



Universidad de
Málaga



LENGUAJES Y
CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Tema 4: Servicios básicos para el nivel de transporte en Internet

Contenido del tema

- Protocolos de Transporte
 - Funcionalidad del Nivel de Transporte
 - Protocolo UDP
 - Protocolo TCP
 - Otros Protocolos de Transporte
- Programación Distribuida
 - Programación básica de Aplicaciones Distribuidas (Sockets)
 - Esquemas de programación en TCP y UDP

Tema 1. Introducción a las redes y sistemas distribuidos

Tema 2. Técnicas de acceso y control de enlace

Tema 3. Protocolos de Interconexión de Redes

Tema 4. Servicios básicos para el nivel de transporte en Internet

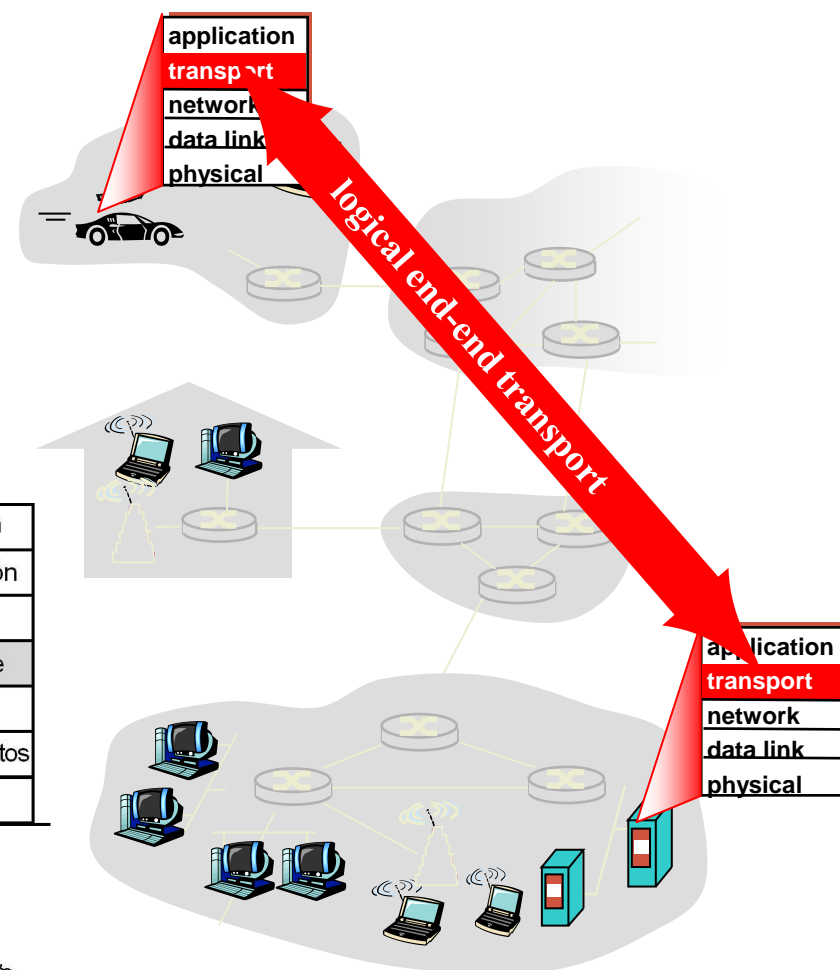
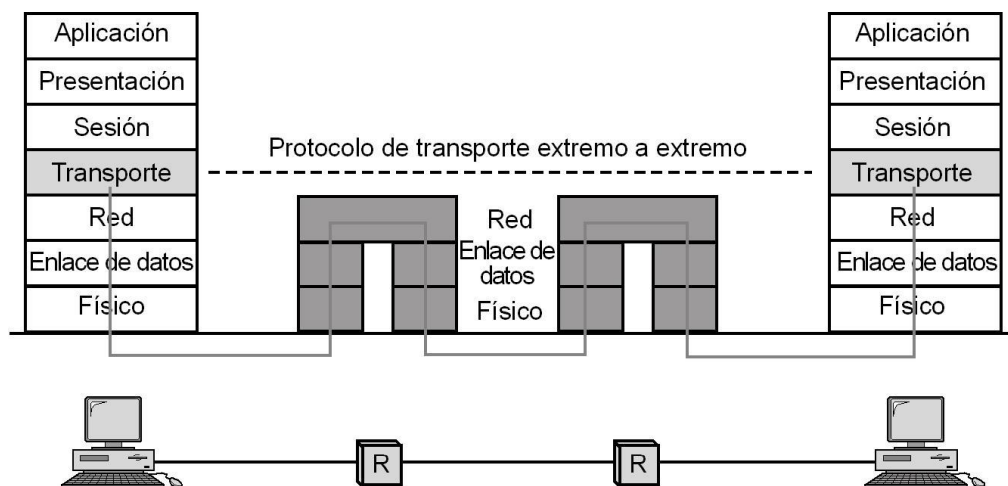
Tema 5. Aplicaciones distribuidas en Internet

- Funcionalidades del nivel de transporte
- Protocolo UDP
- Protocolo TCP
- Otros Protocolos de Transporte

PROTOSCOLOS DE TRANSPORTE

El nivel de transporte

- Objetivo básico
 - Proporcionar servicios para permitir la **comunicación lógica** entre procesos que se ejecutan en la capa de aplicación



Protocolos de la capa de transporte

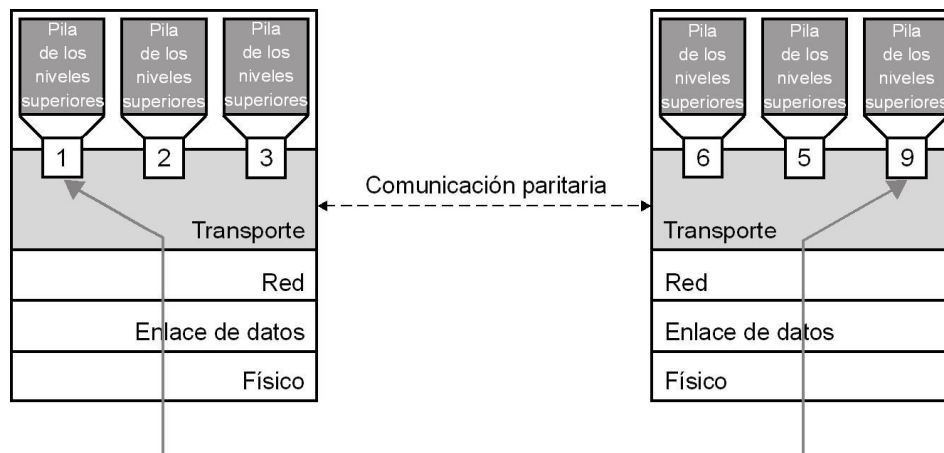
- Los protocolos de transporte se ejecutan en los nodos terminales que se están comunicando
- Objetivo:
 - Suplir todas las carencias que a nivel de control de errores presenta el protocolo de nivel de red utilizado
 - Ofrece al nivel superior (ej: sesión o aplicación según la arquitectura de red usada) una comunicación extremo-a-extremo fiable
- Protocolos de transporte disponibles en TCP/IP
 - TCP, UDP (clásicos), SCTP (reciente), QUIC (en desarrollo)

Servicios que se ofrecen

- Direccionamiento
 - Identificación de procesos
- Seguimiento de la comunicación individual entre procesos origen y destino
 - Protocolos orientados a la conexión (ej: TCP)
 - Transporte fiable de datos
 - Control de congestión y control de flujo
 - Protocolos no orientados a la conexión (ej: UDP)
- Segmentación y reensamblado de datos
 - Trocear los datos de usuario en varios mensajes o segmentos
- Multiplexación
 - Multiplexar varias conexiones de transporte en una sola conexión de red

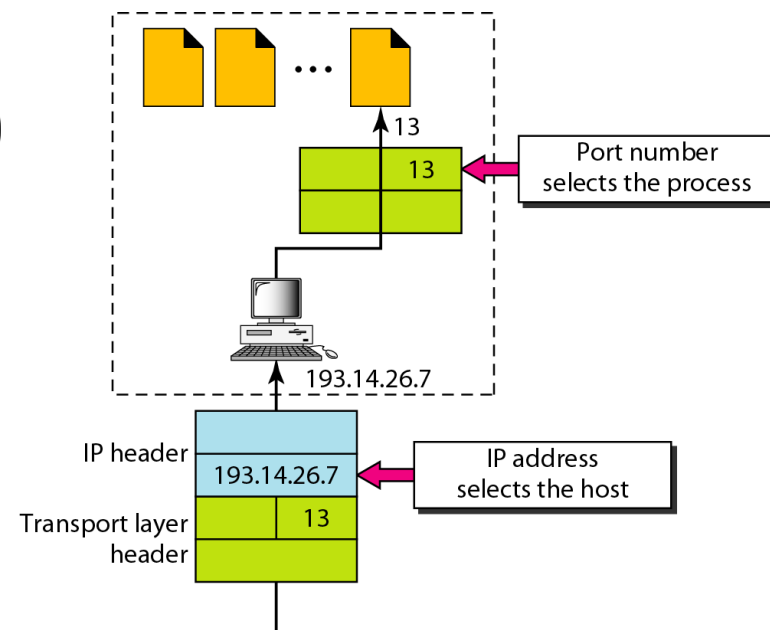
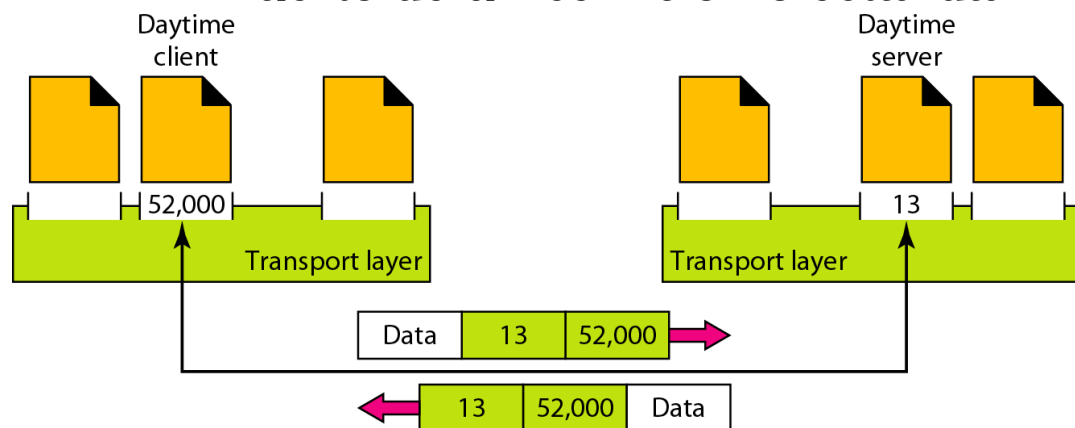
Direccionamiento

- Un proceso de la computadora local –cliente- necesita servicio desde un proceso remoto –servidor-
- En una misma máquina puede haber varios procesos al mismo tiempo interesados en comunicarse con otros
- Direccionamiento
 - Es necesario tener una dirección de nivel de transporte denominada TSAP (**puerto** en TCP y UDP)
 - Permite elegir entre los múltiples procesos que se ejecutan en una máquina destino



