TEMA 5. La capa de transporte. Protocolos TCP y UDP

PROFESORES:

Rafael Moreno Vozmediano
Juan Carlos Fabero Jiménez
Julio Septién del Castillo
Alberto del Barrio García
Joaquín Recas Piorno

OTROS AUTORES:

Rubén Santiago Montero
Inmaculada Pardines Lence
Carlos González Calvo
Eduardo Huedo Cuesta

Contenidos

1. Introducción
2. El modelo cliente-servidor, puertos y sockets
3. Protocolo UDP
4. Protocolo TCP

Contenidos

1. Introducción
2. El modelo cliente-servidor, puertos y sockets
3. Protocolo UDP
4. Protocolo TCP

Protocolos de transporte en Internet: TCP y UDP

- **El protocolo TCP (Transmission Control Protocol)**
  - Protocolo de transporte "orientado a conexión"
  - Garantiza un servicio extremo a extremo fiable
    - Detecta segmentos de datos perdidos o erróneos y los retransmite
    - Detecta segmentos duplicados y los descarta
    - Ordena los segmentos en el destino y los entrega de forma ordenada a la capa de aplicación
  - Utilizado en aplicaciones en las que la fiabilidad en la entrega es más importante que la rapidez
    - Ejemplos: FTP, HTTP, Telnet, SMTP, etc.
- **El protocolo UDP (User Datagram Protocol)**
  - Protocolo de transporte "sin conexión"
  - **No garantiza** un servicio extremo a extremo fiable
    - No controla la pérdida de paquetes, los errores o la duplicidad
  - Utilizado en aplicaciones en las que la rapidez en la entrega es más importante que la fiabilidad
    - DNS, SNMP, RIP, RTP, etc.

Protocolos de transporte en Internet: TCP y UDP

Caraterística	TCP	UDP
Tipo de conexión	Orientado a conexión: • Entrega ordenada de paquetes • Retransmisión de paquetes perdidos o erróneos • Detección de duplicados	Sin conexión (best effort): • No garantiza la entrega ordenada • No retransmite paquetes perdidos o erróneos • No detecta duplicados
Unidad de transferencia	Segmento (20 bytes mínimo de cabecera)	Datagrama (8 bytes mínimo de cabecera)
Fases de la comunicación	1. Establecimiento de conexión 2. Transferencia de datos 3. Cierre de conexión	1. Transferencia de datos (bloques individuales)
Control de errores/flujo	Método de tipo ventana deslizante • Numeración de segmentos • Confirmación • Retransmisión	Sin control de errores ni flujo
Ejemplos	Telnet, FTP, HTTP, SMTP, POP3...	DNS, RIP, SNMP, DHCP...

Contenidos

1. Introducción
2. El modelo cliente-servidor, puertos y sockets
3. Protocolo UDP
4. Protocolo TCP

El modelo cliente-servidor

- **El modelo cliente-servidor**
  - Es el patrón de comunicación usado por la mayoría de las aplicaciones de Internet (tanto TCP como UDP)
  - Existen otros modelos (p.ej. peer-to-peer)
- **Cliente**
  - Es la aplicación o proceso que inicia la conexión o el intercambio de datos con la máquina remota (servidor)
  - La aplicación cliente normalmente la arranca un usuario cuando quiere utilizar un servicio de la red
  - Ejemplos: Navegador web (TCP), cliente de e-mail (TCP), consulta al servidor DNS (UDP)
- **Servidor**
  - Es la aplicación o proceso (también denominado servicio) que recibe y acepta la solicitud de conexión o intercambio de datos del cliente
  - Esta aplicación normalmente está ejecutándose continuamente en la máquina remota y está a la espera de solicitudes de clientes
  - Ejemplos: Servidor web (TCP), servidor de correo electrónico (TCP), servidor DNS (UDP)

Puertos

- **Puertos**
  - Toda aplicación o proceso de red (cliente o servidor) ejecutándose en un computador está identificada por un **número de puerto** único dentro de dicho sistema
    - El puerto es un identificador de 16 bits
    - Se usa tanto en aplicaciones basadas en TCP como en UDP
- **Puerto de un proceso cliente**
  - Cuando el usuario arranca el proceso cliente, el SO de la máquina cliente le asigna un número de puerto libre
  - Este número de puerto es siempre un número > 1023 (puertos efímeros)

    (Los nº de puerto <= 1023 se usan para puertos servidores con privilegios de superusuario)
- **Puerto de un proceso servidor**
  - Cuando un proceso cliente solicita una comunicación con un servidor, el cliente debe conocer de antemano el número de puerto del servidor
  - Habitualmente, cada tipo de servidor utiliza un nº de puerto fijo, denominado puerto bien conocido (well-known port), que suele ser el mismo en todos los sistemas

Puertos

- **Puerto de un proceso servidor**
  - Ejemplos de puertos bien conocidos

Servidor	**Puerto**	**Servidor**	**Puerto**
FTP	20 y 21	DNS	53
SSH	22	HTTP	80
TELNET	23	POP3	110
SMTP	25	NTP	123

  - En un sistema Linux, el archivo **`/etc/services`** contiene el puerto bien conocido asociado a cada tipo de servicio
  - Los servicios clásicos de Internet suelen tener un puerto bien conocido <= 1023, pero existen multitud de servidores con puertos > 1023

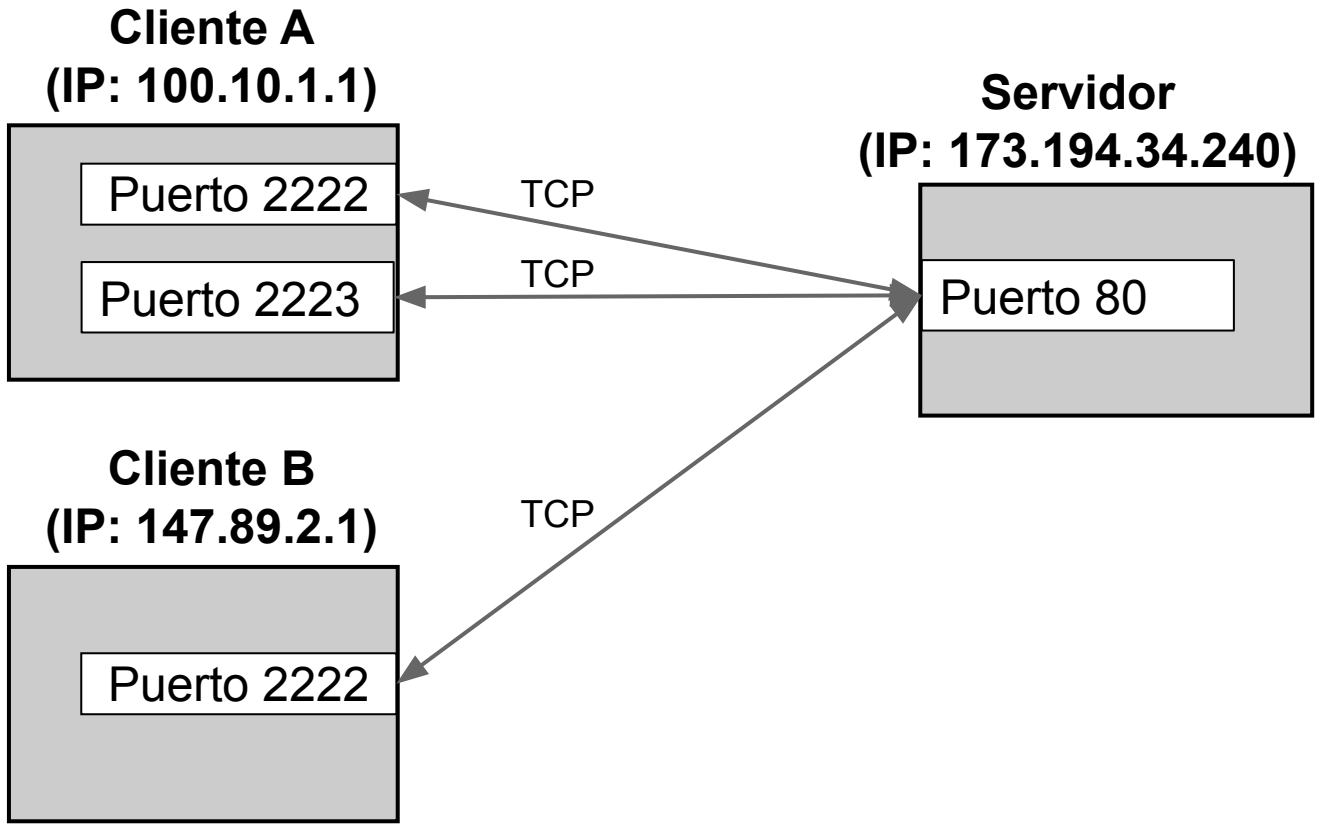
Sockets

- **Sockets**
  - Cuando se establece un canal de comunicación entre cliente y servidor (TCP o UDP) los extremos de dicho canal se denominan "**sockets**" (enchufe)
  - Un socket se identifica mediante 3 parámetros
    - Dir. IP, nº de puerto y protocolo (TCP o UDP)
  - Una vez creados los sockets en ambos extremos, éstos permiten el intercambio de datos bidireccional entre cliente y servidor

- **Parámetros en una comunicación cliente/servidor**
  - Un canal de comunicación entre un cliente y un servidor (TCP o UDP) se identifica de forma **única** por los parámetros de ambos sockets:
    - Protocolo (TCP o UDP, el mismo para ambos extremos)
    - Dir. IP cliente
    - Puerto cliente
    - Dir. IP servidor
    - Puerto servidor

Concurrencia

- **Servidores concurrentes**
  - Es necesario atender concurrentemente a múltiples usuarios
  - El servidor identifica cada comunicación de forma única por los parámetros indicados anteriormente:
    - Protocolo - IP cliente - Puerto cliente - IP servidor - Puerto servidor
    - Estos parámetros no se pueden repetir en dos comunicaciones distintas



