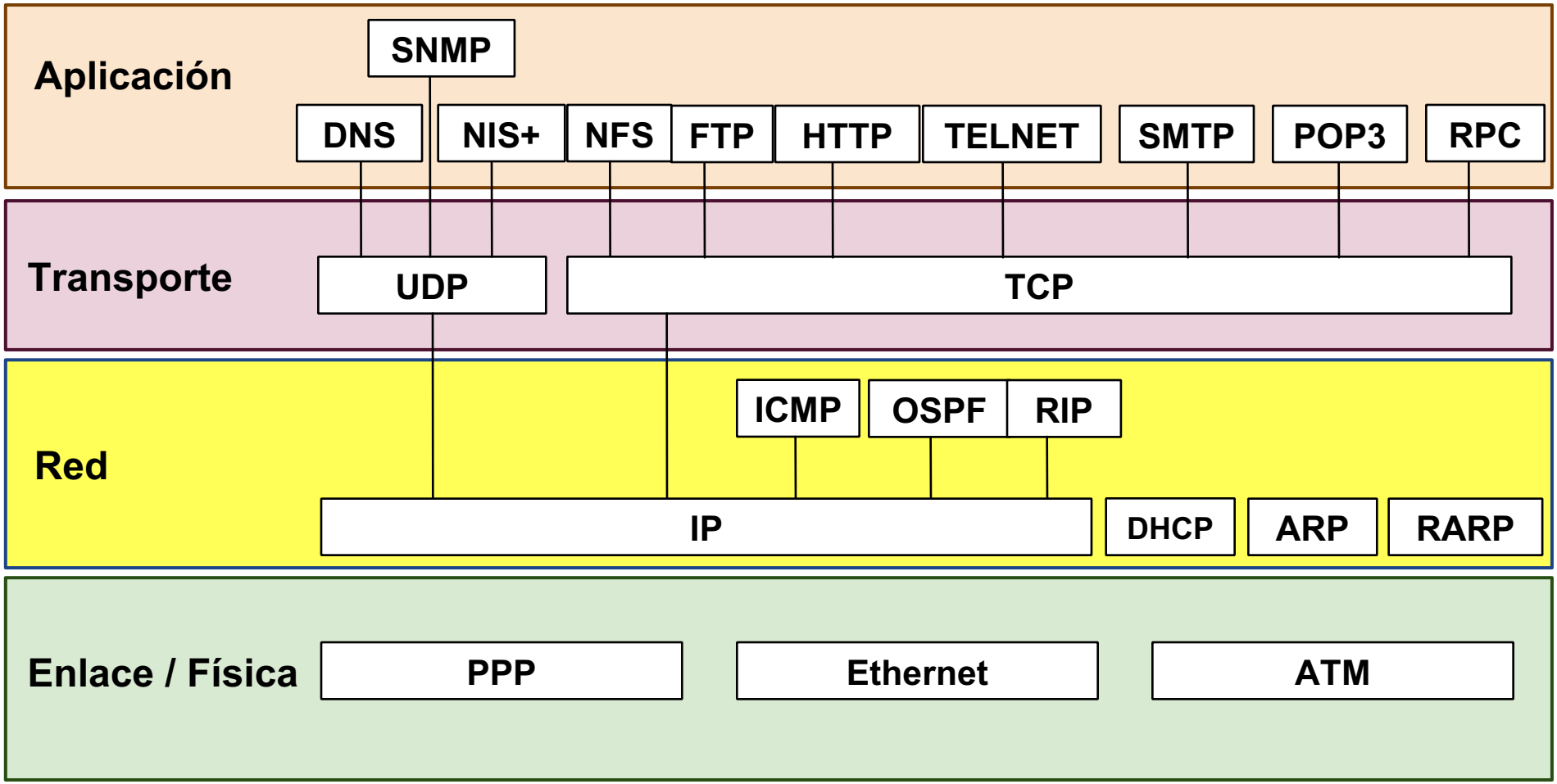
TEMA 5. La capa de transporte. Protocolos TCP y UDP

PROFESORES:

Julio Septién del Castillo
Juan Carlos Fabero Jiménez
Rafael Moreno Vozmediano
Guadalupe Miñana Ropero
Sergio Bernabé García
Sandra Catalán Pallarés

Recordatorio arquitectura TCP/IP



Protocolos de transporte en Internet: TCP y UDP

- **El protocolo TCP (Transmission Control Protocol)**
  - Protocolo de transporte "**orientado a conexión**": comunicación duradera en el tiempo en forma de secuencia de paquetes ("segmentos")
  - Garantiza un servicio extremo a extremo fiable (resuelve problemas IP)
    - 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: FTP, HTTP, Telnet, SMTP, etc.

- **El protocolo UDP (User Datagram Protocol)**
  - Protocolo de transporte "**sin conexión**": mensajes aislados ("datagramas")
  - **No garantiza** un servicio extremo a extremo fiable
    - No controla la pérdida de paquetes, los errores o la duplicidad
  - Utilizado en aplicaciones (mensajes anuncio o pregunta/respuesta) 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...

El modelo cliente-servidor

- **El modelo cliente-servidor**
  - Es el patrón de comunicación usado por la mayoría de las aplicaciones de Internet, tanto sobre TCP como sobre UDP (existen otros modelos como 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 está ejecutándose continuamente en la máquina remota y está localizable, a la espera de solicitudes de los 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 usa los servicios de TCP o UDP a través de un **número de puerto** único dentro de dicho sistema
    - El puerto es un identificador de 16 bits
    - Dos conjuntos de puertos: TCP y 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** (TCP o UDP) y la **dirección IP** de la máquina donde se encuentra.
  - 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	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