Direccionamiento en TCP/IP

- Los números de puerto son enteros sin signo de 16 bits [0-65535]
- Tres tipos: Bien conocidos (0-1023), Registrados (1024-49151), dinámicos (49152-65535)
- El proceso cliente elige (define) un número de puerto arbitrario
 - Puerto efímero (normalmente elegido de entro los dinámicos)
- El proceso servidor también define su número de puerto, pero no de forma arbitraria
 - Número de puerto bien conocido
 - Puerto de un servicio estándar (ej: 80)
 - Puerto de un servicio no estándar



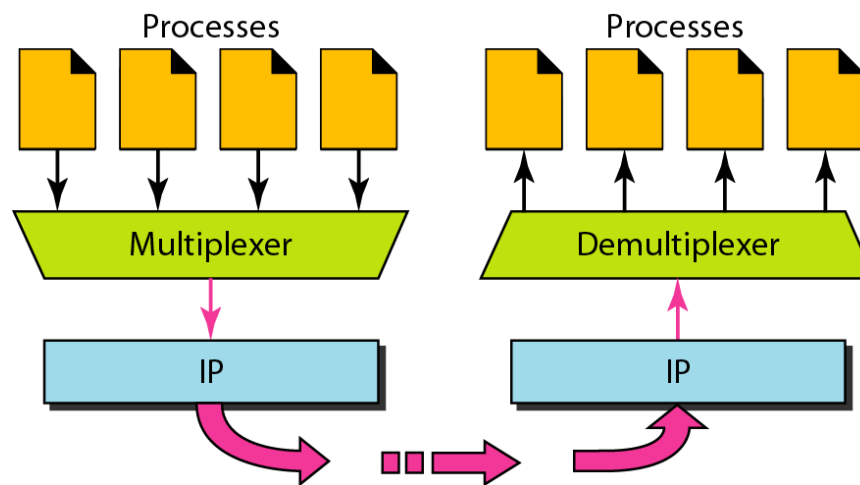
Direccionamiento en TCP/IP

- La comunicación proceso a proceso necesita dos identificadores
 - Protocolo
 - Dirección IP
 - Número de puerto
- La combinación se denomina *dirección de socket*
 - <protocolo,IP,puerto>*
 - Ej: *<tcp,150.215.12.37,80>*, *<udp,180.220.21.33,9>*
- Un protocolo de transporte necesita un par de direcciones de sockets (para cliente y servidor)



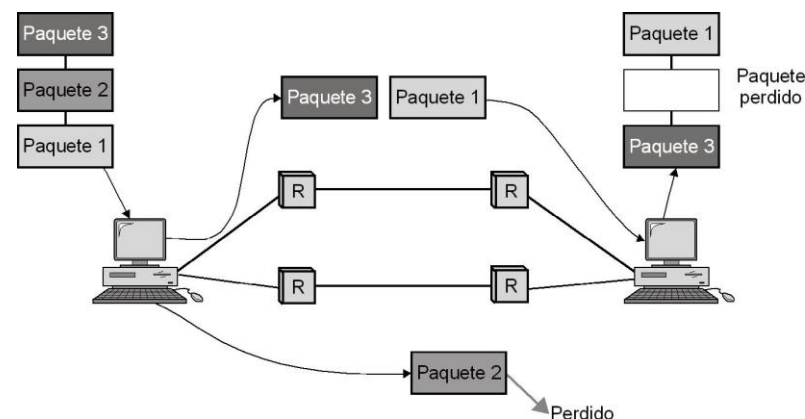
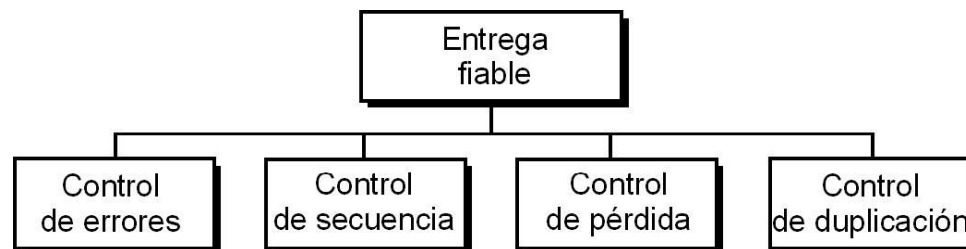
Multiplexación en TCP/IP

- El mecanismo de direccionamiento permite multiplexar y demultiplexar las direcciones del nivel de transporte
 - Multiplexación (relación muchos-uno)
 - El protocolo acepta mensajes de distintos procesos diferenciados por el n° de puerto asignado
 - Demultiplexación (relación uno-muchos)
 - El protocolo de transporte recibe datagramas del nivel de red y entrega cada mensaje al proceso adecuado basándose en el n° de puerto



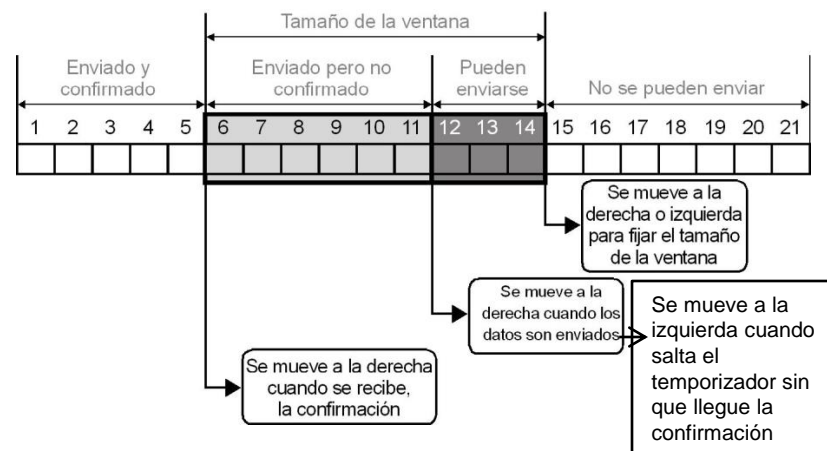
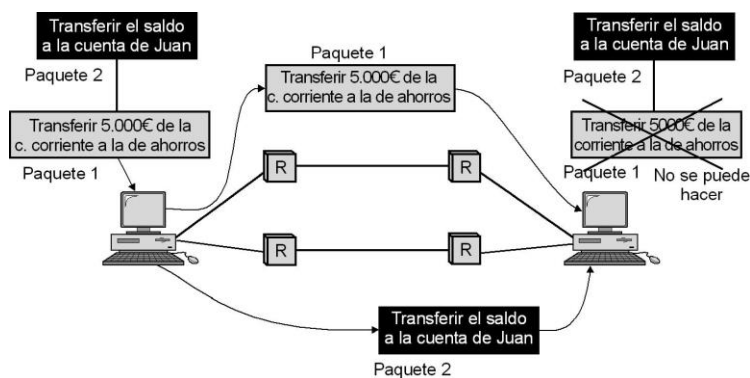
Servicio orientado a la conexión: control de errores

- Es posible controlar los errores extremo a extremo - Control de errores
 - Asegura que todo el mensaje llega al nivel de transporte del receptor sin errores
 - Control de mensajes corruptos, desordenados, pérdida de mensajes o mensajes duplicados
 - Habitualmente los errores se corrigen con **retransmisiones**



Servicio orientado a la conexión: Control de flujo

- Es posible controlar el flujo extremo a extremo
 - Permite al receptor controlar la velocidad (cantidad) de datos enviados por el emisor
 - Habitualmente el flujo se controla mediante técnicas basadas en ventana deslizante

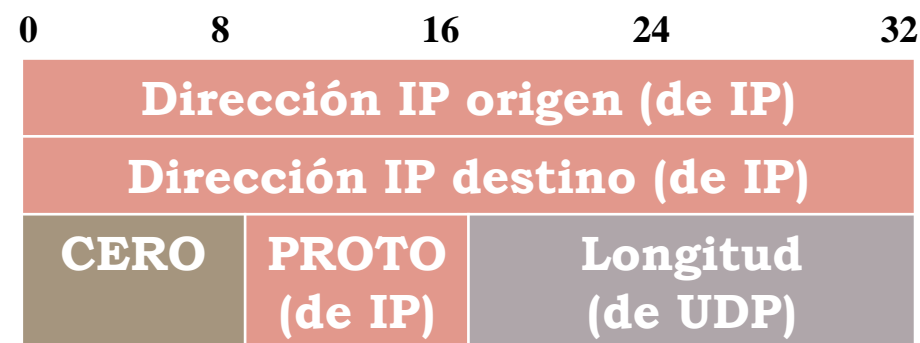


El protocolo UDP

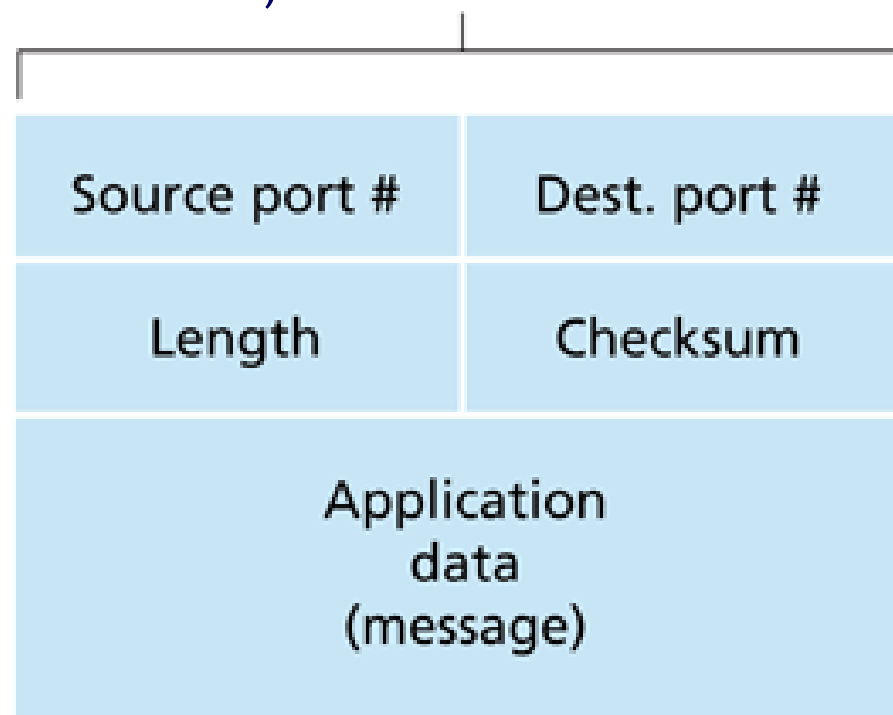
- Características
 - Orientado al mensaje: envía **datagramas**
 - Protocolo no orientado a la conexión
 - No fiable
 - No incorpora control de congestión
- Servicio
 - **sendto**(puerto origen, puerto destino, datos)
 - **recvfrom**(puerto origen, puerto destino, datos)
- Extremos
 - Extremo 1: <udp,IPlocal,Plocal>
 - Extremo 2: <udp,IPremoto,Premoto>