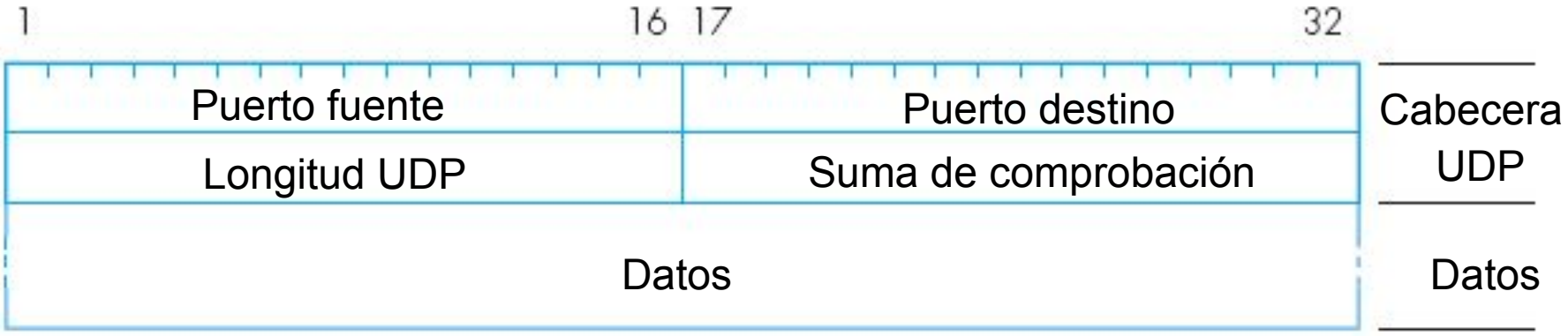
Contenidos

1. Introducción
2. El modelo cliente-servidor, puertos y sockets
3. Protocolo UDP
4. Protocolo TCP

El protocolo UDP: Características

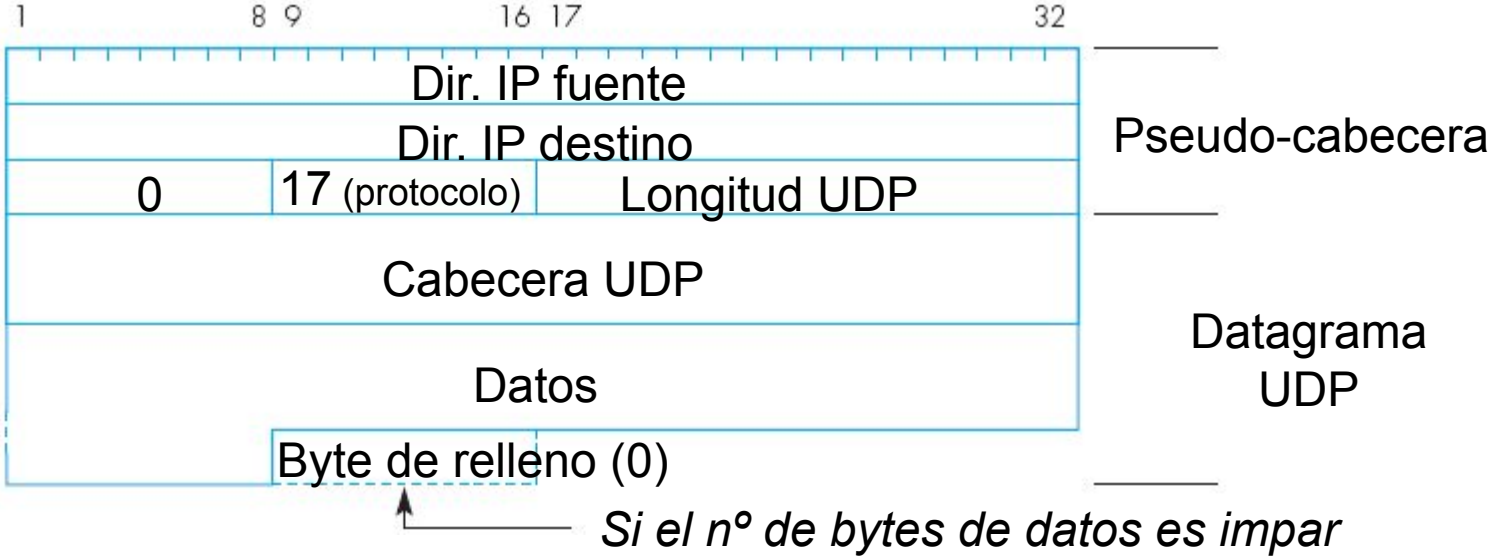
- El protocolo UDP es un protocolo sin conexión y no fiable
- UDP divide los mensajes en datagramas, pero éstos NO se numeran
- El receptor NO envía confirmación de la recepción de los mismos
- UDP no garantiza:
  - la recuperación de datagramas perdidos o erróneos
  - la presentación ordenada de datagramas
  - la eliminación de duplicados

- **Formato del Datagrama:**



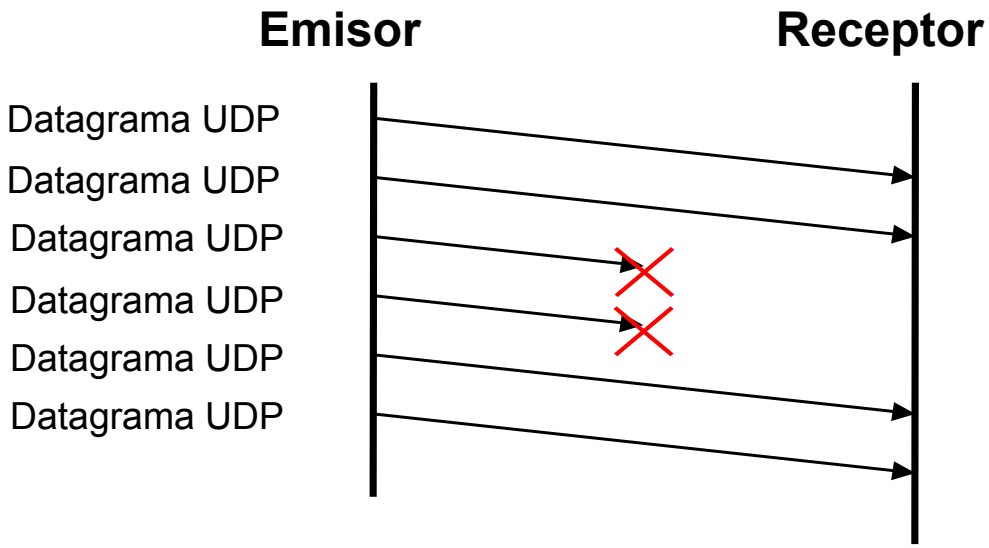
El protocolo UDP: Campos de la cabecera

- **Puerto origen y destino:**
  - Identifican a las aplicaciones que se comunican
- **Longitud UDP**
  - Longitud total en bytes del datagrama UDP (incluyendo datos y cabecera)
- **Suma de comprobación**
  - Se calcula como el complemento a 1 de la suma en complemento a 1 de todas las palabras de 16 bits que forman parte de:
    - El datagrama UDP (datos + cabecera UDP)
    - Una pseudo-cabecera formada por información de la cabecera IP: dir. IP fuente, dir. IP destino, campo Protocolo y longitud UDP

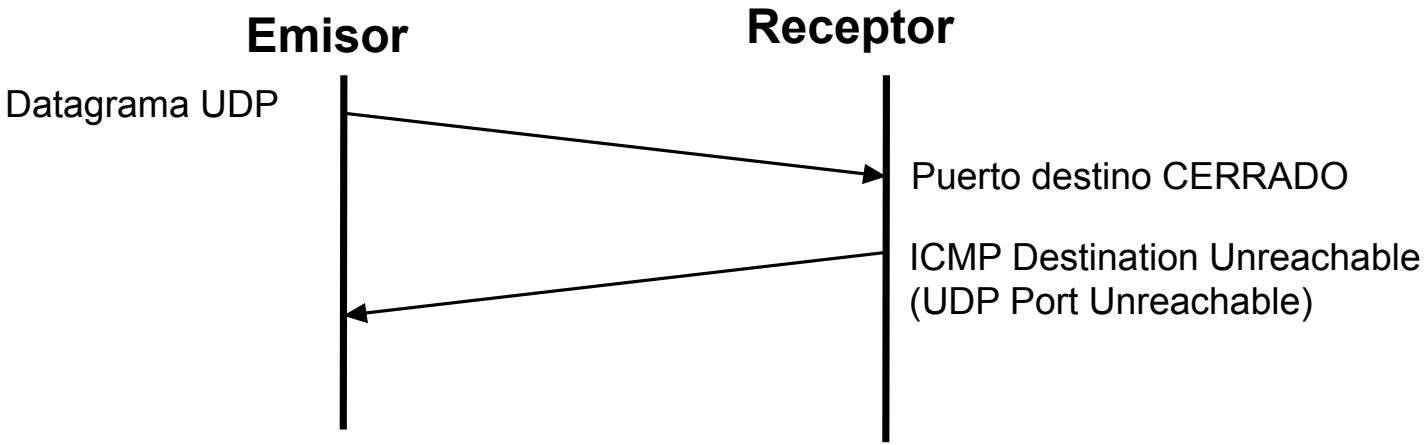


El protocolo UDP: Mecanismos de transmisión

- Envío de paquetes UDP a un **puerto** de servicio **ABIERTO**



- Envío de paquetes UDP a un **puerto** de servicio **CERRADO**



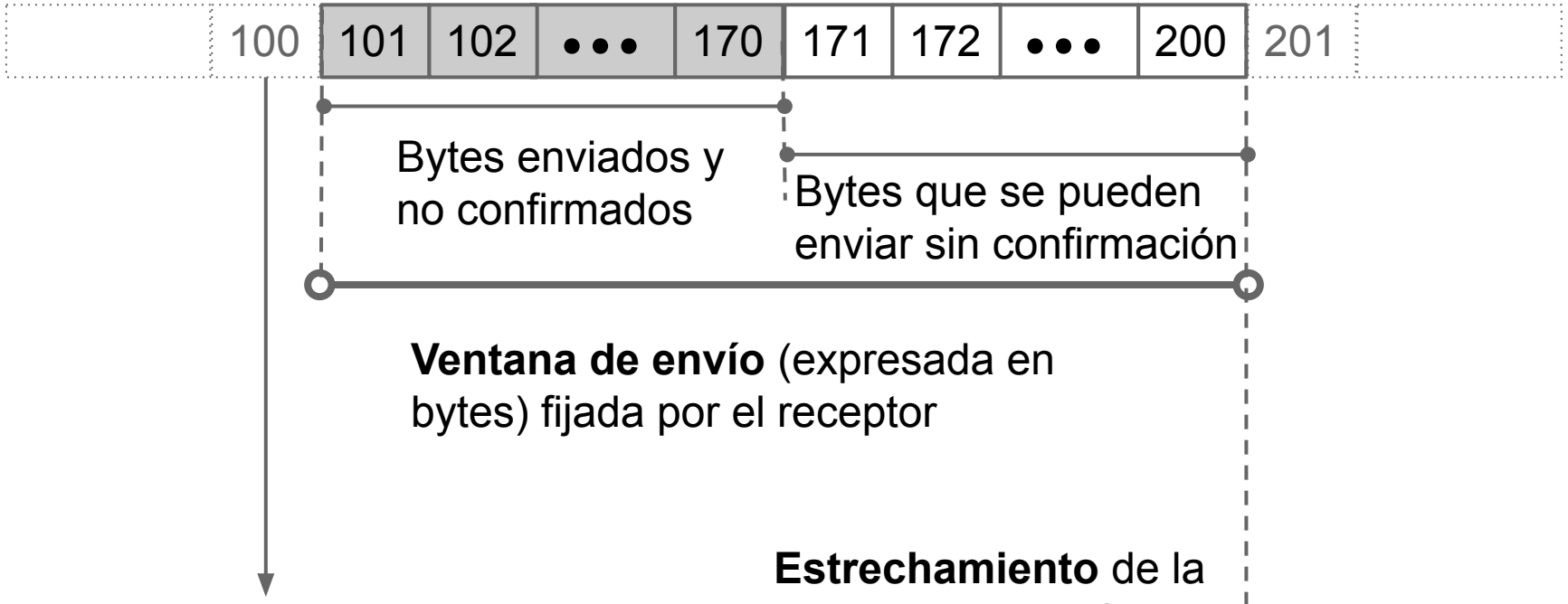
Contenidos

1. Introducción
2. El modelo cliente-servidor, puertos y sockets
3. Protocolo UDP
4. Protocolo TCP

El protocolo TCP: Características

- **Unidad de transferencia**: Segmento TCP
- **Fases en una transmisión**:
  1. Establecimiento de conexión
  2. Transferencia de datos
  3. Cierre de conexión
- **Mecanismos de control de errores**: tipo ventana deslizante
  - Numeración de segmentos
    - Cada segmento lleva un número de secuencia de 32 bits
    - Indica la posición del primer byte del segmento dentro del mensaje
  - Confirmaciones superpuestas del receptor
    - Cuando el receptor recibe un segmento de datos correcto y sin errores, envía una confirmación al emisor
  - Retransmisión de segmentos
    - Si transcurrido un tiempo desde que se envió el segmento, el emisor no recibe confirmación, entonces retransmite de nuevo el segmento