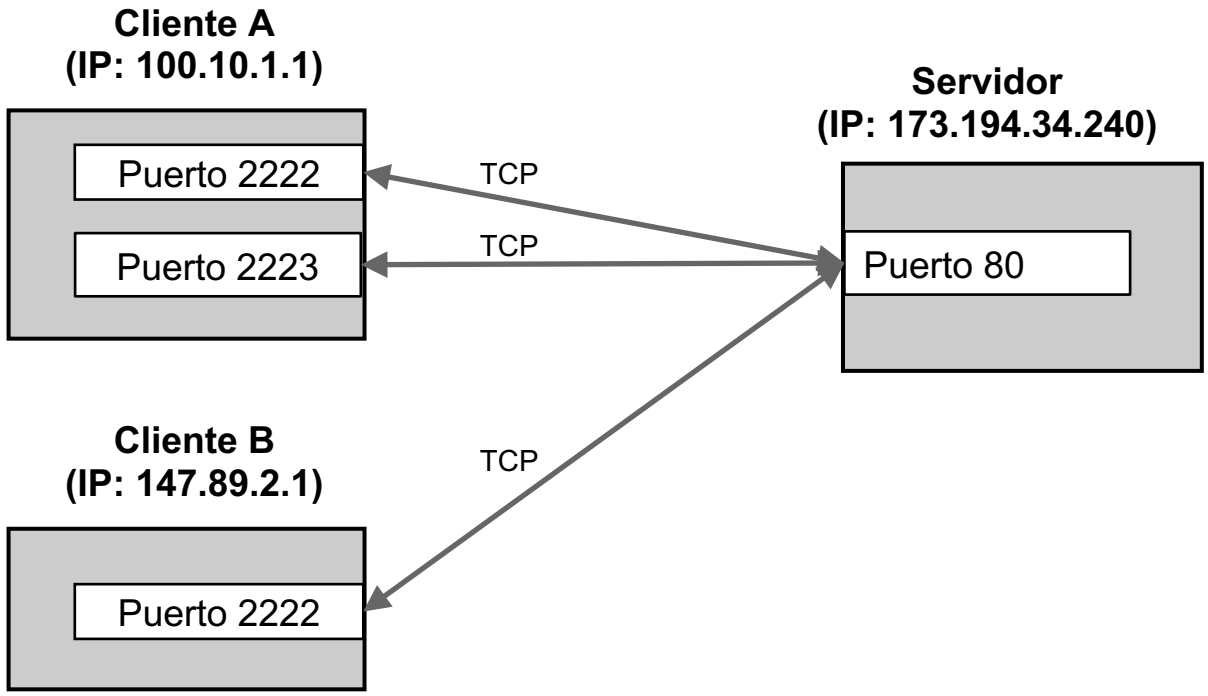
Sockets

- **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 de forma exclusiva en Internet 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 y Puerto cliente
    - Dir. IP servidor y Puerto servidor

Concurrencia

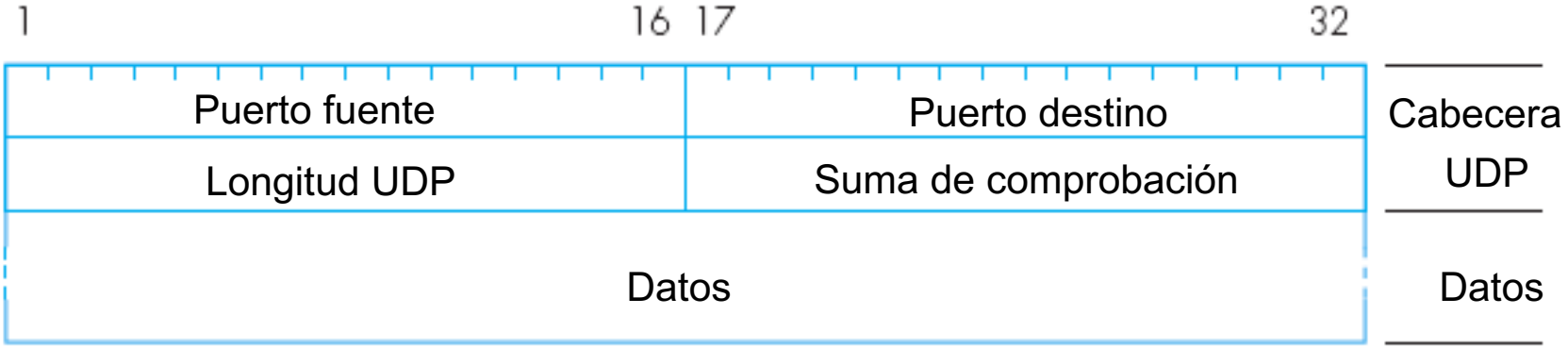
- **Servidores concurrentes**
  - Es necesario atender concurrentemente a múltiples clientes, que se encuentran en la misma o distintas máquinas
  - El servidor identifica cada comunicación de forma única por los parámetros indicados anteriormente (sockets de cliente y de servidor):
    - Protocolo - IP cliente/Puerto cliente - IP servidor/Puerto servidor
    - Estos parámetros no se pueden repetir en dos comunicaciones distintas



El protocolo UDP: Características

- El protocolo UDP es un protocolo sin conexión y no fiable
- UDP envía un mensaje individual: el datagrama UDP, encapsulado en un único datagrama IP
- El receptor NO envía confirmación de la recepción correcta de los datagramas
- UDP no garantiza por tanto:
  - la recuperación de datagramas perdidos o erróneos
  - la presentación ordenada de datagramas
  - la eliminación de duplicados