El protocolo UDP

- Formato datagrama UDP (8 bytes)
 - Puerto origen y destino (local –opcional- y remoto)
 - Longitud total
 - Checksum aplicado todo el datagrama UDP + pseudo-cabecera IP (opcional - recomendado) 32 bits
 - Datos del nivel superior

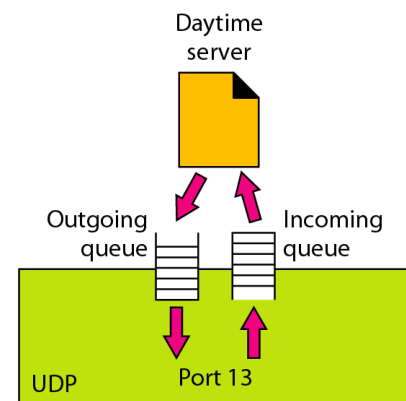
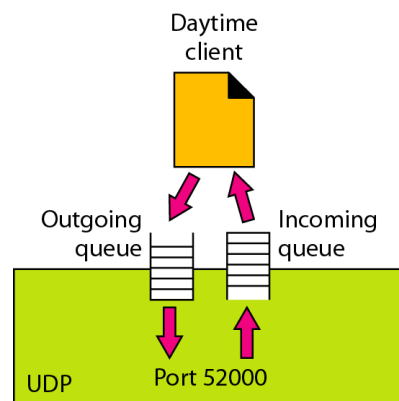


Pseudo-cabecera IP para el cálculo del checksum
 (no se transmite, se crean con los datos existentes en el origen y destino del datagrama)



Funcionamiento de UDP

- No hay control de flujo, ni de errores, ni fase de conexión ni desconexión
- El mensaje es encapsulado en un datagrama IP
- Colas
 - Cada puerto lleva asociada **dos colas**: entrada y salida
 - UDP saca mensajes de las colas de salida, añade la cabecera y entrega a IP
 - Al llegar un mensaje, UDP comprueba si hay cola de entrada para el puerto
 - Si es así, deposita el mensaje al final de la cola
 - Si no existe, descarta el datagrama y pide a ICMP que envíe un mensaje de puerto no alcanzable
 - Todos los mensajes enviados por un mismo proceso son encolados en la misma cola de salida
 - Independientemente del destino
 - Todos los mensajes recibidos por un mismo proceso son encolados en la misma cola de entrada
 - Independientemente del origen

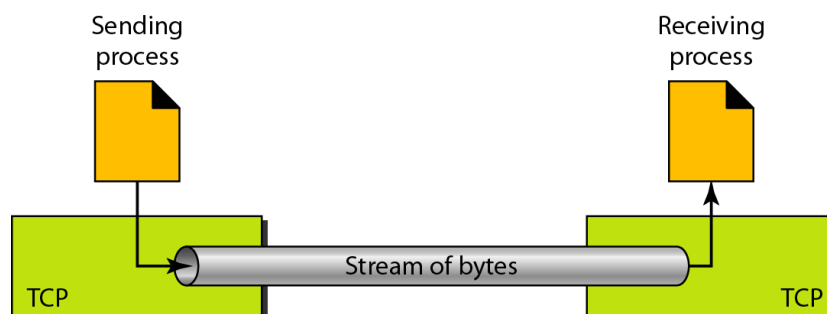


Protocolo UDP

- Ventajas frente a TCP
 - Más rápido (no requiere conexión, sin control de errores)
 - Menor penalización en la transmisión al tener una cabecera más corta
- Uso:
 - Envío de mensajes pequeños
 - Protocolos de nivel de aplicación tipo mensaje/respuesta (ej: daytime)
 - Protocolos de nivel de aplicación tolerantes a fallos
 - No preocupa la fiabilidad (ej: envío de datos multimedia)
 - Necesidad de envíos Multicast/broadcast

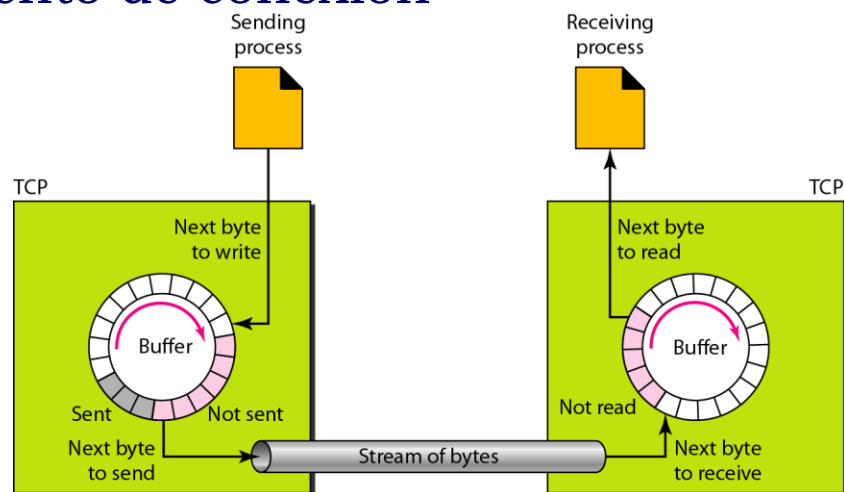
El protocolo TCP

- Envía **segmentos TCP**
- Características del servicio
 - Protocolo orientado a la conexión
 - Las conexiones son full-duplex
 - Canales punto a punto (no broadcasting ni multicasting)
 - Ofrece un servicio fiable
 - Conexión orientada a flujos de bytes
 - No a flujo de mensajes
 - No orientado a datos estructurados (*stream* de bytes sin tipo)



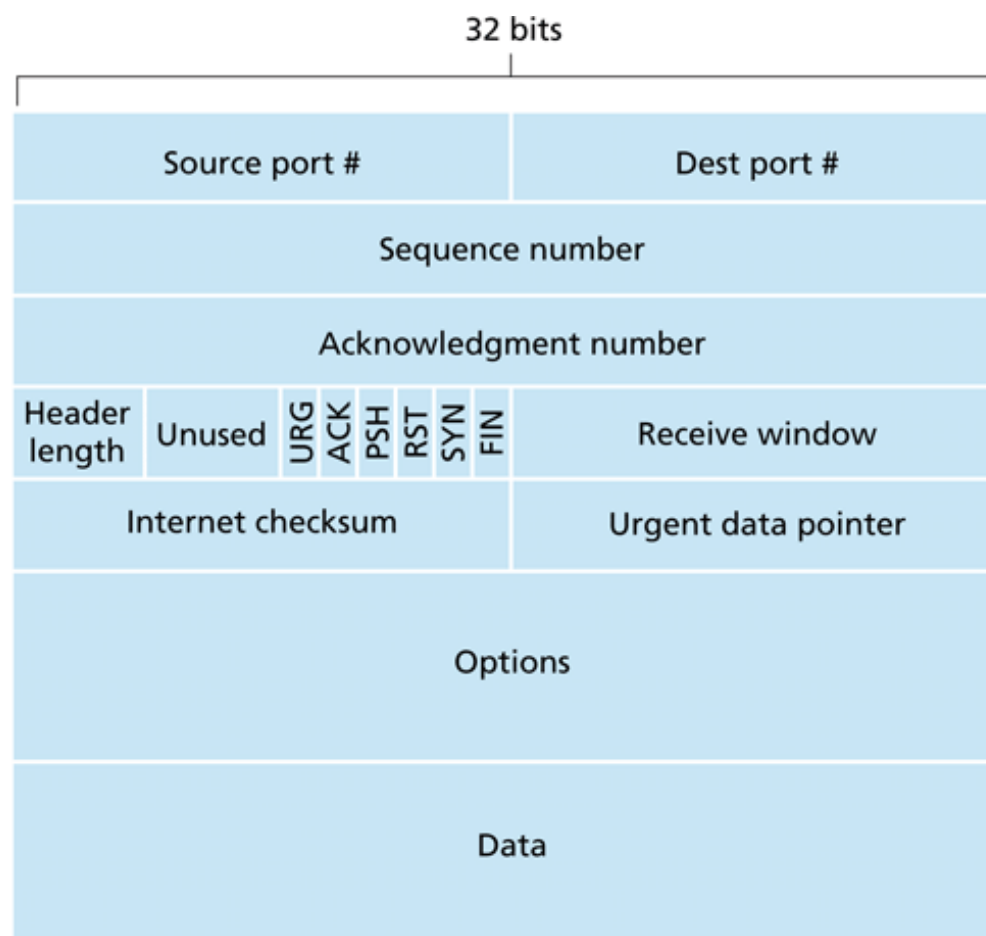
El protocolo TCP

- Buffering
 - Los **segmentos TCP** se envían a un buffer de envío
 - TCP enviará los datos en el buffer de envío cuando lo estime oportuno (distintos algoritmos – configurable)
 - Existe también un buffer de recepción (los datos se leen a petición del protocolo de la capa superior)
- MSS (*Maximum Segment Size*)
 - Máxima cantidad de datos que puede llevar un segmento TCP
 - Se negocia durante el establecimiento de conexión
 - Depende de la implementación
 - Ej.: 1460 bytes en Ethernet



El protocolo TCP

- Estructura del segmento TCP
 - Cabecera de 20 bytes + opciones



Campos

- Campos de la cabecera TCP
 - Puertos origen y destino (16)
 - TSAPs que identifican los extremos de la conexión
 - Número de secuencia (32)
 - Número de confirmación (32)
 - Longitud de la cabecera TCP (4)
 - En palabras de 32 bits
 - Tamaño de la ventana (16)
 - Para control de flujo
 - Bit ACK: el valor del campo ACK es válido
 - Bits RST, SYN, FIN: establecimiento/fin de conexiones

URG: Urgent pointer is valid

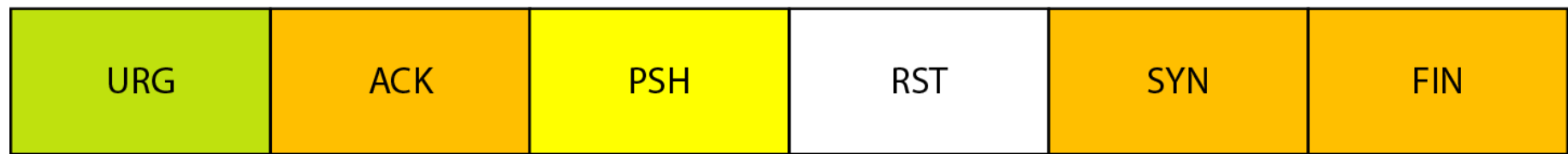
ACK: Acknowledgment is valid

PSH: Request for push

RST: Reset the connection

SYN: Synchronize sequence numbers

FIN: Terminate the connection



Números de secuencia y ACKs

- Números de secuencia:
 - TCP utiliza el **número de byte** para numerar los datos
 - TCP numera todos los bytes de datos que se transmiten
 - La numeración no comienza en 0 \rightarrow n° aleatorio $[0 - 2^{32}-1]$
 - El número de secuencia es el del primer byte que transporta el segmento (contando desde el valor de inicio)

Ejemplo:

N° aleatorio = 1057

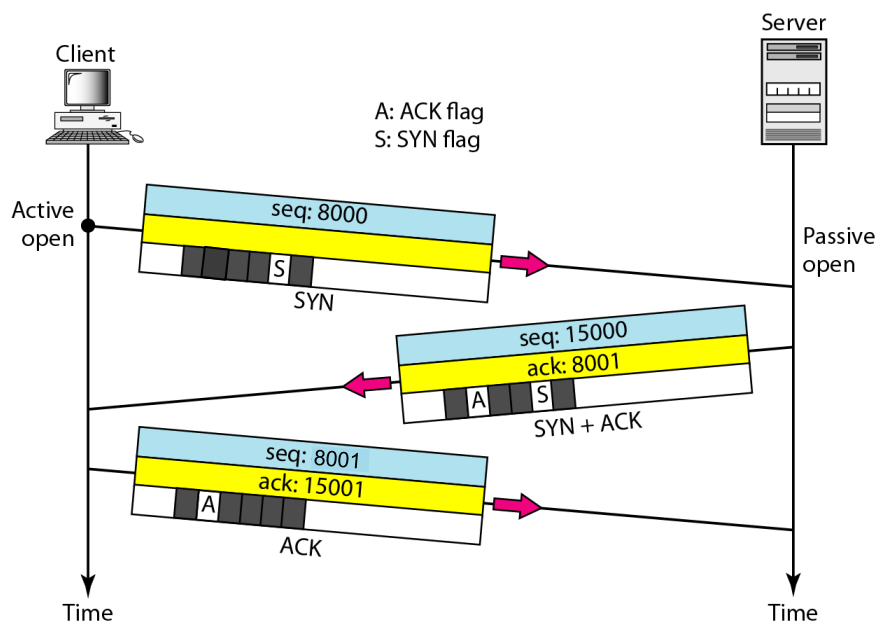
y el total de datos = 6000 bytes

\rightarrow Los bytes se enumeran de 1057 a 7056

- Si un segmento no lleva datos de usuario no consume número de secuencia
 - Excepción: segmentos de control (SYN y FIN de conexiones)

Establecimiento de conexiones

- Se usa un protocolo de negociación a tres bandas (*three-way handshake*)

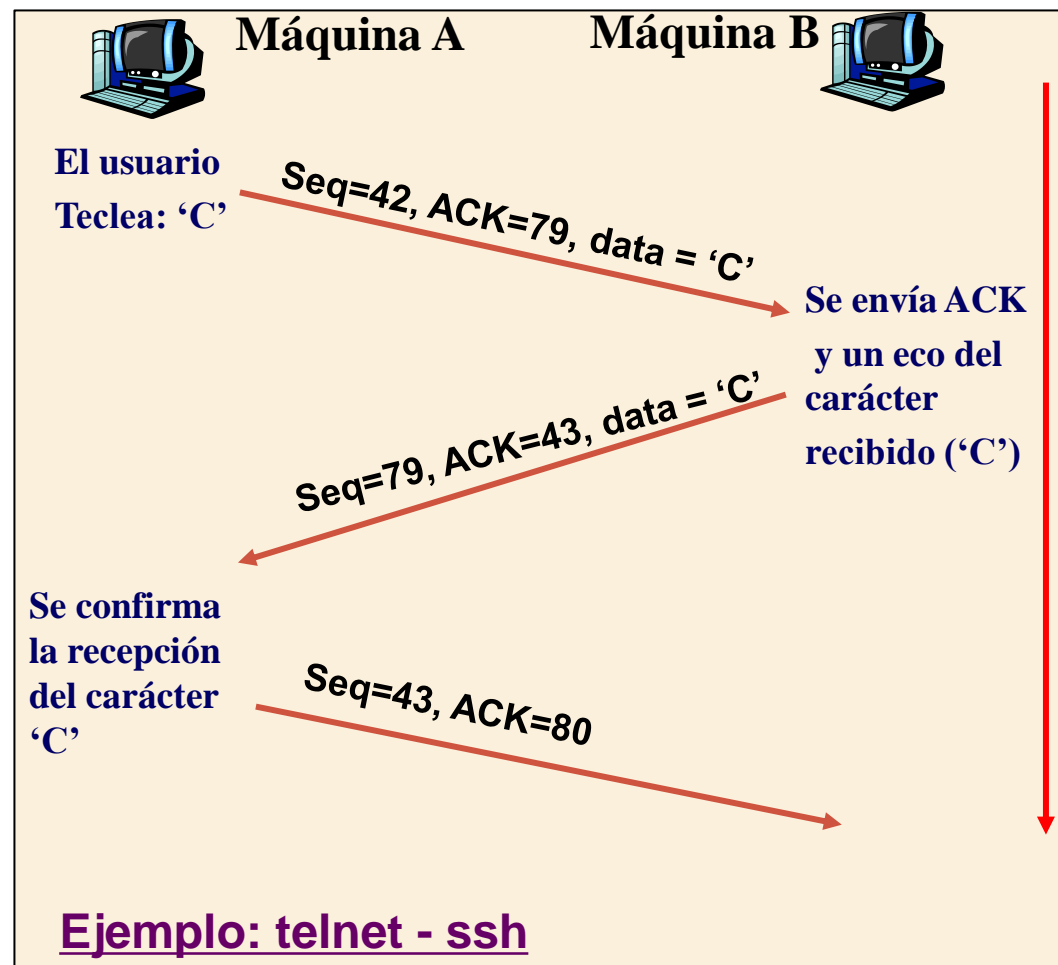


- El número inicial de secuencia se elige aleatoriamente
- Los segmentos SYN y SYN+ACK no llevan datos pero consumen números de secuencia

Transferencia de datos TCP

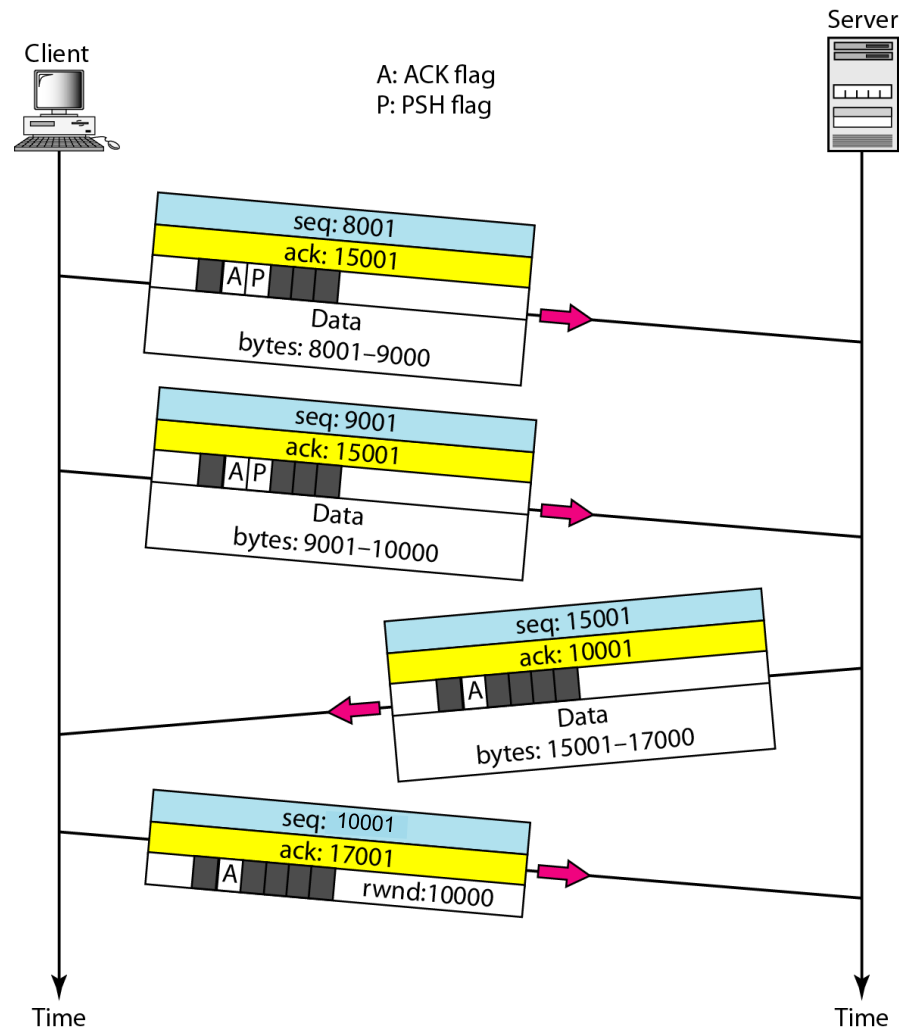
- ACKs:

- Número de secuencia del siguiente byte que se espera recibir
- $ACK = SEQ + \text{long}(\text{datos})$



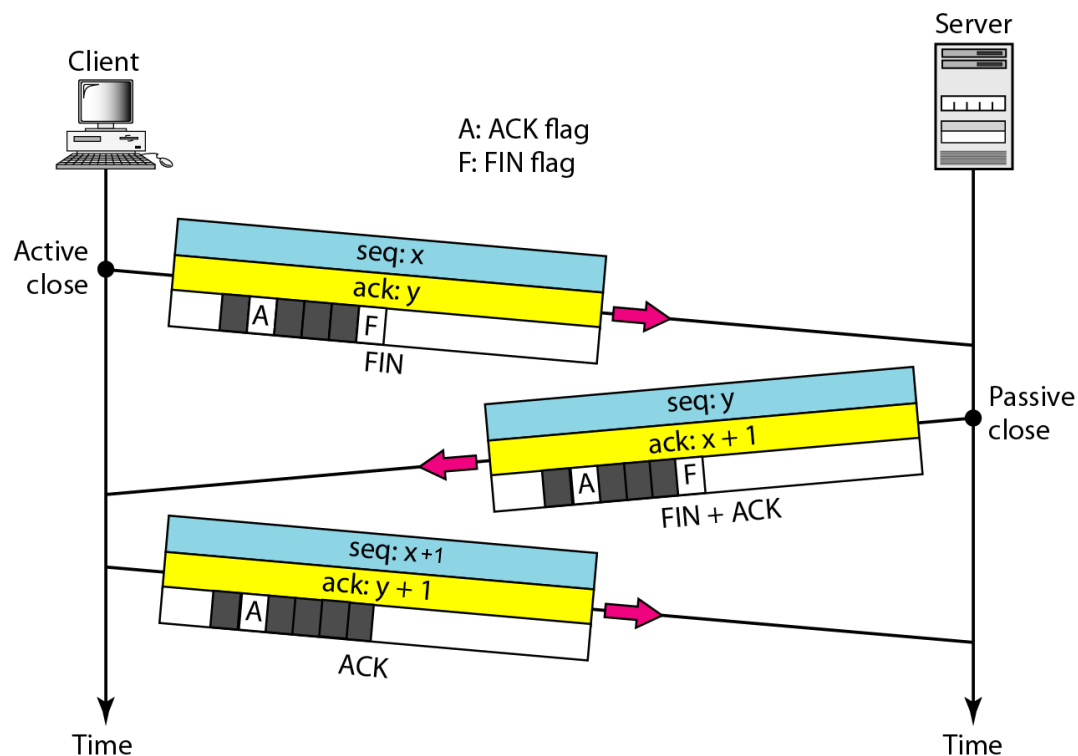
Transferencia de datos TCP

- Transmisión de datos bidireccional
 - Ambos extremos pueden enviar datos y confirmaciones
 - La confirmación se incluye con los datos
- Envío inmediato de datos (pushing, PSH)
 - El emisor no debe esperar a completar el buffer
 - El receptor entrega los datos lo antes posible