El protocolo TCP: Ventana deslizante (envío)



Segmento, grupo de bytes que se envían en cada mensaje

Bytes enviados y no confirmados

Bytes que se pueden enviar sin confirmación

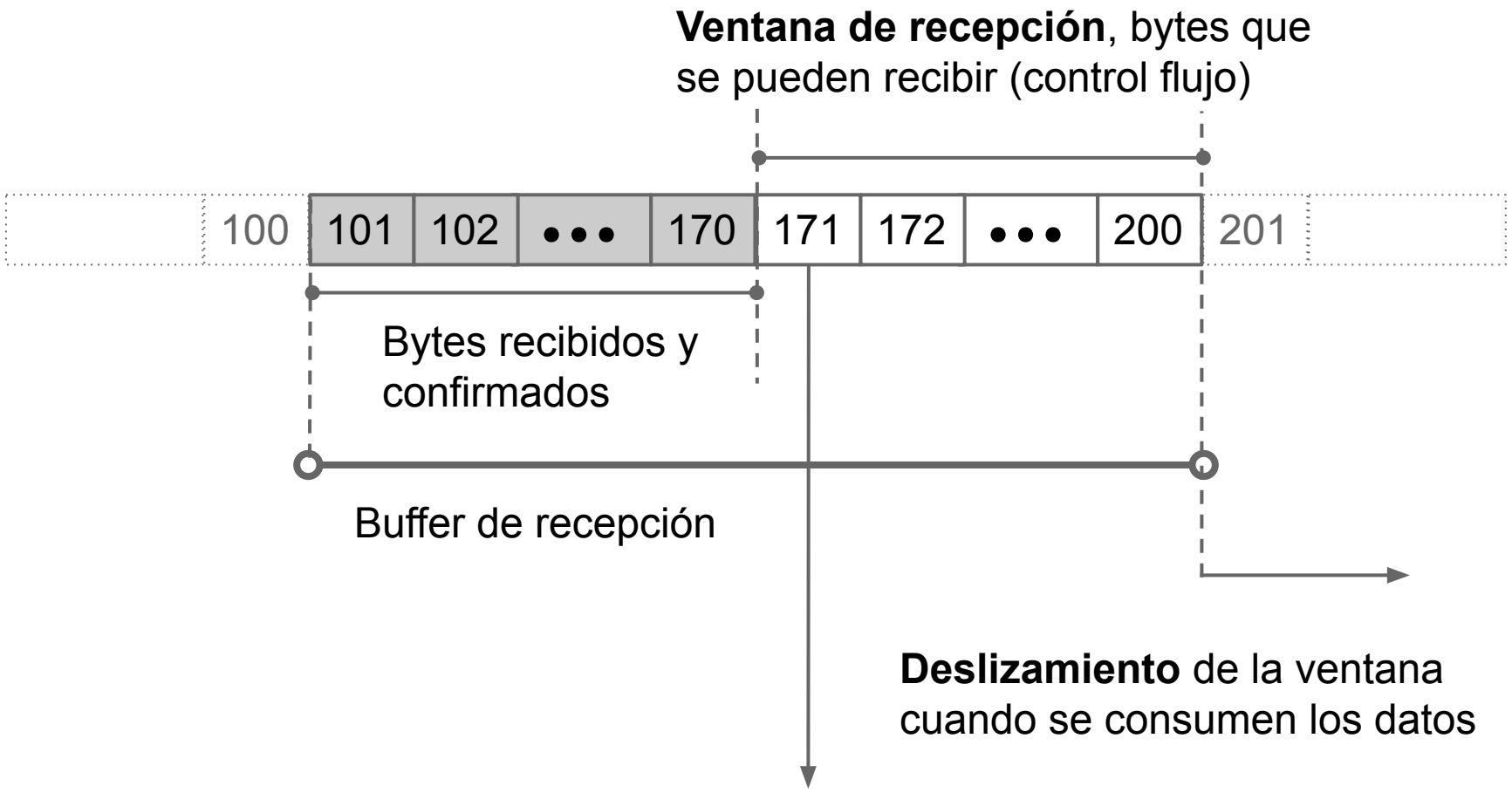
Ventana de envío (expresada en bytes) fijada por el receptor

Números de secuencia, número de byte en el flujo de datos. Primer byte del segmento

Estrechamiento de la ventana (control flujo)

Deslizamiento de la ventana cuando se recibe una confirmación

El protocolo TCP: Ventana deslizante (recepción)

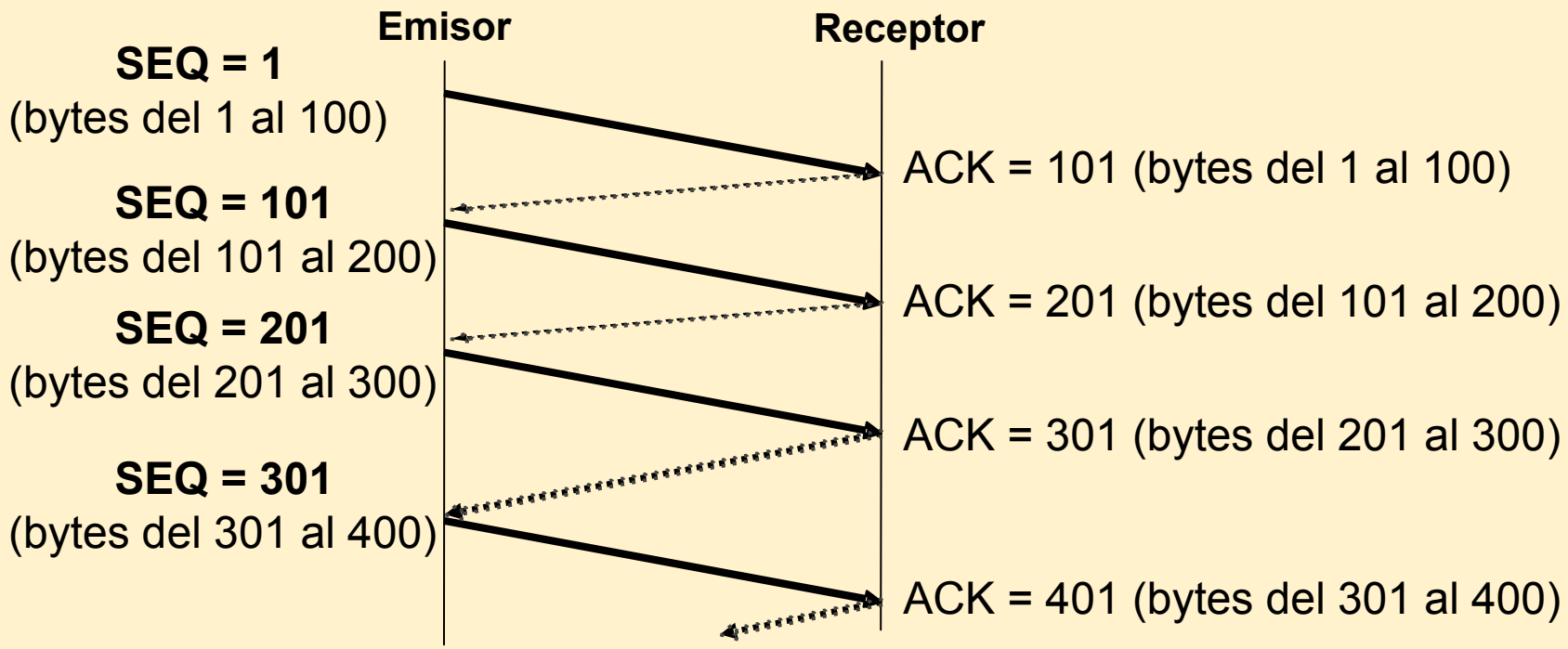


Números de confirmación (ACK), número del primer byte en el flujo de datos que se espera recibir

- Acumulativos, confirman todos los bytes anteriores al de ACK
- *Piggybacking*, se solapan con el envío de datos

