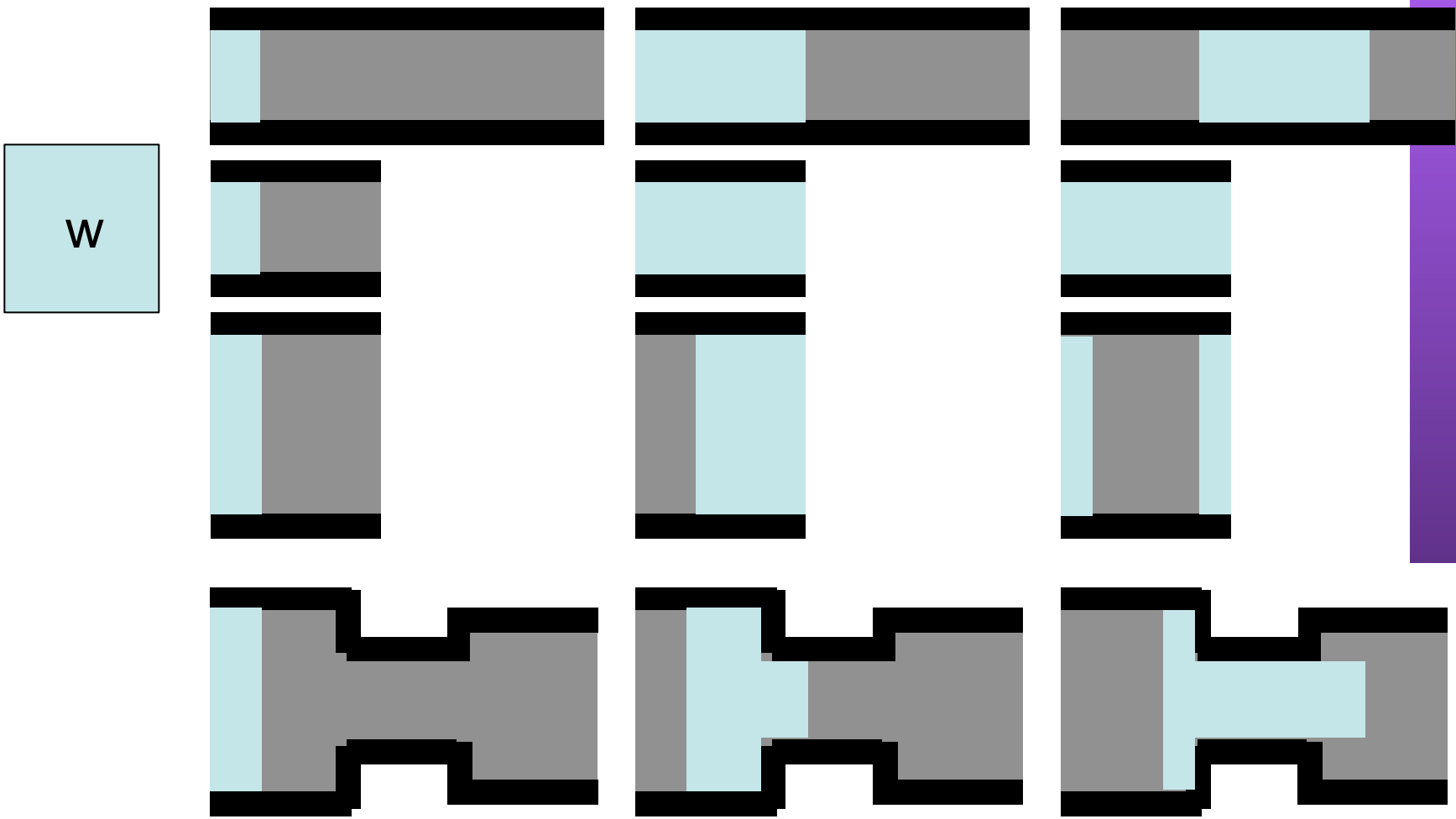
BW x delay

- Las prestaciones de TCP dependen del producto BW x delay del camino recorrido
- BW(bps) x delay(s) -> bits o bytes
- Se dice que si la ventana es suficiente para llenar el BW x delay del camino consigo transmitir a la velocidad (BW) del camino
- Si no es suficiente para llenar el BWxdelay el protocolo me está imponiendo una limitación dependiente de la ventana que uso