Finalización de las conexiones

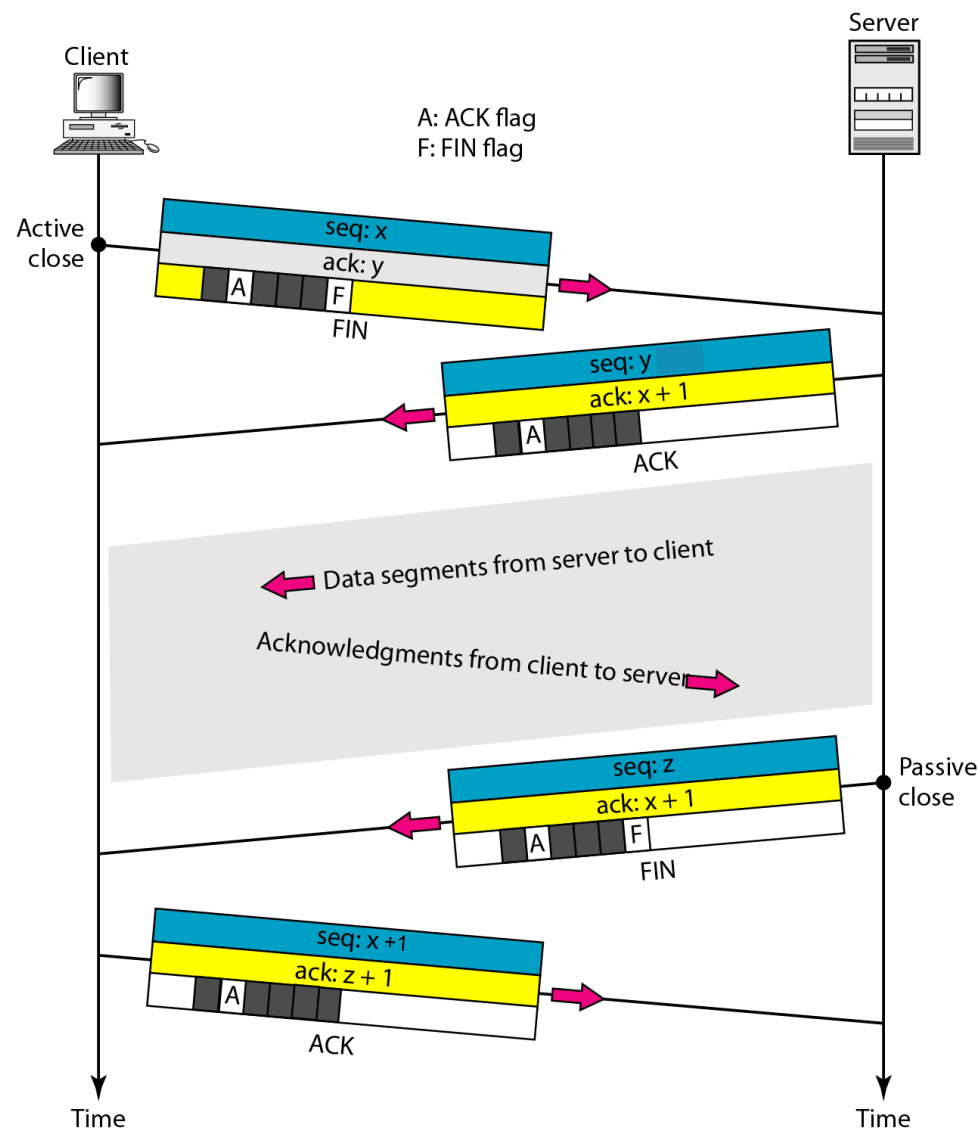
- Cierre en tres pasos – *three-way handshake*
 - Cualquiera de los dos extremos inicia la desconexión



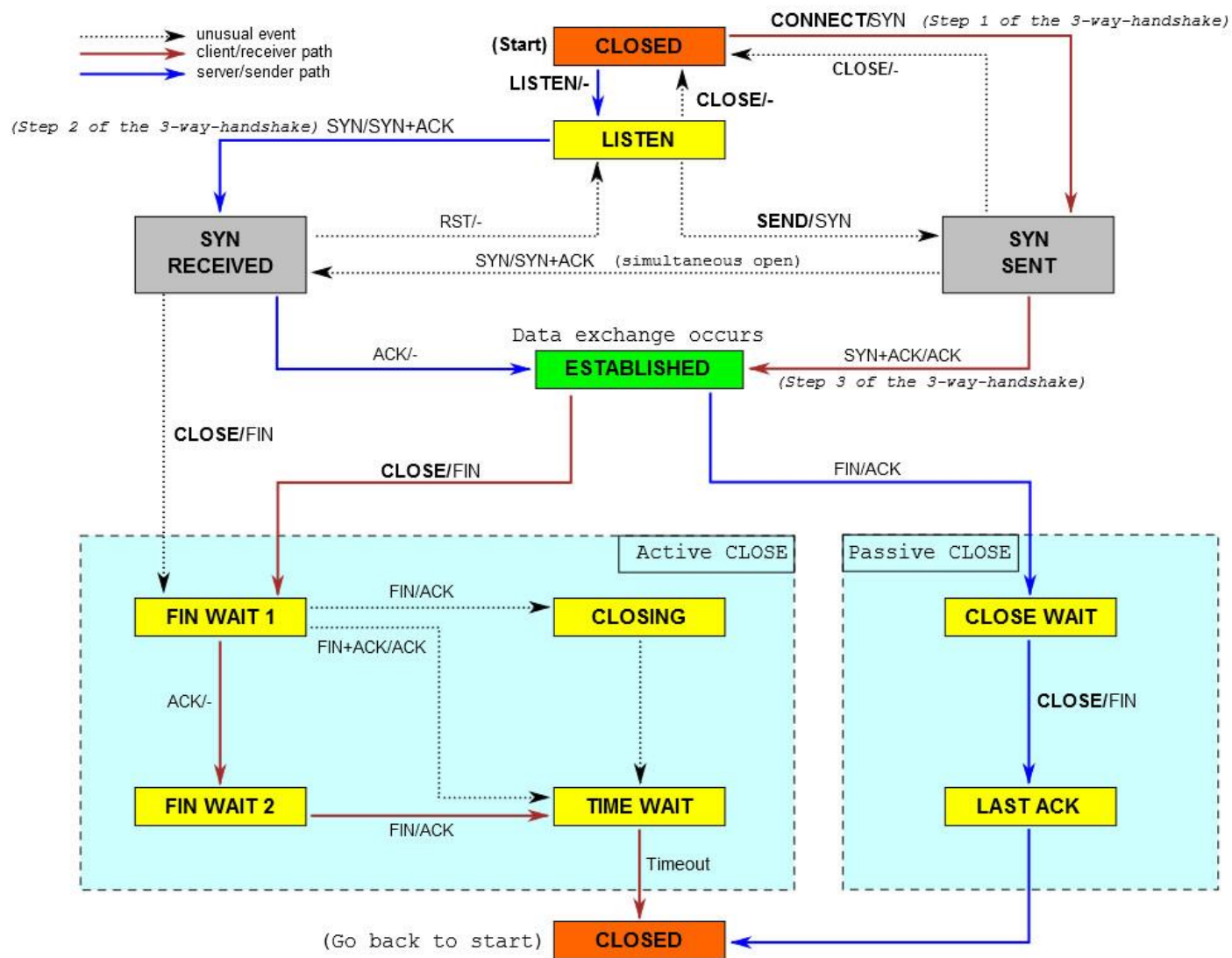
Finalización de las conexiones

• Semicierre

- Uno de los extremos deja de enviar datos mientras sigue recibiendo
- Actualmente incluso sin tener datos pendientes que enviar, se suele utilizar este esquema (difícil coordinar *close*)



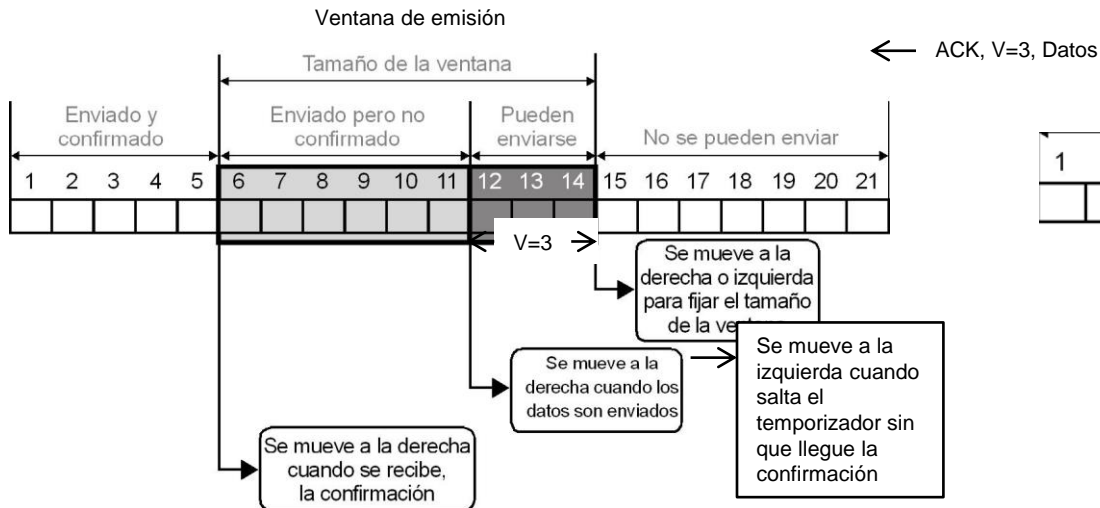
Máquina de estados TCP



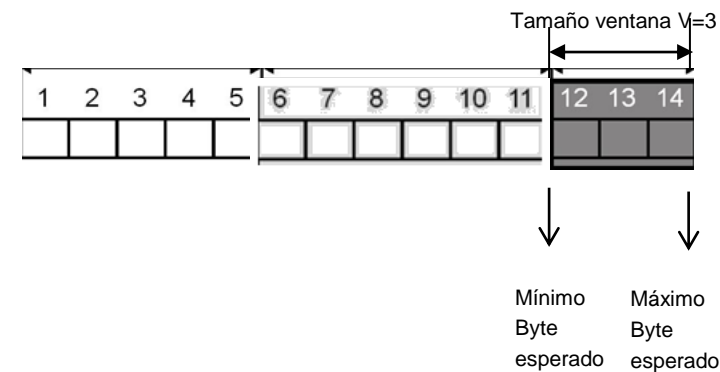
Control de flujo TCP: ventana deslizante (sliding window)

- Se usa una ventana deslizante para hacer la transmisión más eficiente
 - Las ventanas son orientadas a **byte**
 - Son de tamaño **variable**
 - Los bytes dentro de la ventana se pueden enviar sin preocuparse de la confirmación
 - La ventana de recepción es el valor notificado por el segmento opuesto en un segmento que contiene una confirmación → representa el número de bytes que puede aceptar antes de que su almacén se desborde y tenga que descartar datos
 - Hay 4 ventanas para una conexión full-dúplex