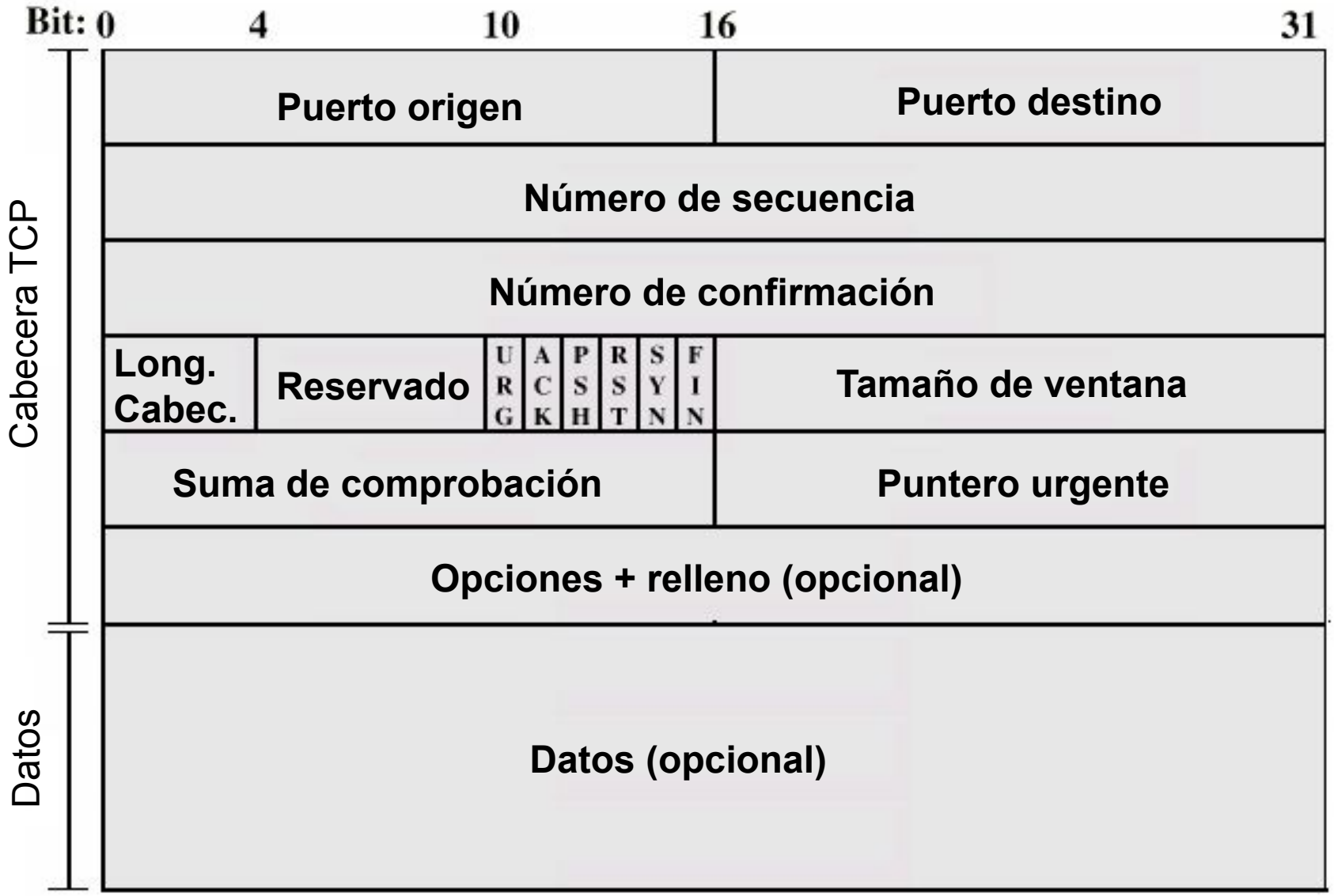
Ventana deslizante: Funcionamiento

Ejemplo: Transmisión sin errores. Tamaño de la ventana 100 bytes. Tamaño del segmento 100 bytes.



Ejemplo: ¿Cuáles serían los números de secuencia y confirmación para un tamaño de segmento de 50 bytes?

El protocolo TCP: Formato del segmento



El protocolo TCP: Formato del segmento

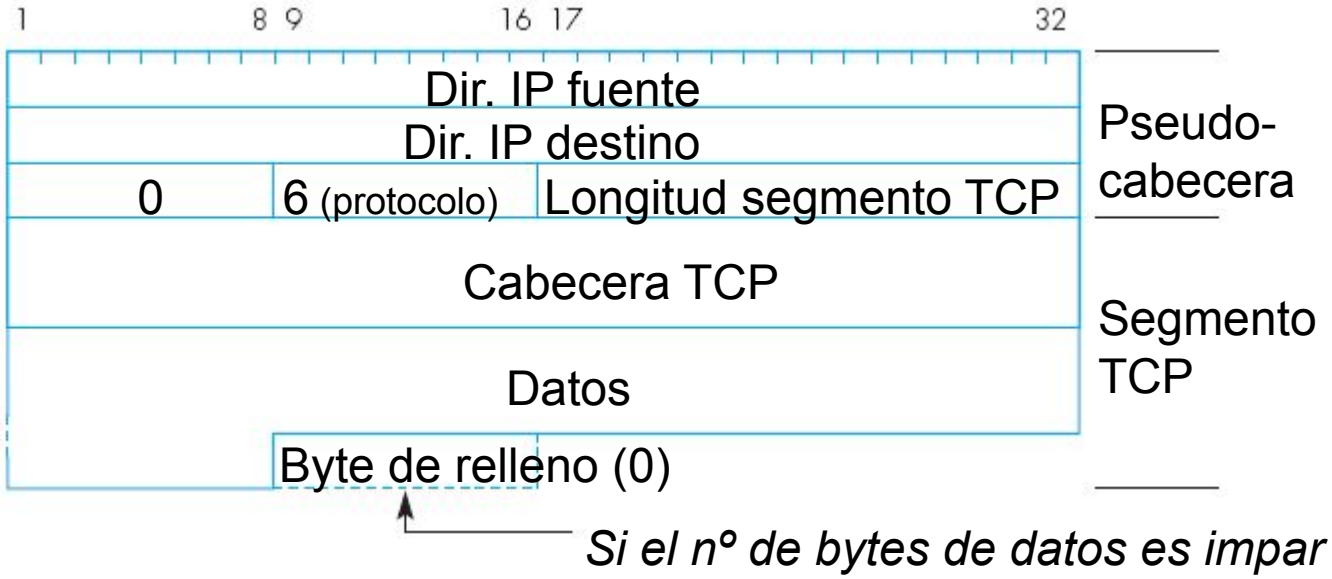
- **Puerto origen y destino**
  - Identifican los extremos de la conexión
- **Nº de secuencia**
  - Se usa para determinar la posición del primer byte del segmento con respecto al mensaje original
- **Nº de confirmación**
  - Para enviar confirmaciones superpuestas en sentido contrario
  - Indica el nº de secuencia del siguiente byte que se espera recibir
- **Longitud de la cabecera**
  - Medida en palabras de 32 bits
- **Tamaño de ventana**
  - Permite anunciar el tamaño de la ventana de recepción durante la conexión TCP
  - El valor del campo ventana indica la cantidad de bytes (relativos al nº de byte indicado en el campo nº de confirmación) que el receptor es capaz de aceptar

El protocolo TCP: Formato del segmento

- **Flags**
  - **URG:** indica si el segmento transporta datos urgentes al principio
    - El **puntero urgente** indica en este caso el último byte de datos urgente (desde el número de secuencia)
  - **ACK:** indica si el segmento lleva un número de confirmación válido
    - Todos los segmentos de una conexión TCP, excepto el primero, transportan un número de confirmación válido (con ACK=1)
  - **PSH:** indica si los datos deben ser pasados inmediatamente a la aplicación
    - Si no se activa, los datos se pueden almacenar en un buffer de recepción y éstos se pasan a la aplicación cuando el buffer se llena
  - **RST:** utilizado para abortar una conexión
  - **SYN:** utilizado en el establecimiento de la conexión
    - Significa que los extremos deben sincronizar los números de secuencia iniciales de la transmisión
  - **FIN:** utilizado en la finalización de la conexión

El protocolo TCP: Formato del segmento

- **Suma de comprobación**
  - Se calcula como el complemento a 1 de la suma en complemento a 1 de todas las palabras de 16 bits que forman parte de:
    - El segmento TCP (datos + cabecera TCP)
    - Una pseudo-cabecera formada por información de la cabecera IP: dir. IP fuente, dir. IP destino, campo Protocolo y longitud del segmento TCP

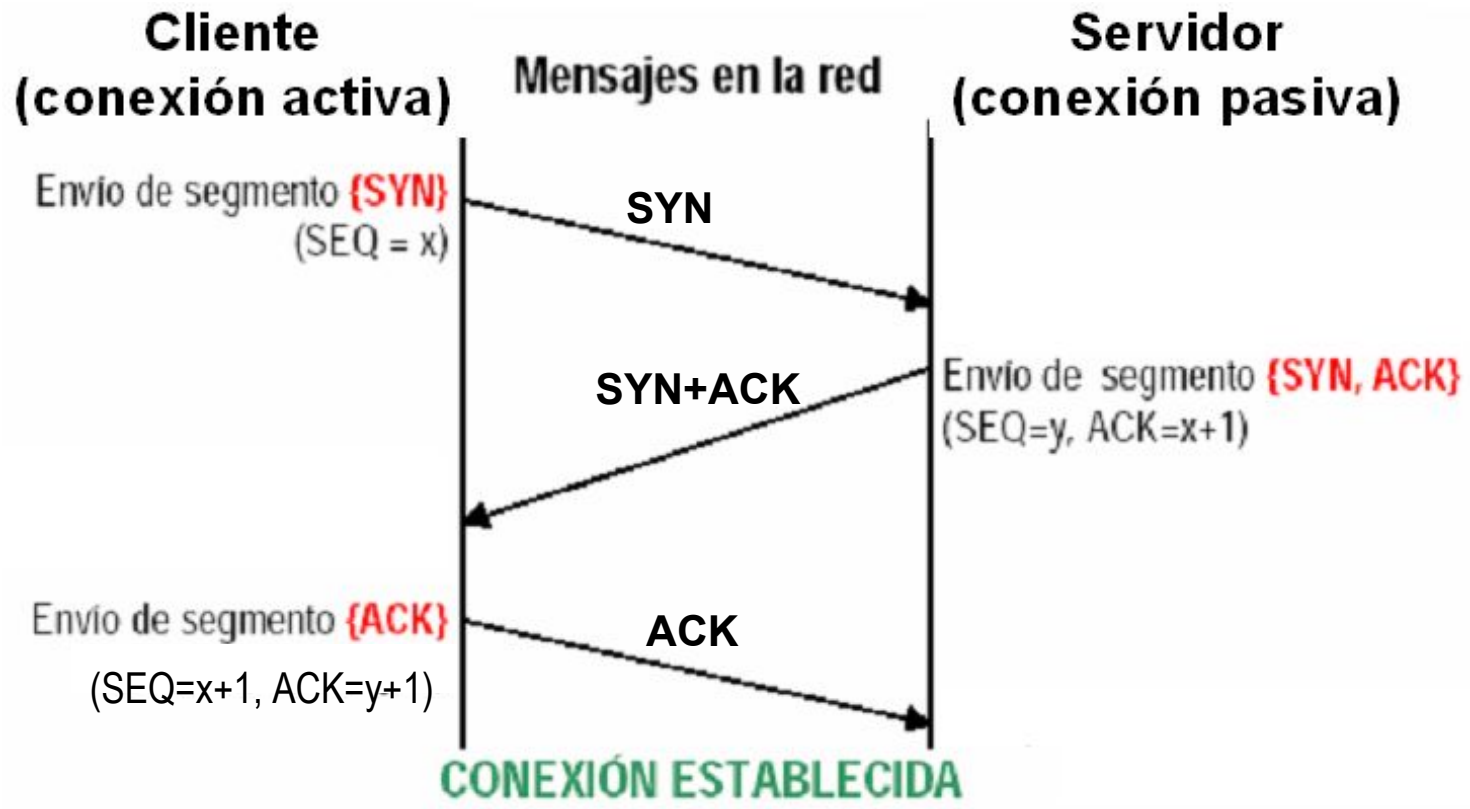


El protocolo TCP: Formato del segmento

- **Opciones**
  - Permite negociar parámetros adicionales de la conexión
  - Principales opciones
    - Tamaño máximo del segmento (MSS, Maximum Segment Size)
      - Permite negociar el tamaño máximo del bloque de datos que contienen los segmentos que se envían al destinatario
      - Si no se negocia el MSS al inicio de una conexión, se establece un valor por defecto de 536 bytes
    - Factor de escala de ventana
      - Permite trabajar con ventanas mayores de 2^{16} bytes
    - Sello de tiempo (timestamp)
      - Permite introducir la hora de envío de un segmento
      - Se utiliza para calcular el tiempo de ida y vuelta de los segmentos y sus correspondientes confirmaciones
    - Opción de confirmación selectiva (SACK, Selective ACK)
      - Permite confirmar segmentos fuera de orden