- **Formato del Datagrama UDP:**

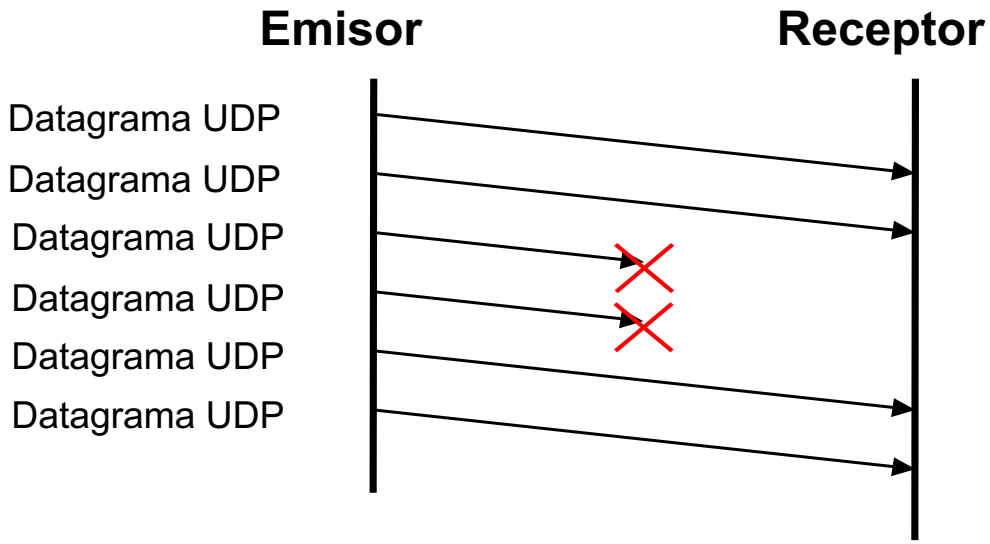


El protocolo UDP: Campos de la cabecera

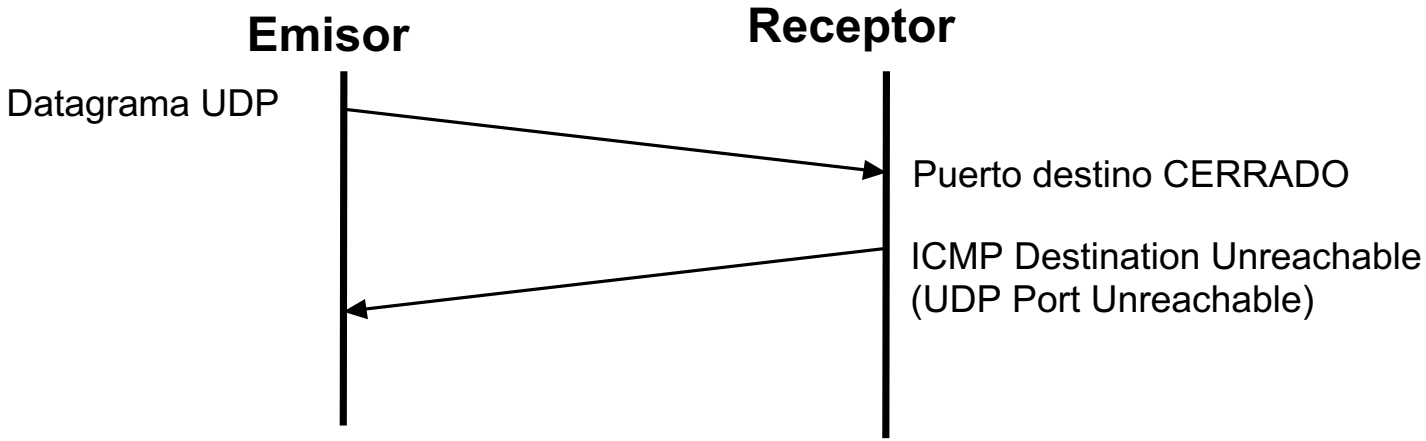
- **Puertos UDP origen y destino (16 bits cada uno):**
  - Identifican a las aplicaciones cliente y servidor que se comunican
  - El puerto fuente desde el cliente es 0 si no se precisa respuesta.
- **Longitud UDP (16 bits)**
  - Longitud total en bytes del datagrama UDP (incluyendo datos y cabecera)
- **Suma de comprobación (16 bits)**
  - 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 parte de la cabecera IP: dir. IP fuente, dir. IP destino, campo Protocolo y longitud UDP (no se transmite, pero se dispone de esta información en el datagrama IP)
    - Relleno para un número par de bytes.

El protocolo UDP: Mecanismos de transmisión

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



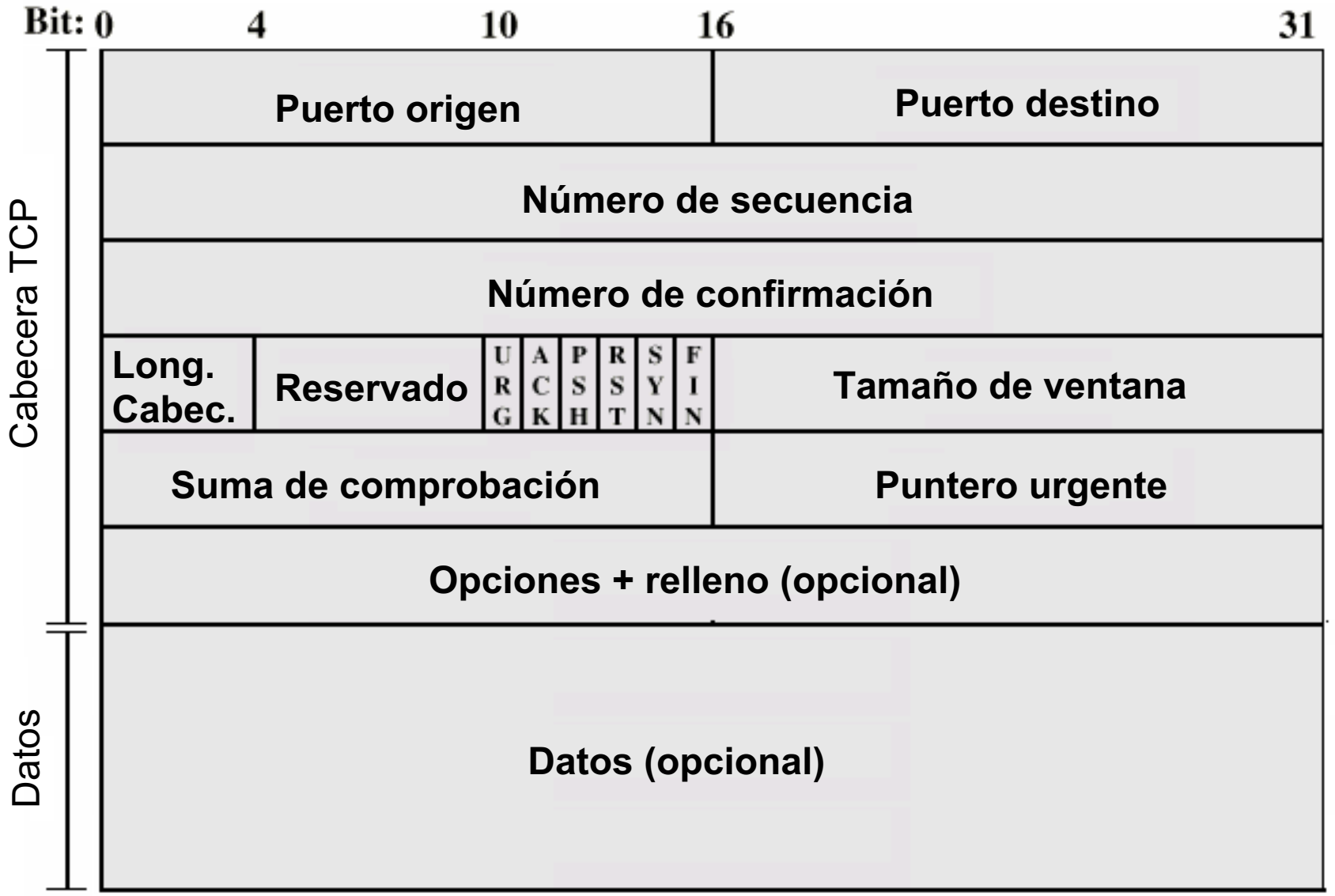
- Envío de paquetes UDP a un **puerto** de servicio **CERRADO**