Ventana emisión

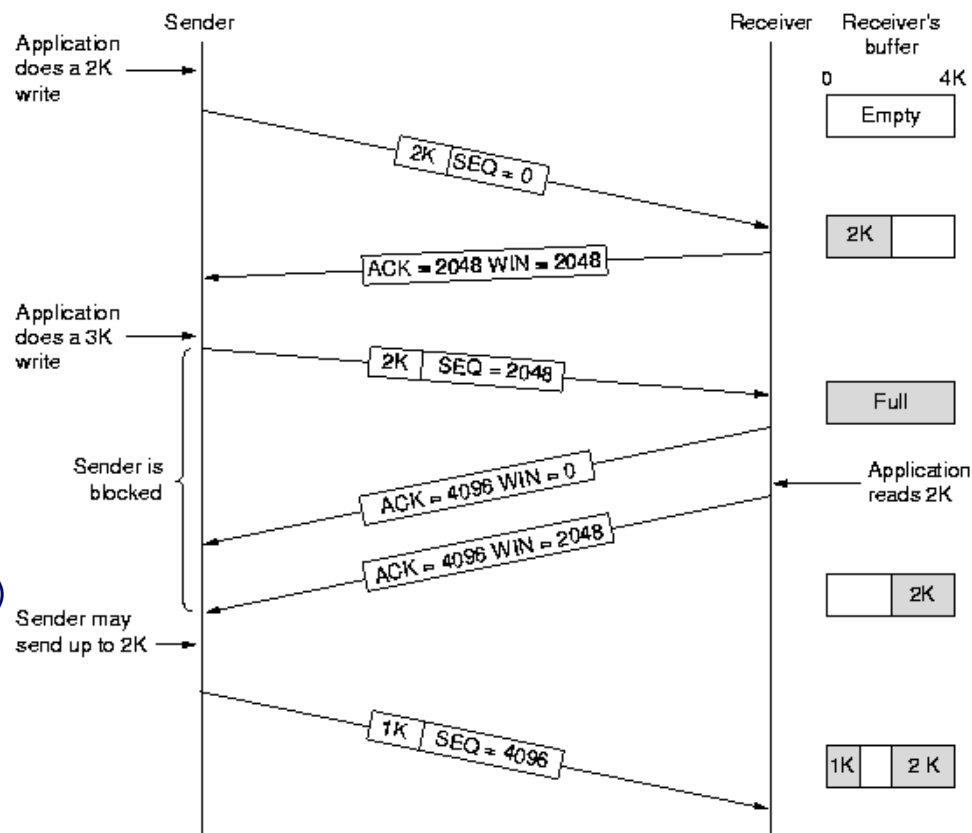


Ventana recepción



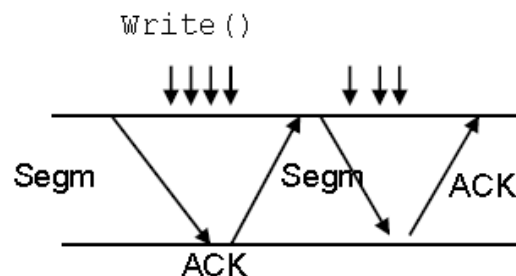
Control de flujo TCP: ajuste de la ventana

- Síndrome de Silly window
 - Una aplicación receptora lenta provoca la apertura de la ventana con tamaños pequeños => se generan segmentos de datos pequeños (muy ineficiente)
- Solución (lado del receptor)
 - Tras cerrar una ventana, el receptor no debe anunciar una Ventana distinta de 0 hasta que no pueda anunciar una ventana de tamaño suficiente
 - Habitualmente, el tamaño “suficiente” se fija a $T = \min(MSS, \text{buffer_recepción}/2)$



Control de flujo TCP: algoritmo de Nagle

- Solución al síndrome de Silly Window del lado del emisor
 - Algoritmo de Nagle es un método eficiente para evitar la transmisión de segmentos demasiado pequeños
- Algoritmo de Nagle
 - Si no existen datos esperando ser confirmados => `write(datos)` independientemente del tamaño de los datos
 - Si hay datos pendientes de ser confirmados => no se envían nuevos segmentos de datos hasta que suceda:
 - Que se reciba la confirmación de todos los datos pendientes de confirmación, o bien,
 - La longitud de los datos a transmitir sea mayor que MSS
 - Siempre respetando que $\text{long}(\text{datos}) \leq \text{tamaño ventana de recepción}$



Control de Errores en TCP

- TCP incluye mecanismos para detectar y corregir errores por segmentos
 - Corruptos
 - Perdidos
 - Fuera de orden
 - Duplicados
- Estos mecanismos son
 - Suma de comprobación
 - Confirmación acumulativa (positiva)
 - Retransmisión (con temporizadores)
 - Números de secuencia

Control de Errores en TCP

- Suma de comprobación de 16 bits
 - Detecta segmentos corruptos, que son descartados y considerados perdidos
- Confirmación
 - Indican la recepción de segmentos de datos
 - Los segmentos de control que no llevan datos pero si n° de secuencia se confirman (SYN, FIN)
 - Los segmentos ACK no se confirman
- Retransmisión
 - Se retransmite en dos ocasiones
 - Cuando expira un temporizador de retransmisión
 - Cuando se reciben 3 ACKs duplicados para el mismo número de secuencia
 - Los segmentos ACK no se retransmiten

Control de Errores en TCP

- Retransmisión después de un plazo de retransmisión (RTO – retransmission time out) **RFC 6289**
 - El emisor mantiene un temporizador RTO para todos los segmentos enviados pero no confirmados
 - Cuando vence el temporizador, el segmento pendiente anterior se retransmite
 - No se activa un RTO para los segmentos que sólo confirman
 - El valor del temporizador RTO es dinámico y se actualiza en base al **tiempo de ida y vuelta** (RTT): usa su media (SRTT) y varianza (RTTVAR)

$$\text{SRTT} = (1-\alpha).\text{SRTT} + \alpha.R' ; \alpha=1/8 \text{ y } R' \text{ es una nueva muestra}$$

$$\text{RTTVAR} = \beta.|\text{SRTT}-R'| + (1-\beta).\text{RTTVAR} ; \beta=1/4$$

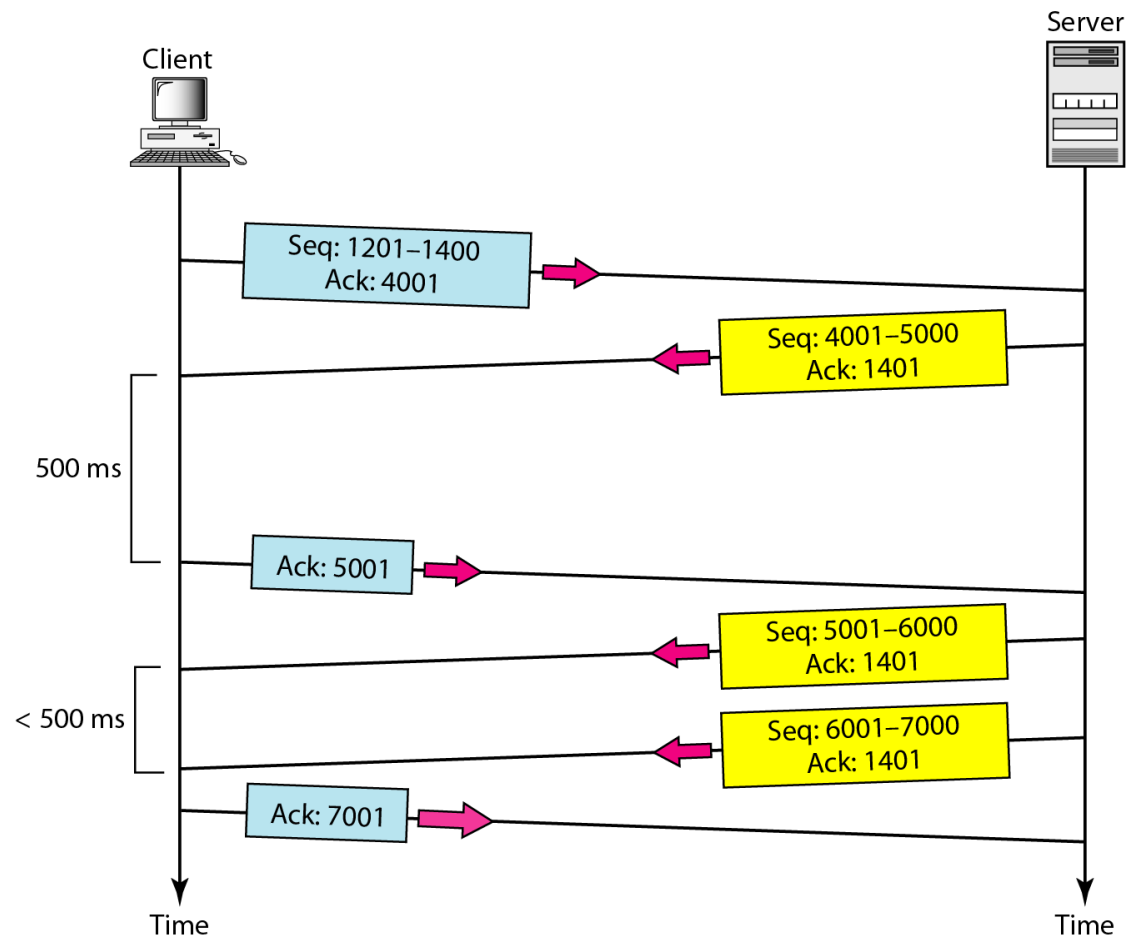
$$\text{RTO} = \text{SRTT} + \text{MAX}(G, 4*\text{RTTVAR}) ; \text{Se sugiere } G \leq 100\text{ms}$$

$$\text{Mínimo valor } \geq 1\text{s y Máximo valor } \leq 60\text{s}$$
- Retransmisión después de tres segmentos ACK
 - Escenario: se pierde un segmento y se reciben algunos fuera de orden
 - Un problema si el almacén del receptor es limitado
 - Se reciben 3 ACKs duplicados para el mismo número de secuencia → se reenvía el segmento perdido inmediatamente (**retransmisión rápida**)