w/delay

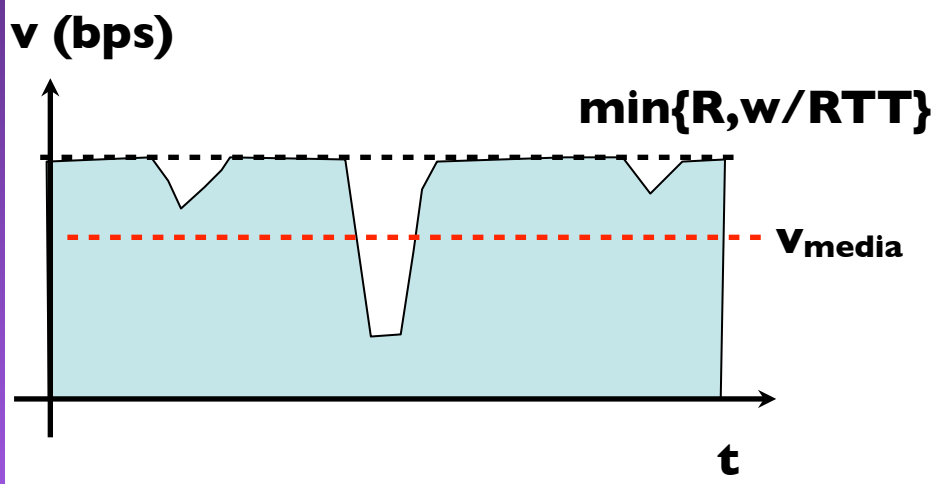


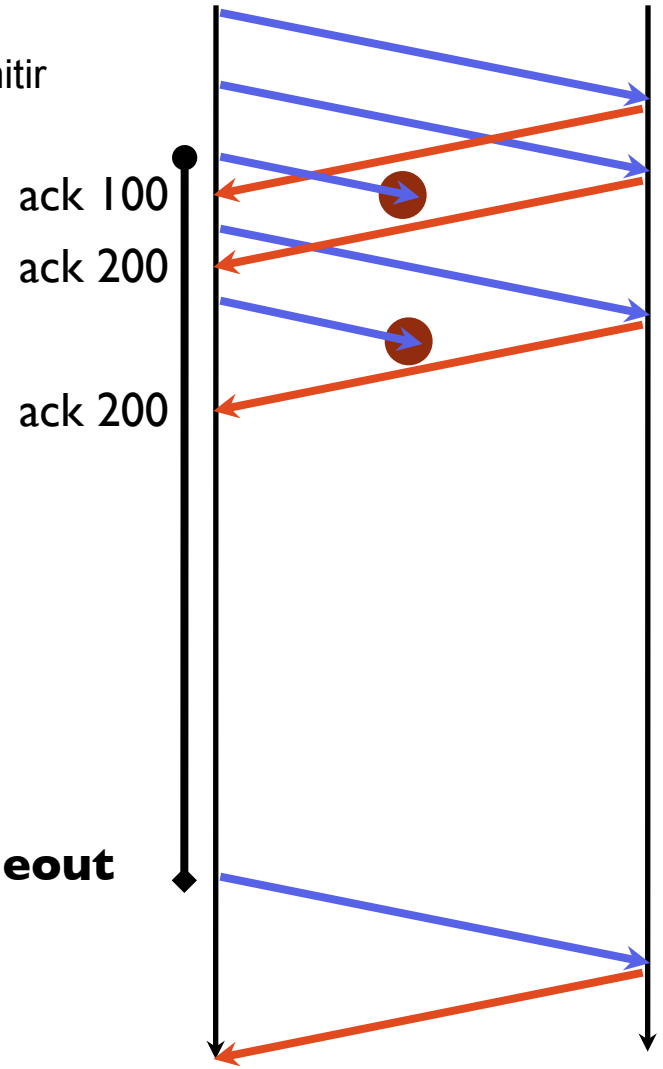
BW x delay



TCP: prestaciones

- Según el producto BW x delay TCP estará limitado por la capacidad o la ventana
- Eso es una velocidad máxima
- Qué pasa si hay perdidas de paquetes?
  - En algunos RTTs no conseguiremos transmitir la ventana completa
  - La velocidad media bajara





- **Pero no es tan simple**

Control de flujo y congestión

- La aplicación puede no enviar constantemente
  - En ese caso menos velocidad pero no es problema del protocolo
- No siempre interesa enviar lo mas rápido posible…

  Por que?
  - Porque no queremos saturar al receptor. Solución enviar feedback hacia el emisor controlando su velocidad

    El problema del **control de flujo**

    En el fondo tampoco es problema del protocolo es la aplicación que no consume los datos recibidos
  - Porque no queremos saturar la red que está siendo usada por otros programas/usuarios también.

    Solución adaptarse al estado de la red… pero adaptarse de forma justa (hay otros emisores, quien tiene más derecho a usar la red? **Network neutrality**?)

    El problema del **control de congestión**
- El control de flujo es un problema sencillo. El control de congestión es un problema difícil y es uno de los problemas fundamentales de redes (En la próxima clase...)

Conclusiones

- TCP es el protocolo de transporte fiable de Internet
- El transporte fiable de TCP se basa en:
  - Ventana deslizante con ACKs acumulados
  - Retransmisiones por timeout con timeout adaptativo basado en estimación de RTT
  - Mecanismos de retransmision más sofisticados con delayed ACKs y Fast Retransmit
  - Ventana anunciada por el receptor para control de flujo
- Las prestaciones de TCP
  - Dependen de la ventana y su relación con el producto BW x retardo
  - De la probabilidad de perdidas
  - Del control de flujo y de congestión
- Próximas clases:
  - Problemas
  - Congestión y control de congestión