El protocolo TCP: Características

- **Unidad de transferencia**: Segmento TCP, encapsulado en un datagrama IP
- **Fases en una transmisión**:
  1. Establecimiento de conexión
  2. Transferencia de datos
  3. Cierre de conexión
- **Mecanismos de control de errores**: tipo ARQ continuo, con retroceso-N y control de flujo con ventana deslizante
  - Numeración de bytes, no de segmentos
    - Cada segmento lleva un número de secuencia de 32 bits
    - Indica la posición del primer byte de datos del segmento, dentro de la comunicacion
    - Valor inicial aleatorio (no empieza desde cero como en la capa de enlace)
  - Confirmaciones **retardadas**, e **incorporadas** (“piggyback”) desde el receptor
    - Cuando el receptor recibe un segmento de datos correcto y sin errores, envía una confirmación al emisor
  - Temporizador de retransmisión de segmentos RTO (Retransmision Timeout)
    - Si transcurrido un tiempo desde que se envió el segmento el emisor no recibe confirmación, entonces retransmite de nuevo el segmento

El protocolo TCP: Formato del segmento



El protocolo TCP: Formato del segmento

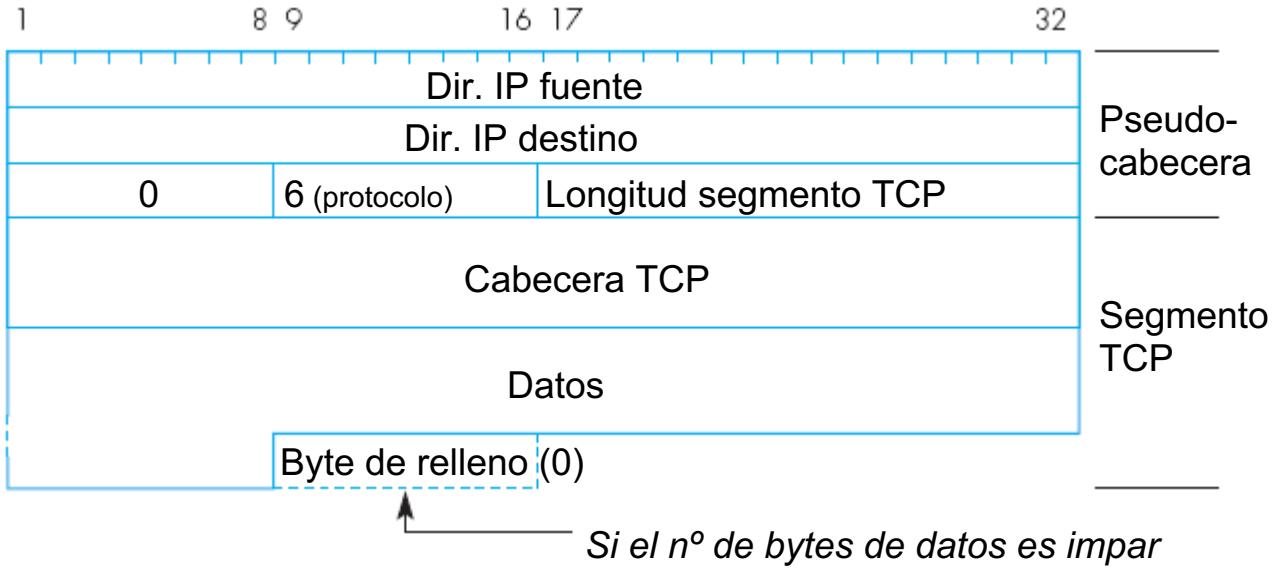
- **Puertos origen y destino**
  - Identifican los extremos de la conexión
- **Nº de secuencia**
  - Se usa para determinar la posición del primer byte de datos del segmento con respecto al numero de secuencia inicial de la conexión
- **Nº de confirmación**
  - Para enviar confirmaciones incorporadas 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 inicial 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 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