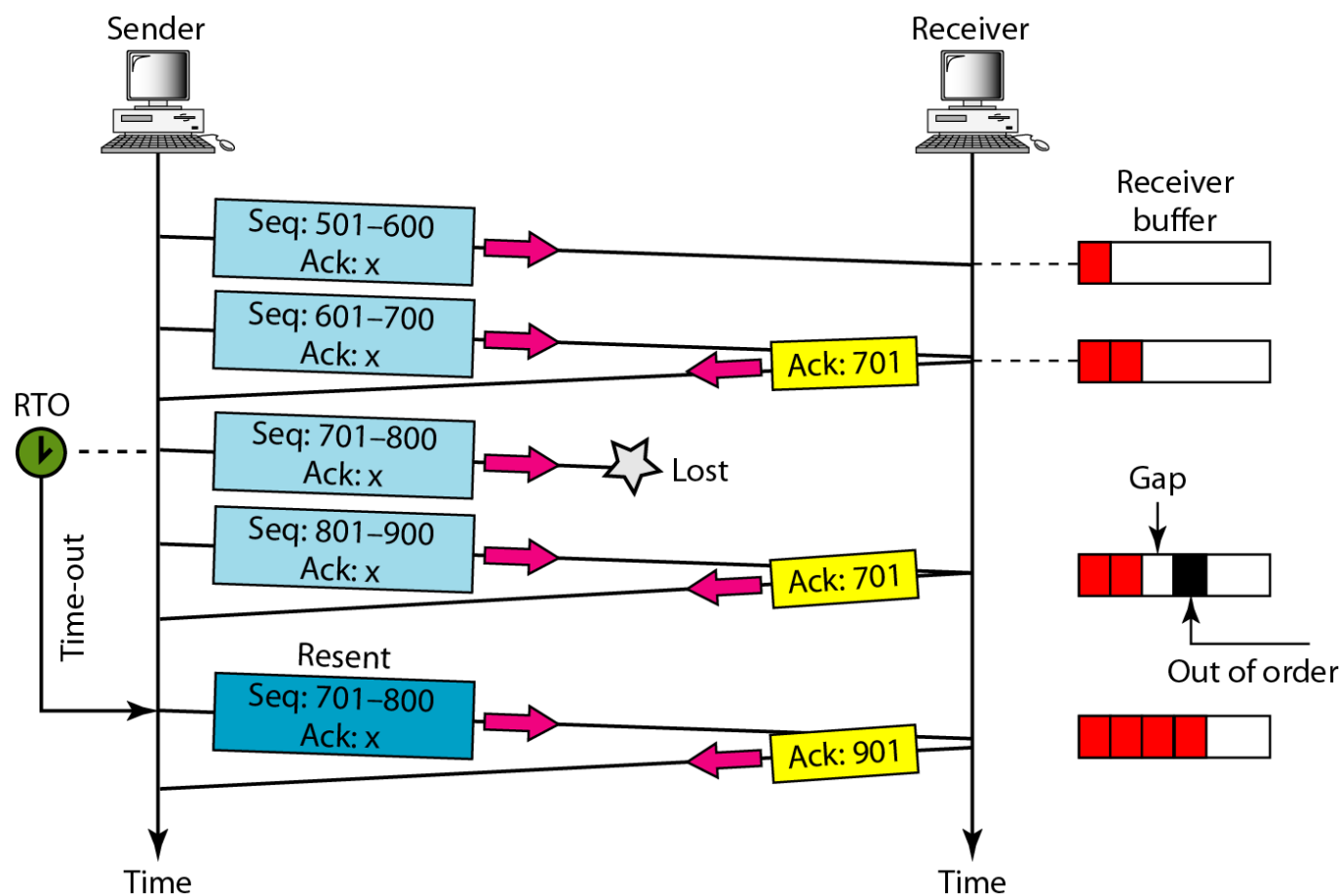
Control de Errores en TCP

- Segmentos fuera de orden
 - Antes se descartaban los segmentos fuera de orden, que eran retransmitidos
 - Actualmente se almacenan temporalmente y se marcan como “fuera de orden” hasta que llega el segmento perdido
 - Al ser marcados, no se entregan al proceso destino
 - Ningún segmento fuera de orden es entregado al proceso destino

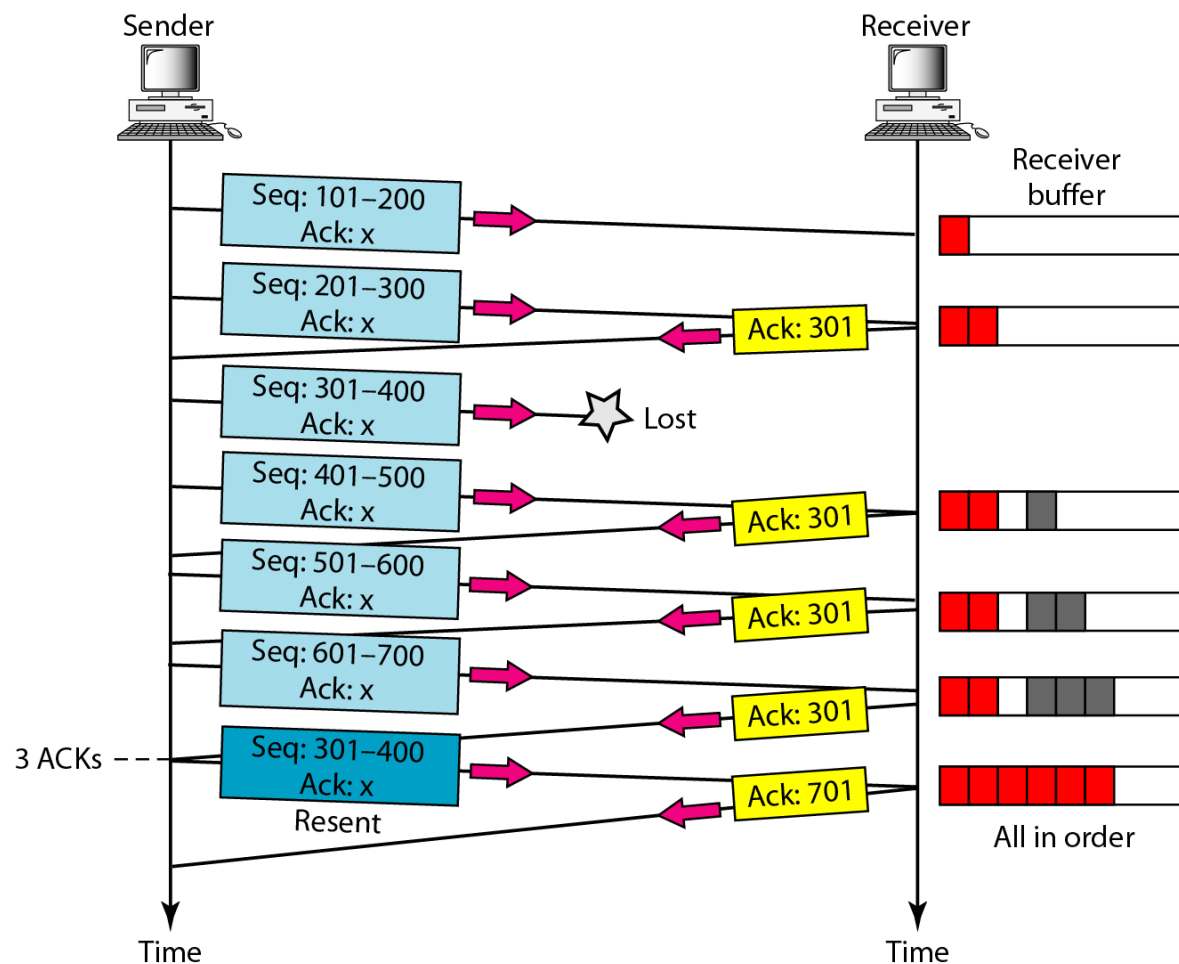
Funcionamiento de TCP: esquema sin errores



Funcionamiento de TCP: segmento perdido



Funcionamiento de TCP: retransmisión rápida

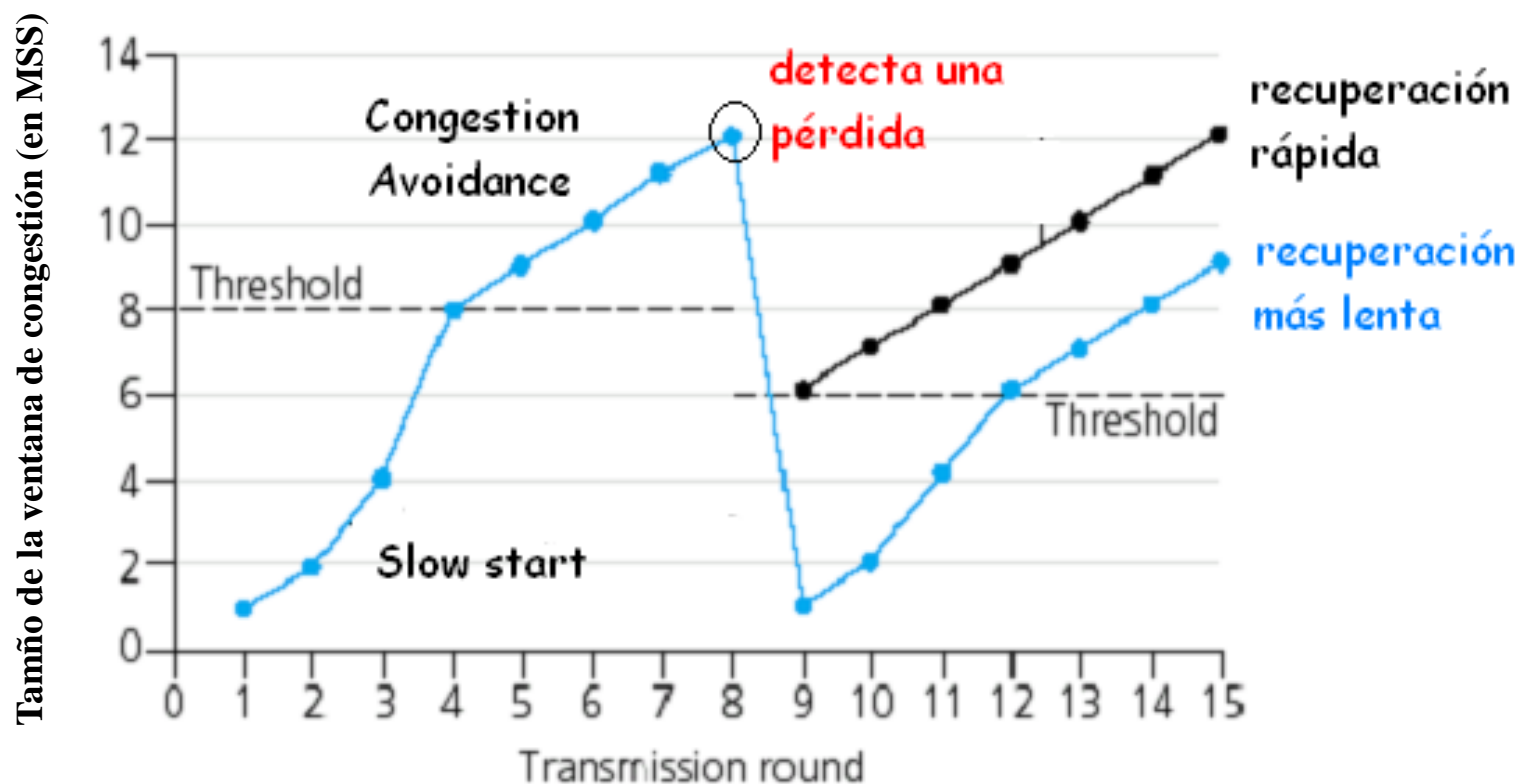


Control de congestión

- Conceptos diferentes
 - Control de flujo:
 - no enviar más paquetes de los que puede recibir el receptor
 - Control de congestión:
 - no enviar más paquetes en una parte de la red (subred)
- Control de congestión en TCP
 - La detección de congestión se basa en observar los siguientes hechos:
 - El aumento del RTT de los segmentos confirmados, respecto a anteriores segmentos.
 - La finalización de temporizadores de retransmisión
 - ... son causados por congestión en la red