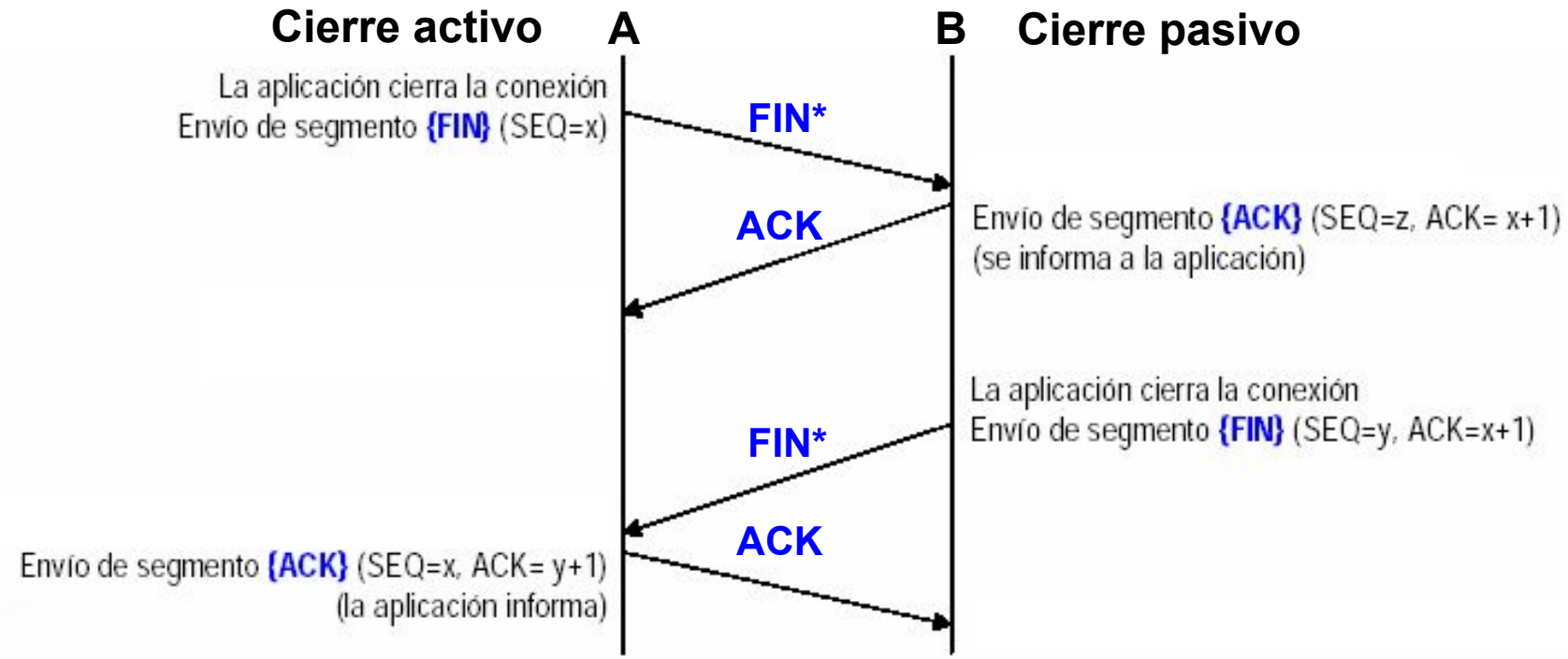
El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

- **Establecimiento de la conexión**: Protocolo de 3 vías (3-way handshake)



El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

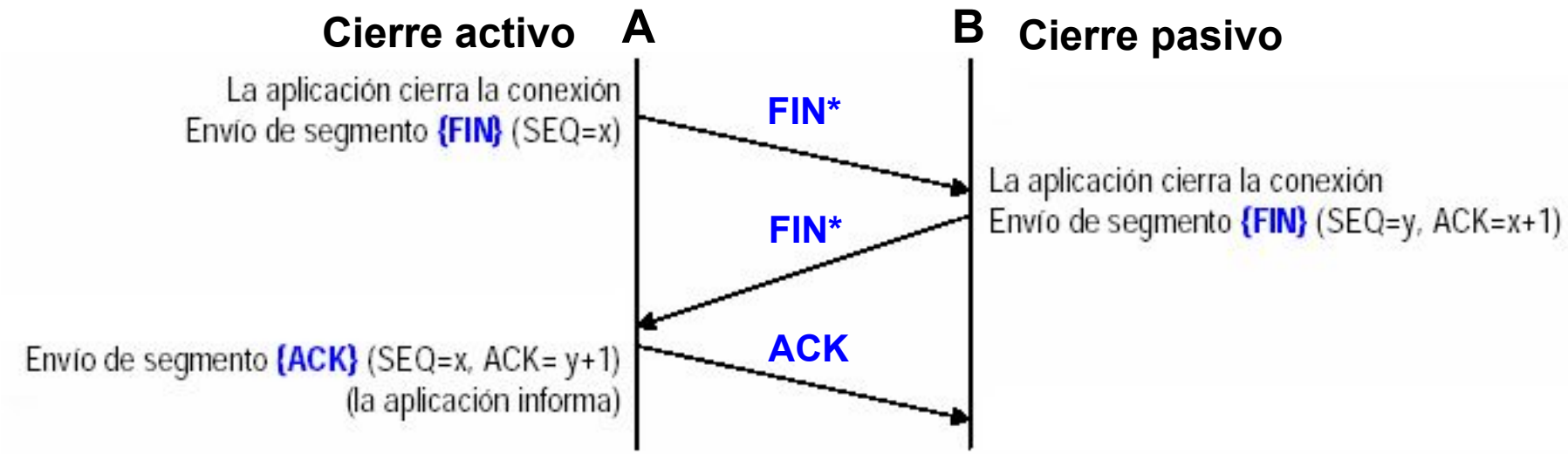
- **Mecanismo de desconexión**: **Protocolo de 4 vías**
  - Uno de los extremos (A) ha terminado de transmitir y cierra primero la conexión
  - El extremo A ya no enviará más datos, pero puede recibir datos del extremo contrario y devolver confirmaciones
  - El otro extremo (B) todavía puede tener datos pendientes de envío



(*) Los dos segmentos de FIN, también llevan el ACK activado y transportan un nº de confirmación válido

El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

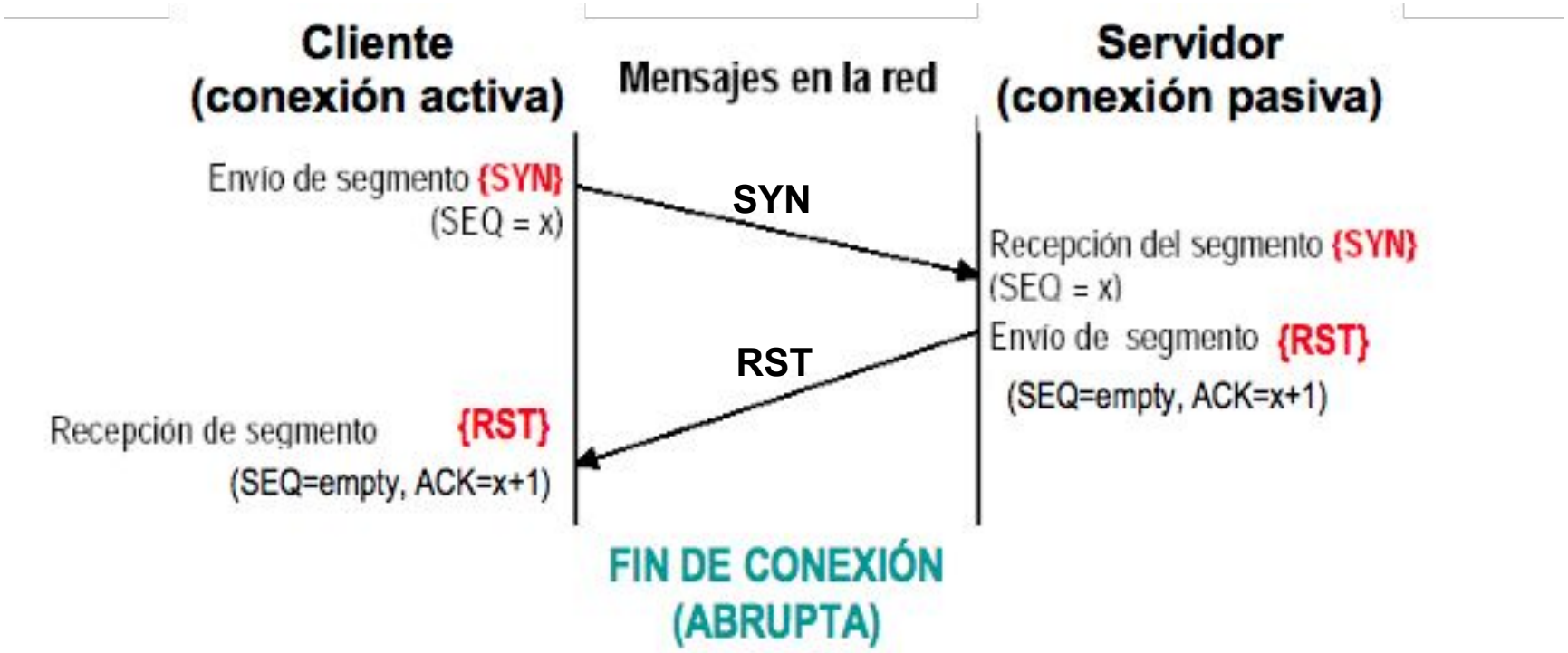
- **Mecanismo de desconexión**: **Protocolo de 3 vías**
  - Ambos extremos (A y B) han terminado de transmitir y están de acuerdo en cerrar la conexión



(*) Los dos segmentos de FIN, también llevan el ACK activado y transportan un nº de confirmación válido