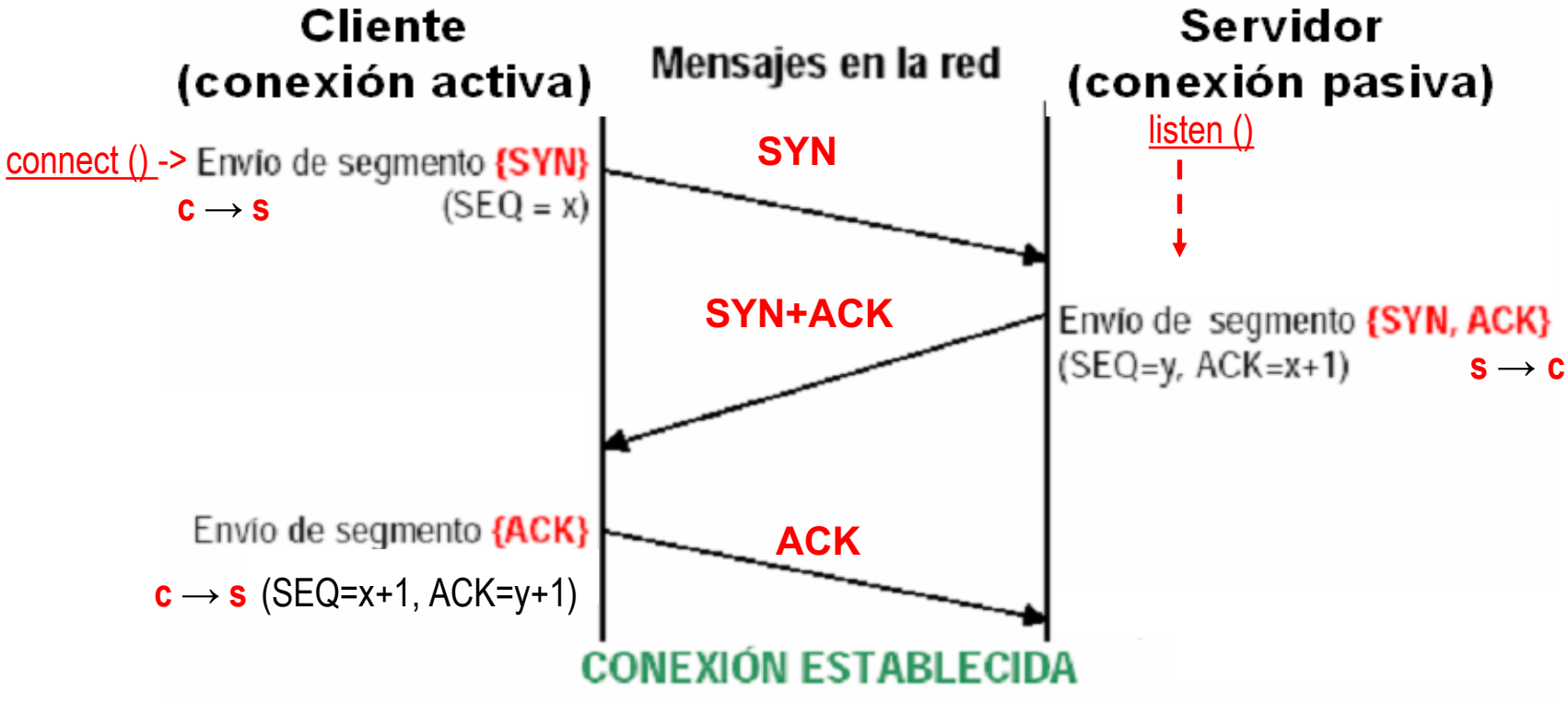
El protocolo TCP: Formato del segmento

- **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 medir el tiempo de ida y vuelta de los segmentos y sus correspondientes confirmaciones (RTT, “Round trip time”)
    - Opción de confirmación selectiva (SACK, Selective ACK)
      - Permite confirmar segmentos fuera de orden

El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

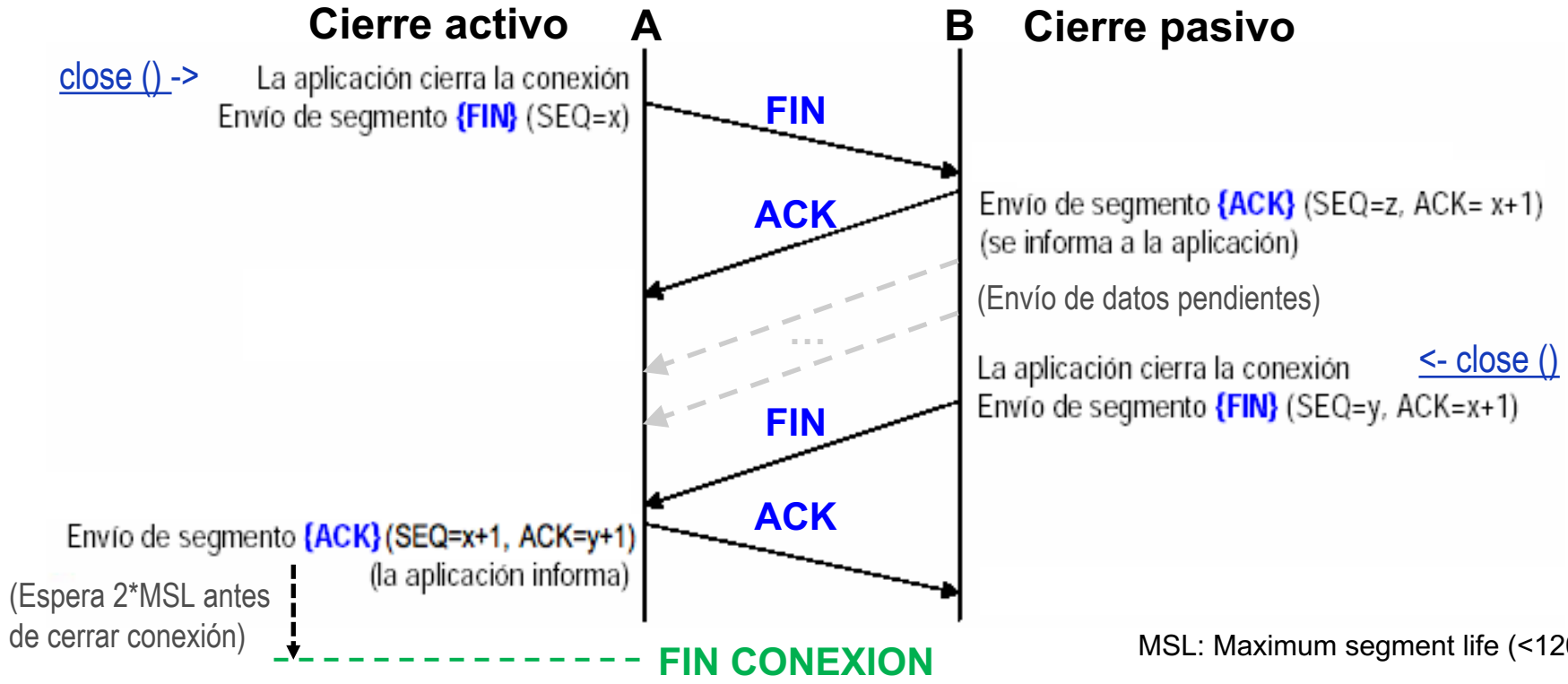
Establecimiento de la conexión: Protocolo de 3 vías (3-way handshake)

- Servidor: primitiva **listen()**, atiende por puerto conocido **s**.
- Cliente: primitiva **connect()**, por puerto efímero **c**.