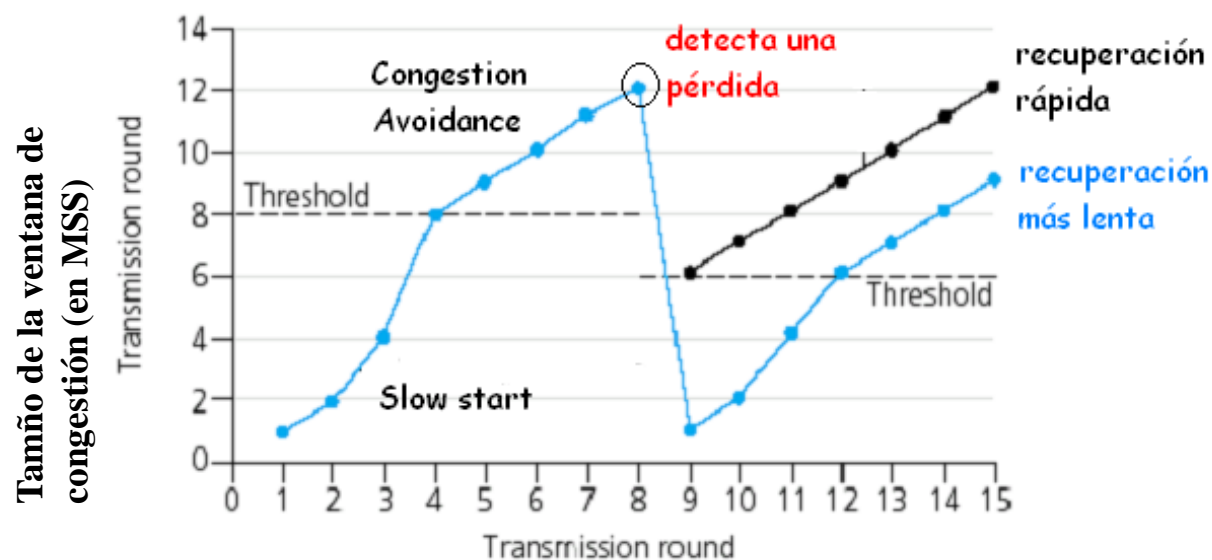
Control de congestión

- Mecanismos de control de congestión
 - Slow start, congestion avoidance (obligatorios)



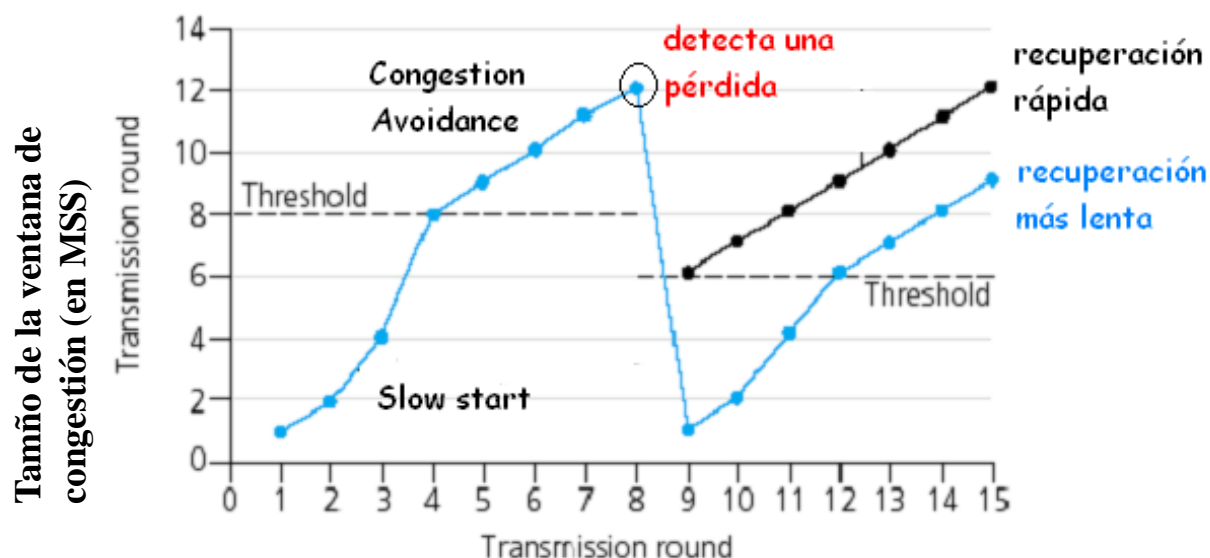
Control de congestión

- Slow start
 - Inicialmente longitud de ventana de congestión (del emisor)
 - $\text{long}(\text{ventana_emisor}) = \text{MSS}$
 - Cada vez que se recibe un ACK
 - $\text{long}(\text{ventana_emisor}) = \text{long}(\text{ventana_emisor}) + \text{MSS}$
 - Ojo, el crecimiento de la ventana es exponencial



Control de congestión

- Congestion avoidance
 - Intenta suavizar el crecimiento de la ventana del slow start
 - Si salta el temporizador (signo de congestión)
 $\text{long}(\text{ventana_emisor}) = \text{MSS}$ (se vuelve al slow start)
 - Si aumenta mucho el RTT o hay ACKs duplicados (signos de congestión)
 - Se reduce la subida del tamaño de la ventana_emisor de exponencial a lineal
 $\text{long}(\text{ventana_emisor}) = \text{long}(\text{ventana_emisor}) + \text{MSS} / \text{long}(\text{ventana_emisor})$



Protocolo SCTP

- El **Stream Control Transmission Protocol** (SCTP) fue definido por SIGTRAN de IETF (2000).
- Características:
 - Orientado al mensaje (como UDP).
 - Orientado a la conexión, confiable, con control de flujo y de congestión y secuenciación (como TCP).
 - Permite opcionalmente envío de mensajes fuera de orden.
- Ventajas:
 - *Multihoming* (posibilidad de varias IP en cada extremo de la comunicación).
 - Selección y monitorización de caminos (múltiples flujos).
 - Mecanismos de validación y protección contra ataques.
- Implementado en diversos sistemas tipo UNIX (Linux, Solaris, FreeBSD, ...).

Tema 1. Introducción a las redes y sistemas distribuidos

Tema 2. Técnicas de acceso y control de enlace

Tema 3. Protocolos de Interconexión de Redes

Tema 4. Servicios básicos para el nivel de transporte en Internet

Tema 5. Aplicaciones distribuidas en Internet

Se verá en prácticas

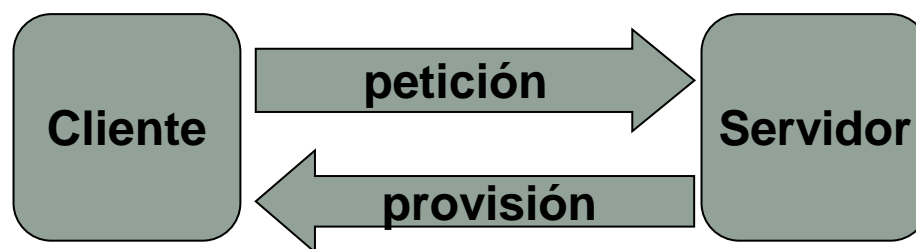
Programación básica de Aplicaciones Distribuidas (Sockets)

Esquemas de programación en TCP y UDP

PROGRAMACIÓN DISTRIBUIDA

Paradigma Cliente/Servidor

- La programación de aplicaciones distribuidas sigue el paradigma cliente/servidor.
- Vamos a diferenciar entre procesos clientes y servidores
- La estructura general de estas aplicaciones es:

**Cliente:**

```
...  
Petición_servicio()  
Servicio(...)  
....
```

Servidor:

```
WHILE TRUE DO  
    Espera_petición(...)  
    Servicio(...)  
END
```

Paradigma Cliente/Servidor

- Los procesos servidores:
 - Son procesos permanentemente activos que ofrecen un servicio concreto siempre disponible para los usuarios del servicio
 - El servidor tiene una dirección fija y conocida
- Los procesos clientes
 - Piden un servicio en un momento dado
 - Se comunican sólo con el servidor
- Clientes y servidores de una misma aplicación se comunicarán mediante el intercambio de mensajes utilizando los servicios del nivel de Transporte
- El envío y recepción de mensajes se realiza a través de **sockets**

Programación con sockets

- Definición de socket
 - Un socket es un punto final (origen o destino) de comunicación entre procesos que se ejecutan en ordenadores diferentes
 - El canal que se establece es bidireccional (dúplex)
 - La interfaz socket es una API (*Application Programming Interface*) para realizar aplicaciones distribuidas sobre una red
- Dos tipos básicos de sockets
 - **Sockets TCP**: comunicación orientada a la conexión, fiable
 - **Sockets UDP**: comunicación no orientada a la conexión, no fiable

Alternativas para programa con sockets

- C/C++
 - La interfaz socket original estaba diseñada para ser usada desde C sobre sistemas UNIX
 - Tiene el inconveniente de ser compleja de usar
 - Problemas de portabilidad
 - Muy buen rendimiento
 - Posibilidad de acceder a toda la pila TCP/IP desde código
 - Ej: modificar una tabla de encaminamiento, manipulación de memoria caché ARP, configuración de las interfaces de red, etc.
- Java
 - Funciones de manejo de sockets simplificadas respecto a C
 - Código más corto y más legible
 - Código portable
 - “Problemas de rendimiento inherentes al lenguaje”
 - No es posible acceder a toda la pila TCP/IP desde código
 - Uso de “C” a través de JNI (*Java Native Interface*)
- Otras alternativas
 - C# (.NET), Python, etc.

Programación con sockets TCP en Java

- Características
 - Se utiliza el modelo cliente/servidor para establecer las conexiones
 - Una vez creado el canal de comunicaciones, los roles del servidor y del cliente dependen del programador
 - El servidor tiene que estar activo para que el cliente pueda establecer la conexión
 - Proporcionado en el paquete java.net
- Conceptos
 - **ServerSocket**: clase que usa el servidor para aceptar conexiones de los clientes
 - **Socket de conexión**: socket que se crea cuando se establece una conexión entre un cliente y un servidor

Programación con sockets TCP

- Acciones del servidor
 - Crear un socket Servidor
 - Esperar una solicitud de conexión
 - Crear el socket de conexión
 - Enviar/recibir usando el socket de conexión
 - Cerrar la conexión
- Acciones del cliente
 - Conectarse con el servidor (crea el socket de conexión)
 - Enviar/recibir usando el socket de conexión
 - Cerrar la conexión

Programación con sockets UDP

- Características
 - UDP proporciona un servicio sin conexión
 - No existe un canal de comunicaciones preestablecido
 - No existen los roles de servidor y cliente
 - Los procesos envían mensajes (datagramas)
 - Los datagramas pueden perderse, llegar en desorden, etc., por lo que el programador es responsable de implementar un protocolo de gestión de este tipo de errores
 - No adecuado para redes con probabilidad de error alta
 - Es más eficiente que TCP

Programación con sockets UDP en Java

- Acciones del servidor
 - Crear un socket
 - Recibir un mensaje (datagrama)
 - Enviar un mensaje de respuesta
- Acciones del cliente
 - Crear un socket
 - Enviar un mensaje (datagrama)
 - Recibir mensaje de respuesta
 - Cerrar el socket