El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

- **Mecanismo de desconexión abrupta (comunicación abortada)**



El protocolo TCP: Mecanismos de transmisión

- El emisor envía todas los segmentos numerados
  - El campo nº de secuencia indica la posición del primer byte del segmento con respecto al inicio de la conexión
- El receptor envía una confirmación por cada segmento recibido
  - El campo nº de confirmación siempre contiene el identificador del siguiente byte que se espera recibir
- En caso de que falte algún segmento:
  - Por cada segmento recibido fuera de secuencia, se devuelve una confirmación que contiene el identificador del siguiente byte que se espera recibir en secuencia
  - Cuando llega el segmento que completa la secuencia, el receptor envía una confirmación de la secuencia completa

El protocolo TCP: Mecanismos de transmisión

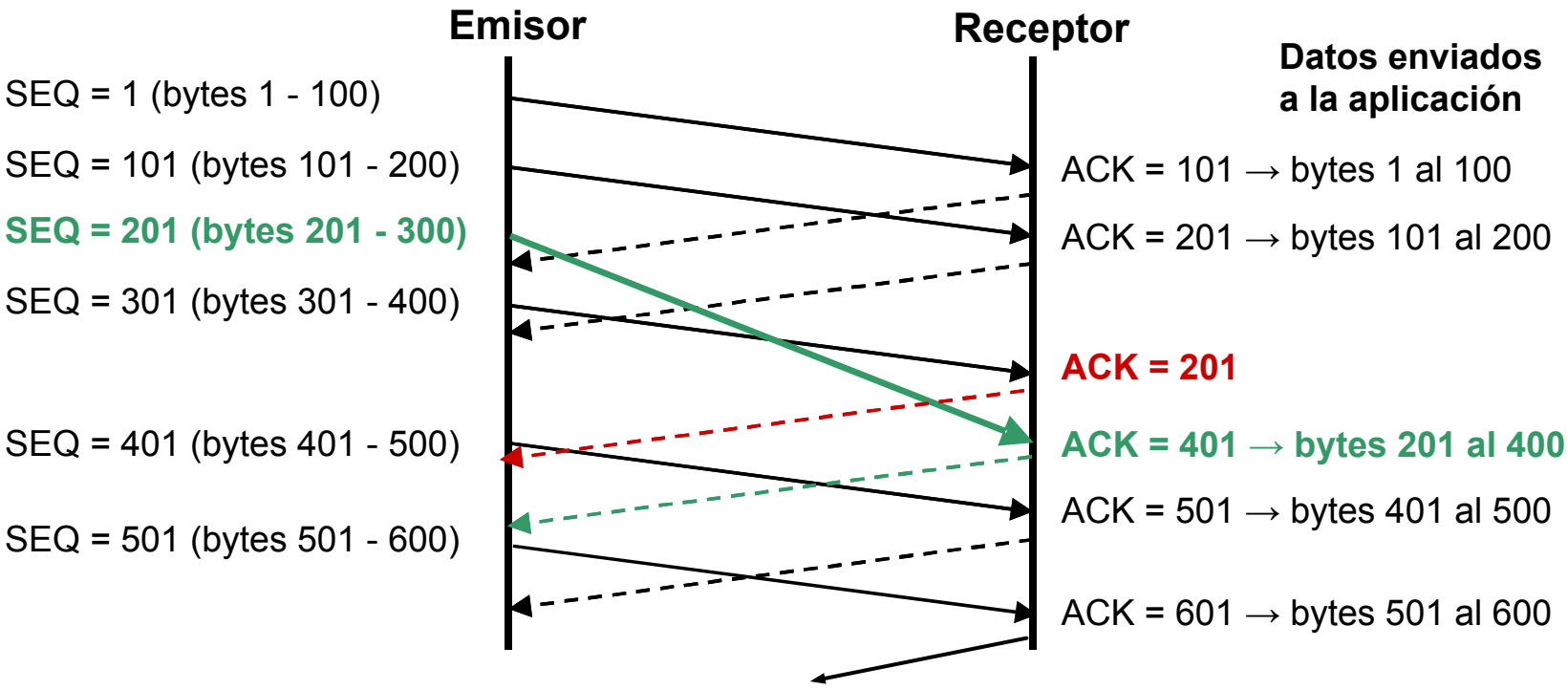
- Simplificaciones adoptadas en los siguientes ejemplos:
  - Sólo se transmiten datos en **un sentido** (Emisor → Receptor).
    - En el caso general, la transmisión es bidireccional
  - Se supone que todos los **segmentos** transportan **100 bytes** de datos
    - En el caso general, los segmentos pueden transportar diferente número de bytes, hasta un máximo fijado por el valor del MSS (Maximum Segment Size)
  - Se supone que el **número de secuencia inicial** del emisor es **SEQ=1**
    - En el caso general, el valor de los números de secuencia iniciales se acuerda durante el proceso de establecimiento de conexión TCP

El protocolo TCP: Mecanismos de transmisión

- **Ejemplo 1: Retardo en la transmisión de un segmento**
  - El receptor recibe segmentos fuera de secuencia
    - Devuelve un ACK indicando el siguiente byte en secuencia que espera recibir
  - El emisor recibe un ACK fuera de secuencia
    - No inicia la retransmisión del segmento inmediatamente después de recibir el ACK
    - Un segmento sólo se retransmite cuando se reciben tres ACK duplicados para ese segmento
  - El receptor recibe el segmento retardado que le faltaba
    - Envía una confirmación de toda la secuencia completa

El protocolo TCP: Mecanismos de transmisión

- **Ejemplo 1: Retardo en la transmisión de un segmento**

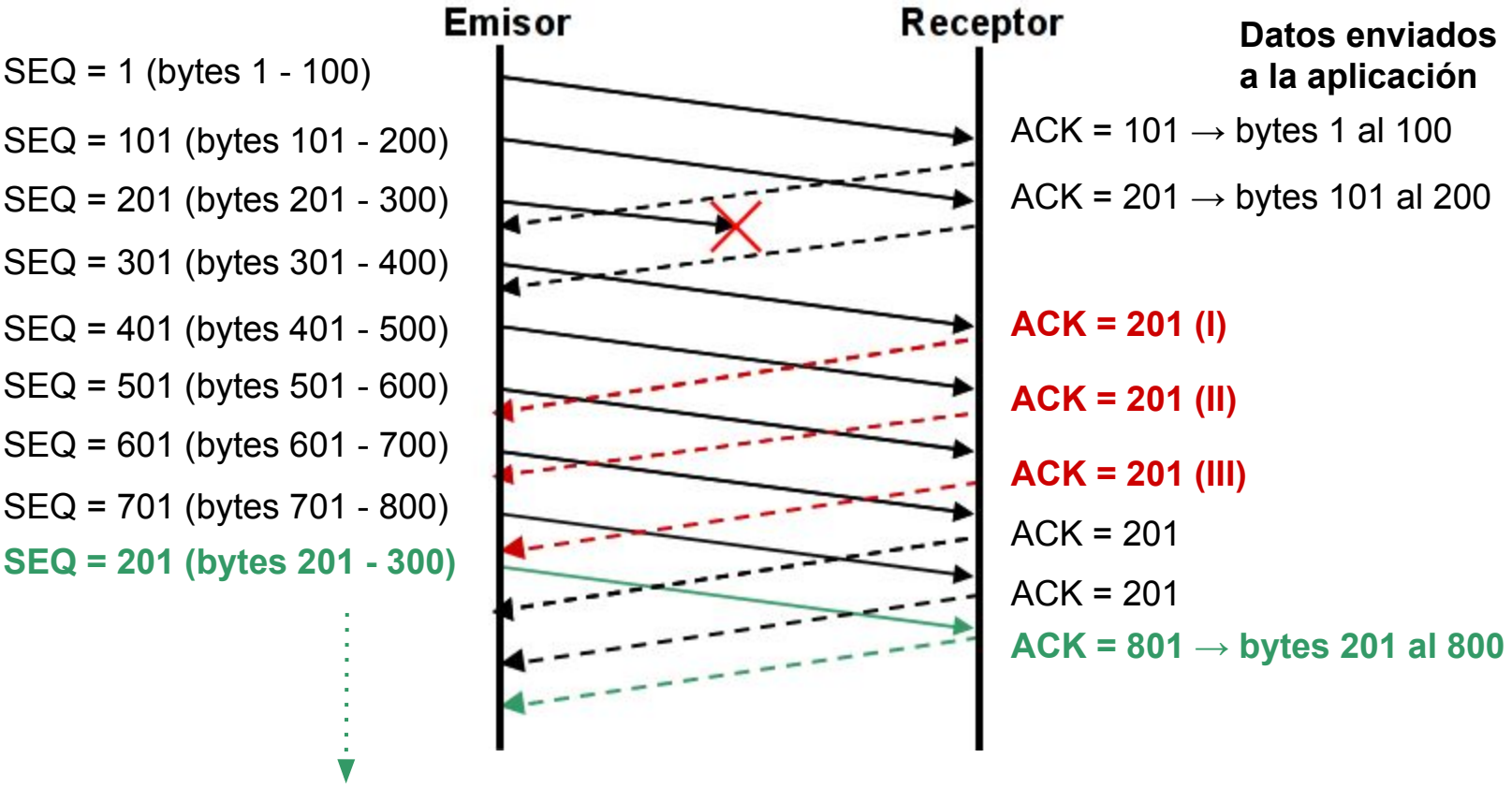


El protocolo TCP: Mecanismos de transmisión

- **Ejemplo 2: Pérdida de un segmento**
  - El receptor recibe los segmentos fuera de secuencia:
    - Devuelve un ACK indicando el siguiente byte en secuencia que espera recibir
  - El emisor recibe tres ACKs duplicados con el mismo identificador:
    - Retransmite el segmento pendiente de confirmación
  - El receptor recibe el segmento que le faltaba
    - Envía una confirmación de toda la secuencia completa