El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

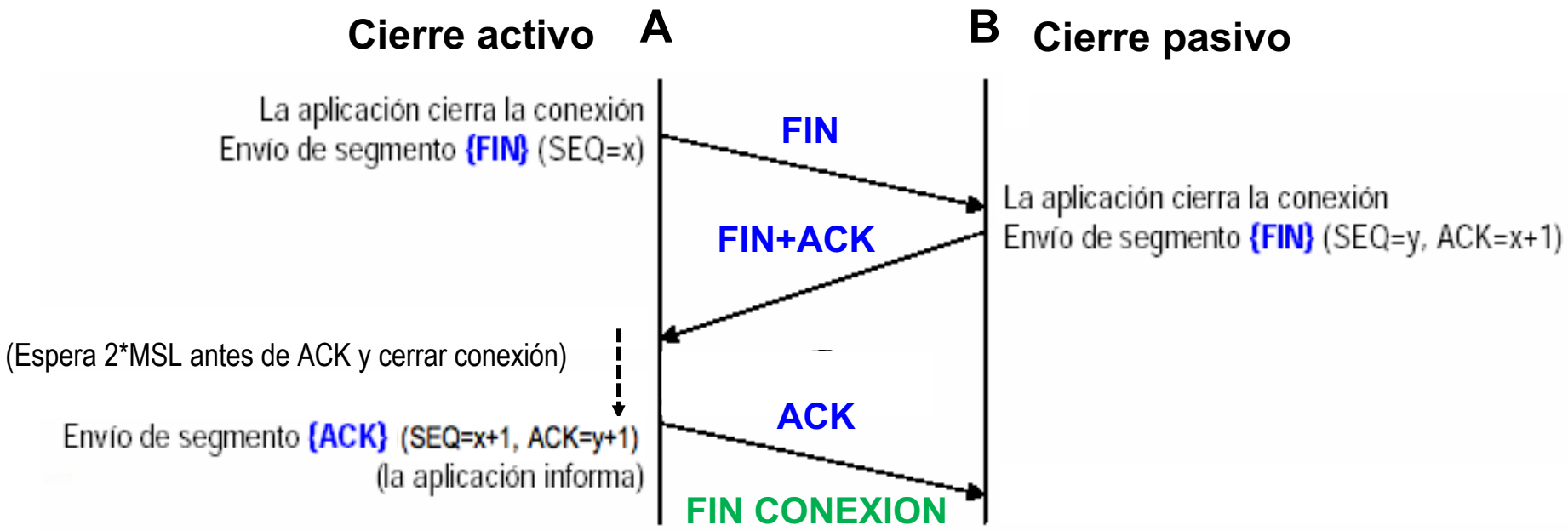
- **Mecanismo de desconexión**: **Protocolo de 4 vías**
  - Uno de los extremos (A) ha terminado de transmitir y cierra primero la conexión con la primitica **close(). Es la parte activa pero puede ser el cliente o el servidor**.
  - El extremo A ya no enviará más datos, pero puede recibir datos del extremo contrario y devolver confirmaciones
  - El otro extremo (B) todavía puede tener datos pendientes de envío
  - Cuando termina B cierra con la primitiva **close()**



MSL: Maximum segment life (<120s)

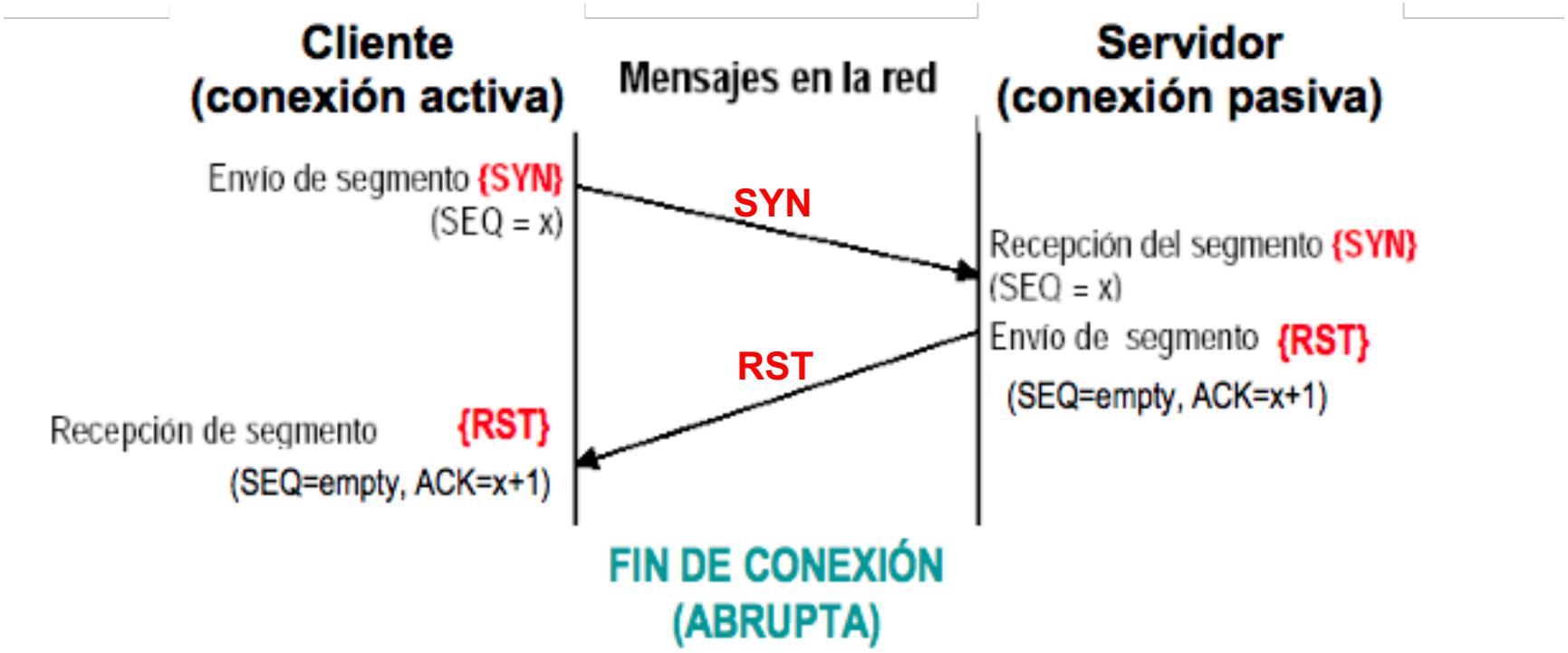
El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

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



El protocolo TCP: Establecimiento y cierre

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



El protocolo TCP: Diagrama de estados

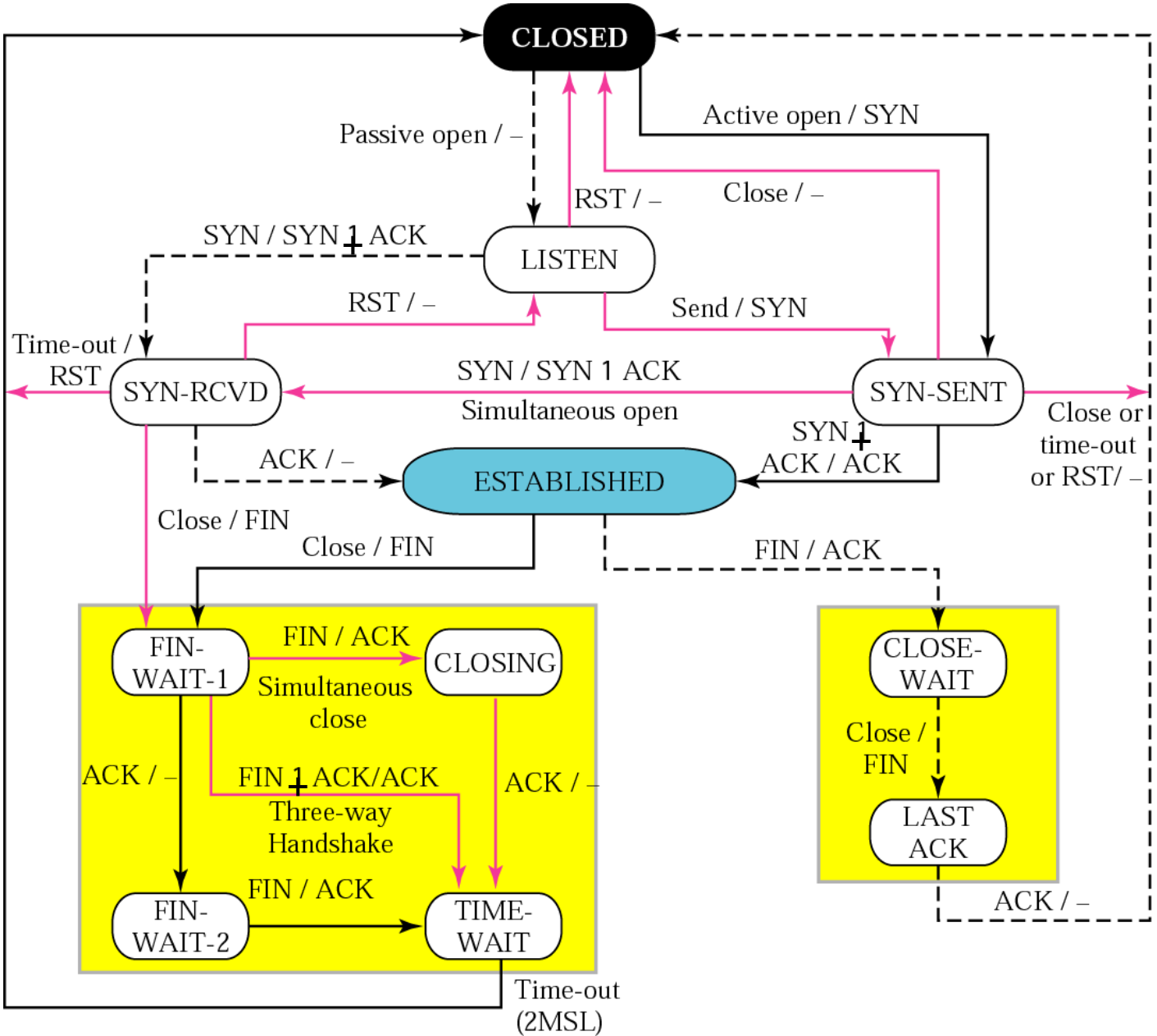
Activo (Cliente)

Pasivo (servidor)