El protocolo TCP: Mecanismos de transmisión

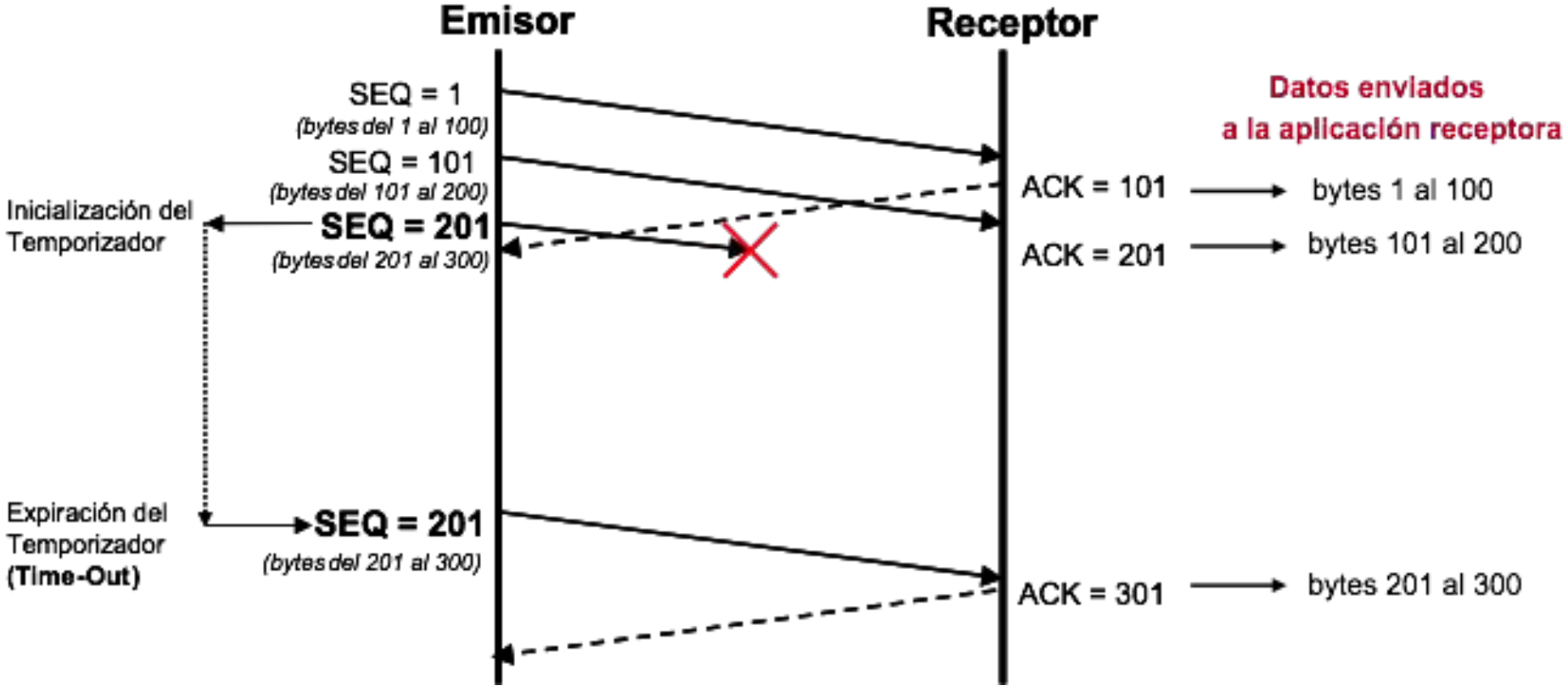
- **Ejemplo 2: Pérdida de un segmento**



Al recibir la 3ª confirmación duplicada con ACK =201, retransmite dicho segmento

El protocolo TCP: Temporizadores

- **Ejemplo 3: Temporizador de retransmisión**
  - Para contemplar la posibilidad de que el emisor no reciba confirmaciones
    - Por cada nuevo segmento transmitido se inicia un temporizador de retransmisión
    - El segmento se retransmite si el emisor no recibe una confirmación antes de que expire el temporizador



El protocolo TCP: Temporizadores

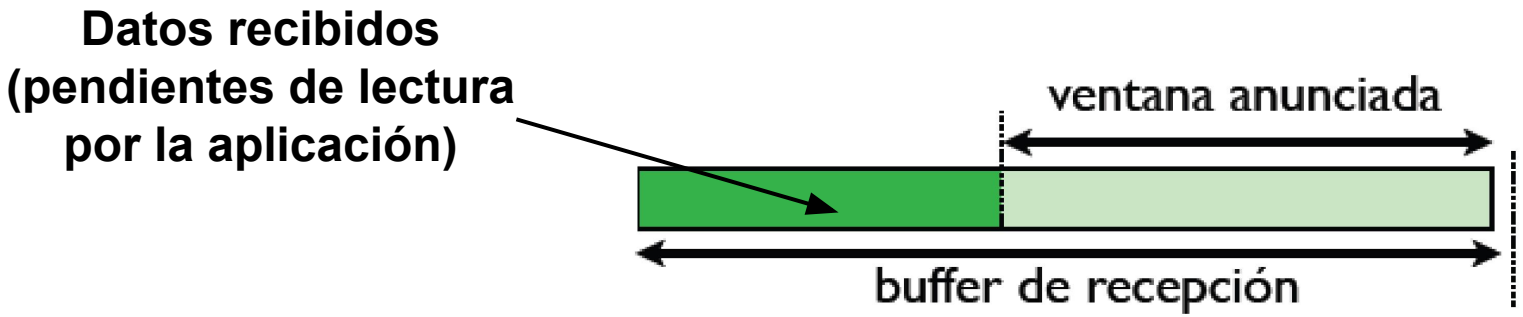
- TCP utiliza un mecanismo adaptativo
- La elección del tiempo de vencimiento del temporizador de retransmisión (timeout) está basada en los retardos observados en la red
- Los retardos en la red pueden variar dinámicamente, por tanto, los timeouts deben adaptarse a esta situación

Métodos para fijar los temporizadores de retransmisión

- **Método de la media ponderada (algoritmo de Jacobson)**
  - Mide el tiempo de ida-y-vuelta (round-trip) de cada segmento
  - El temporizador se ajusta a 2 veces el tiempo de ida-y-vuelta estimado
- **Método de la varianza (algoritmo de Jacobson/Karels)**
  - Corrige el método de Jacobson para situaciones de gran variabilidad
- **Algoritmo de Karn**
  - Como el anterior, pero descarta el uso de segmentos retransmitidos para el cálculo del tiempo de ida-y-vuelta

El protocolo TCP: Control de flujo

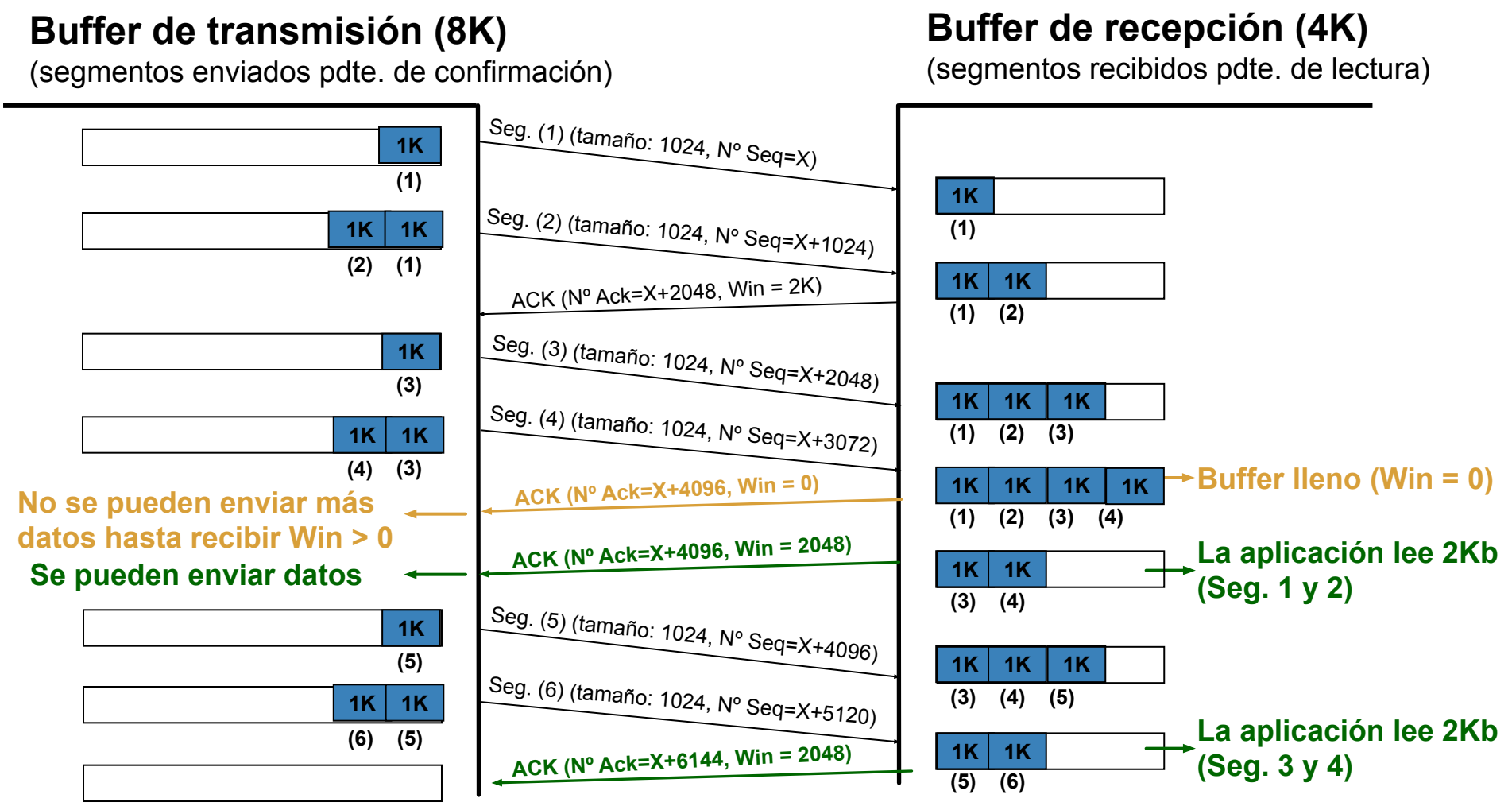
- El control de flujo en TCP se realiza mediante la ventana de recepción
- El **tamaño de esta ventana** indica el número de bytes que puede aceptar el receptor en un instante dado
  - Este tamaño viene determinado por el espacio libre disponible en el buffer de recepción utilizado para esa conexión TCP
  - El buffer de recepción, almacena aquellos datos recibidos a través de la conexión TCP, hasta que estos son leídos por parte de la aplicación receptora
- El **tamaño de la ventana varía** a lo largo de una conexión
  - El tamaño de la ventana de recepción se anuncia en cada segmento de confirmación
  - Si el receptor anuncia una ventana de tamaño 0, el emisor no puede enviar más datos hasta que se anuncie un nuevo tamaño de ventana mayor



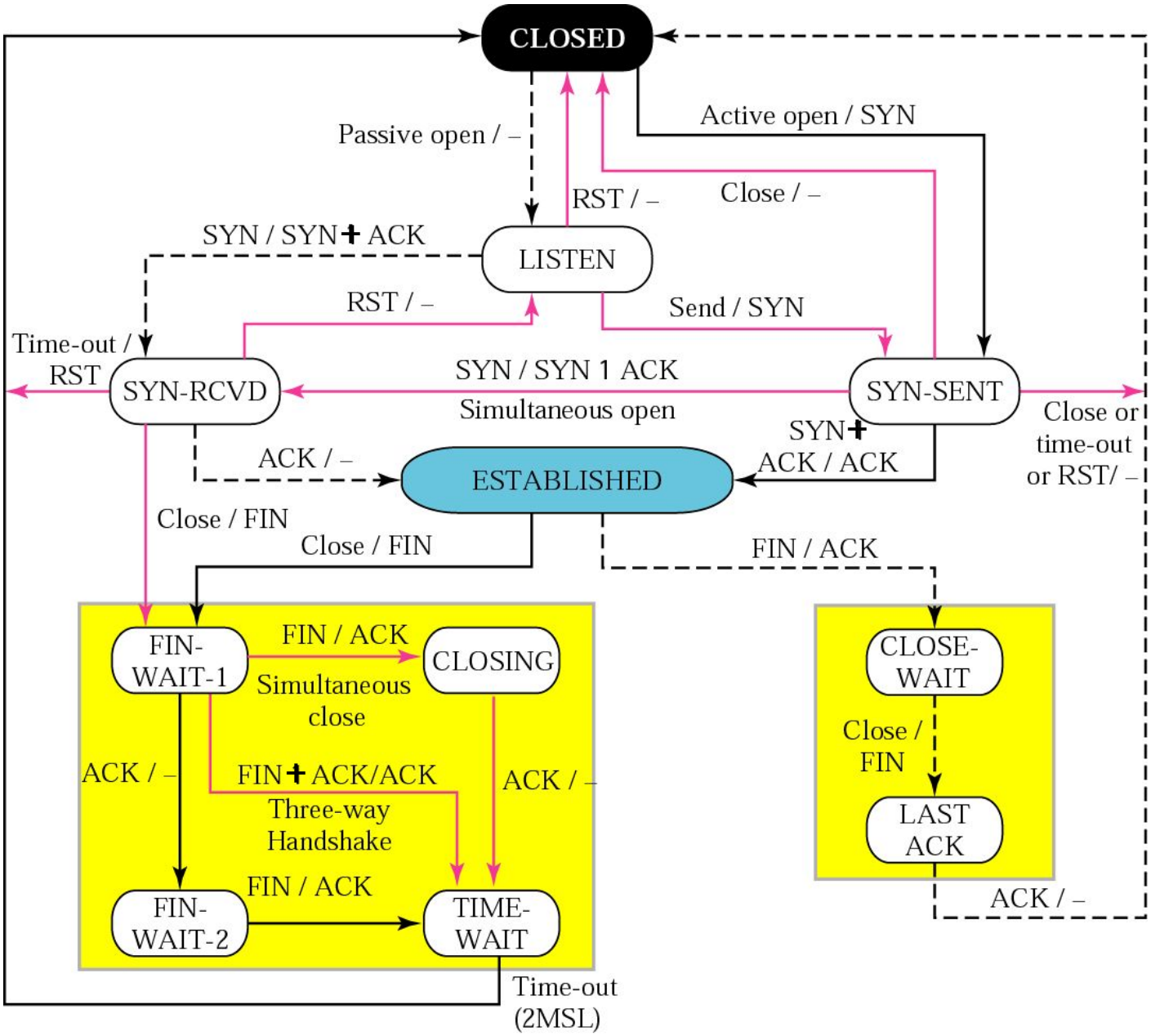
El protocolo TCP: Control de flujo

Ejemplo

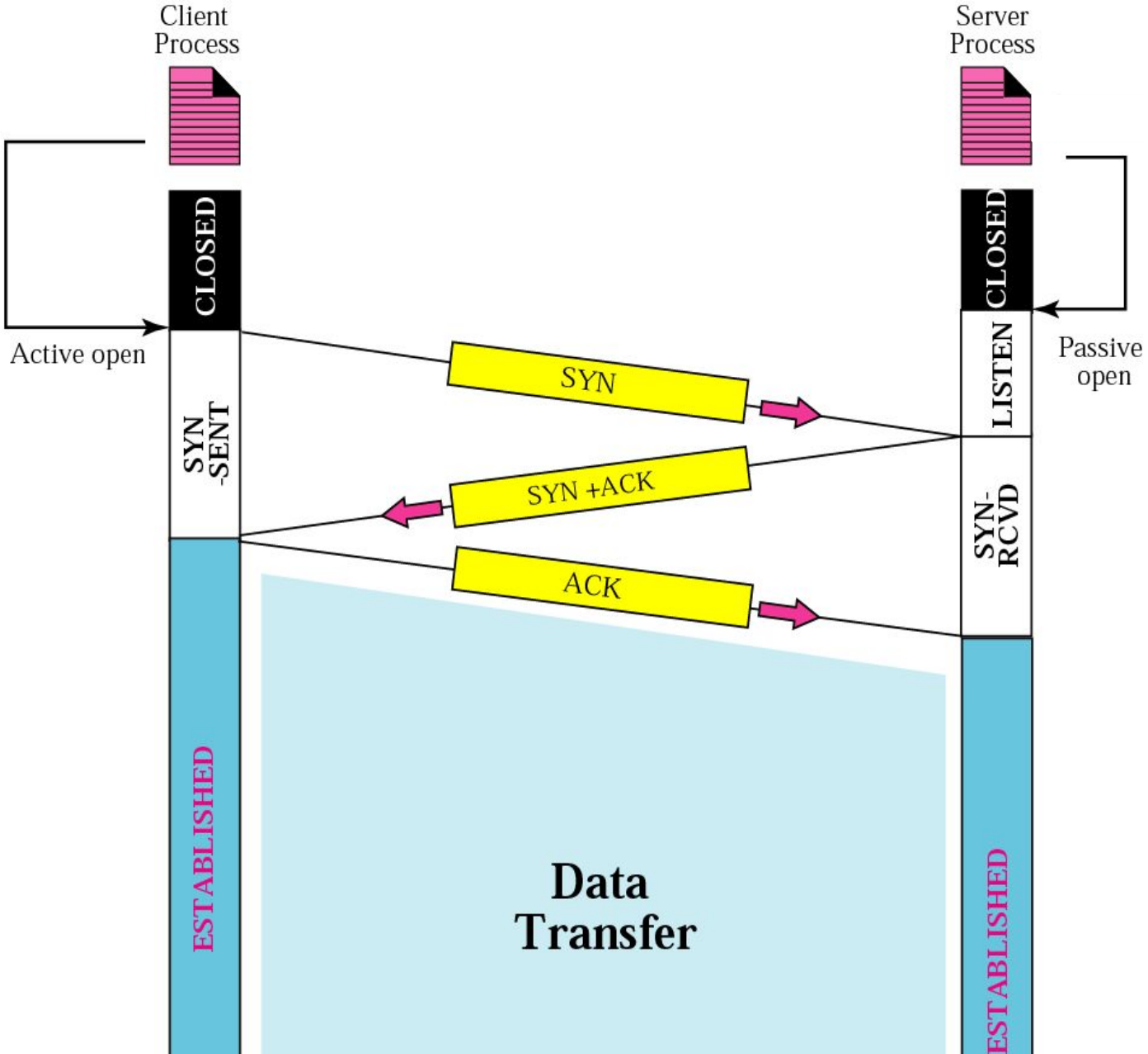
- Buffer de transmisión de 8K, de recepción de 4K y segmentos de 1K
- Envío de ACK's cada dos segmentos



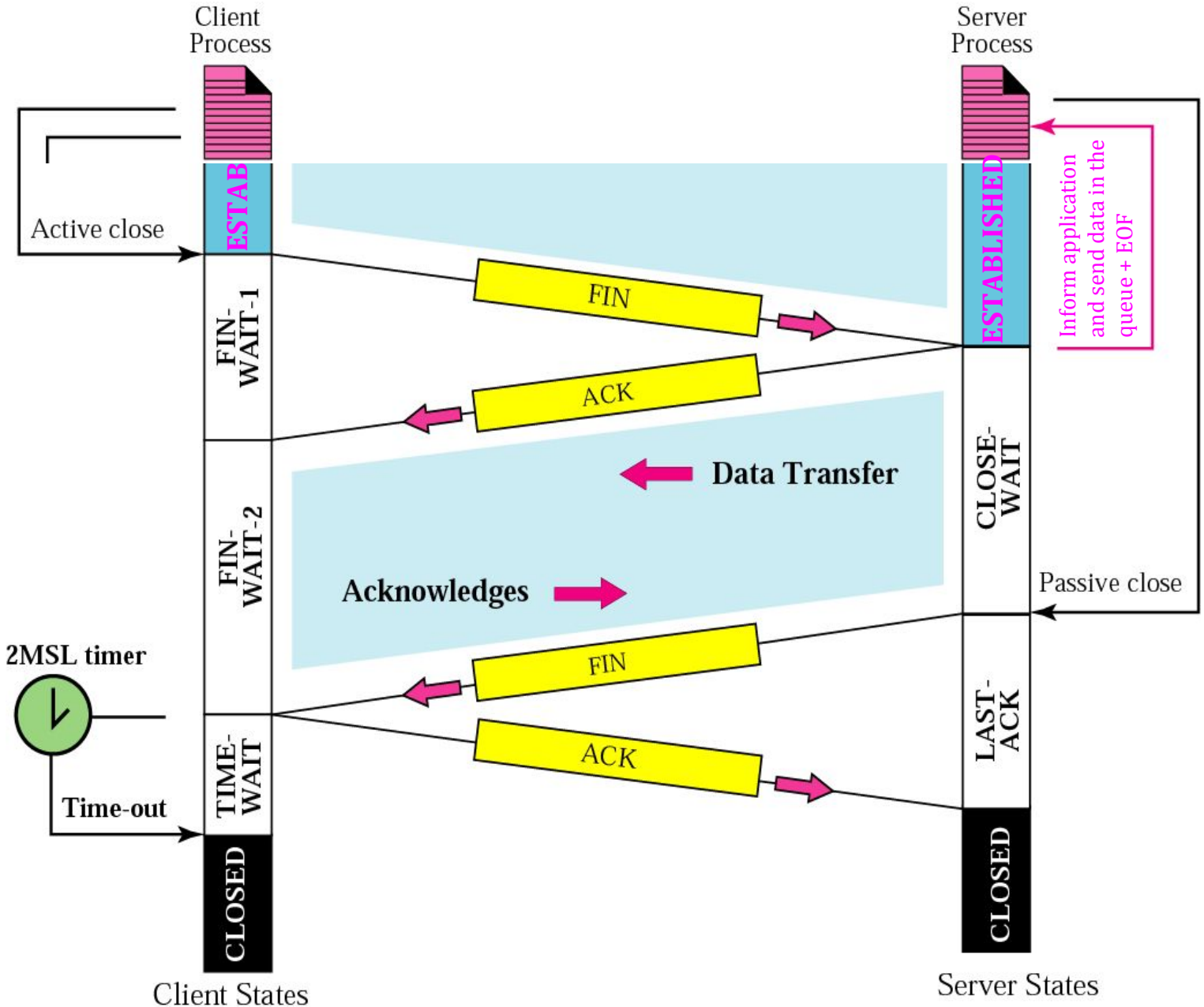
El protocolo TCP: Diagrama de estados



El protocolo TCP: Apertura



El protocolo TCP: Cierre con protocolo de 4 vías



El protocolo TCP: Cierre con protocolo de 3 vías