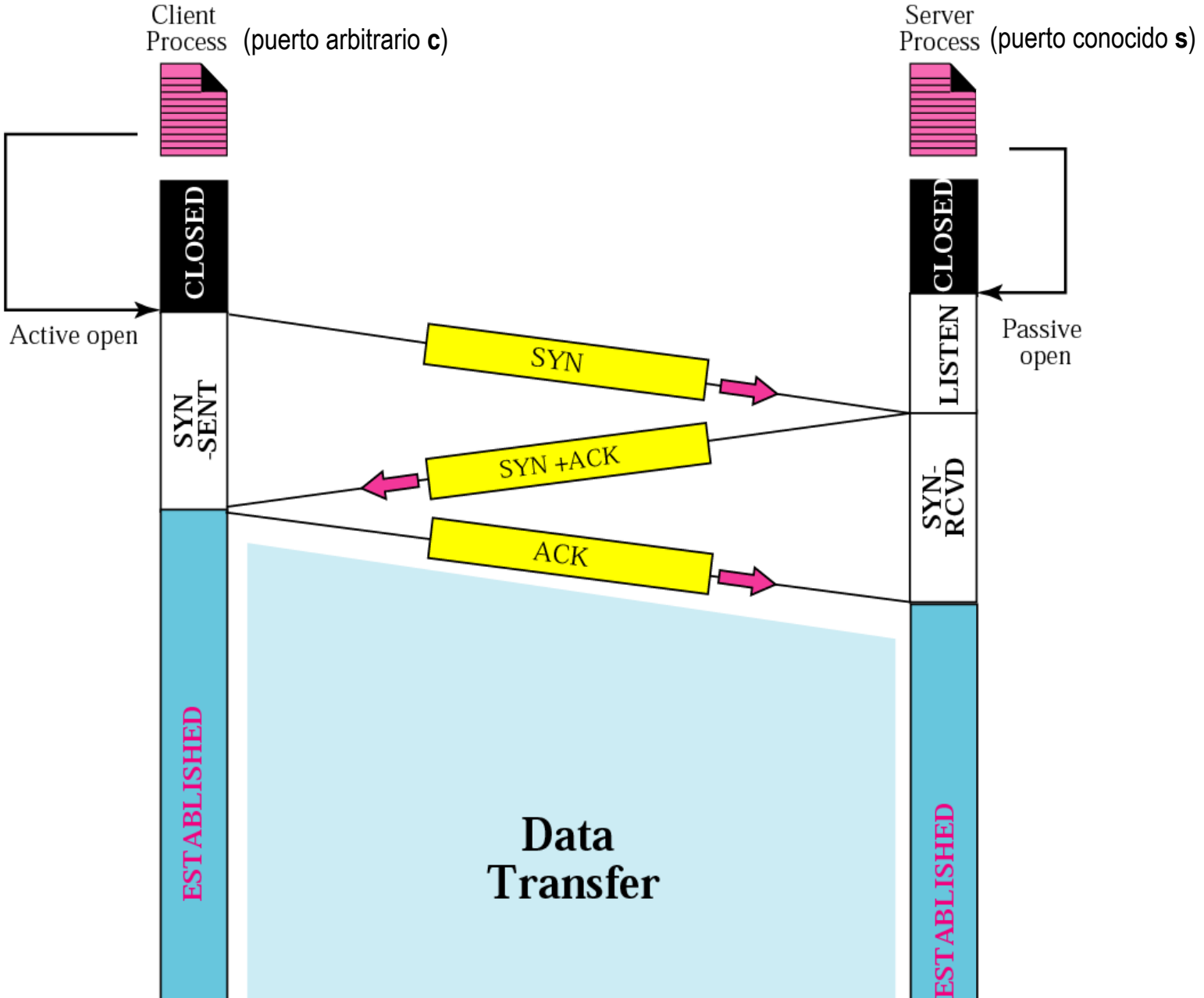
Conflictos

Estados:
CLOSED
LISTEN
SYN-RCVD
SYN-SENT
ESTABLISHED
FIN-WAIT-1
CLOSING
FIN-WAIT-2
TIME-WAIT
CLOSE-WAIT
LAST ACK

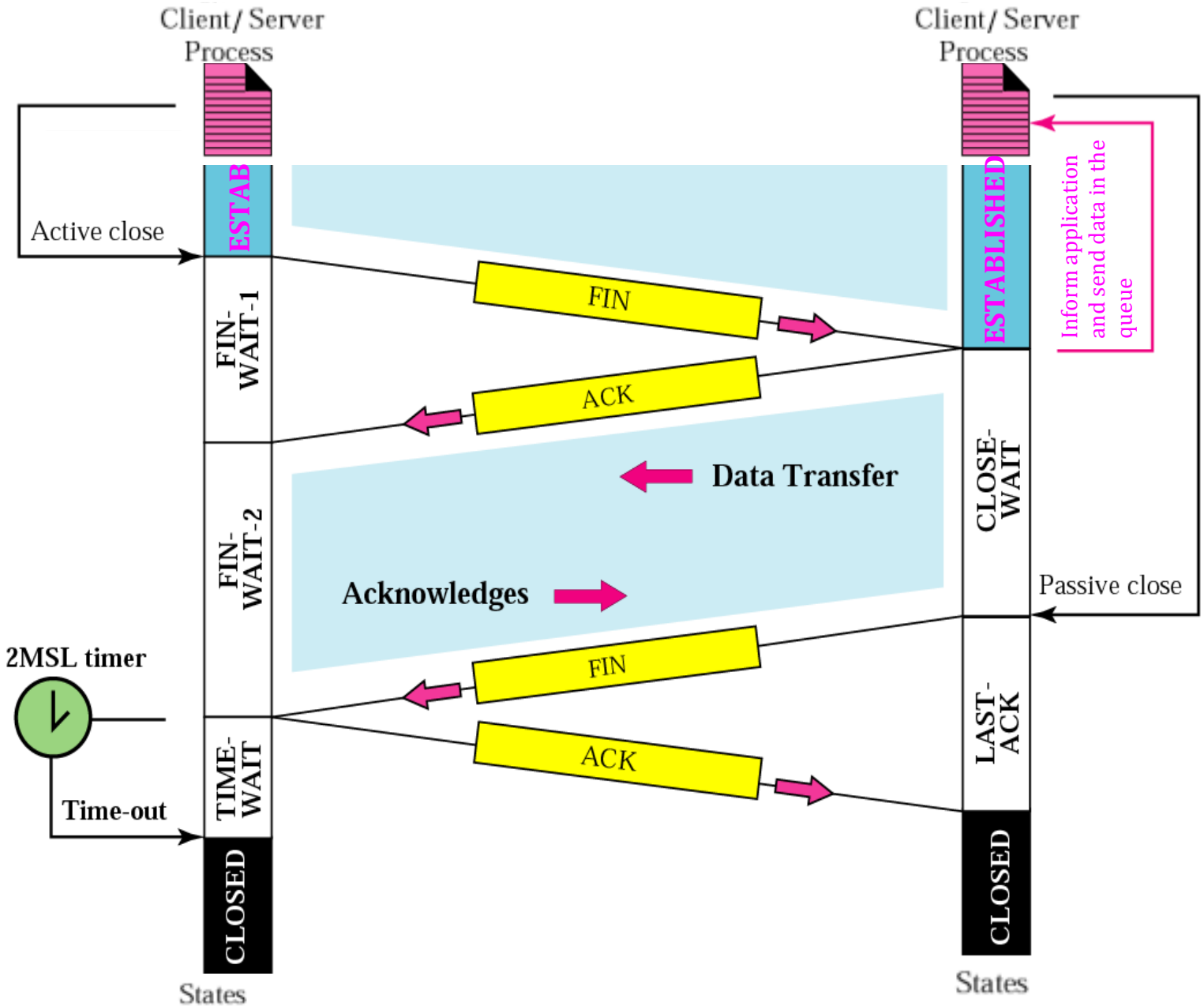
Transiciones:
Evento (primitiva o recepción) / Acción (envío)



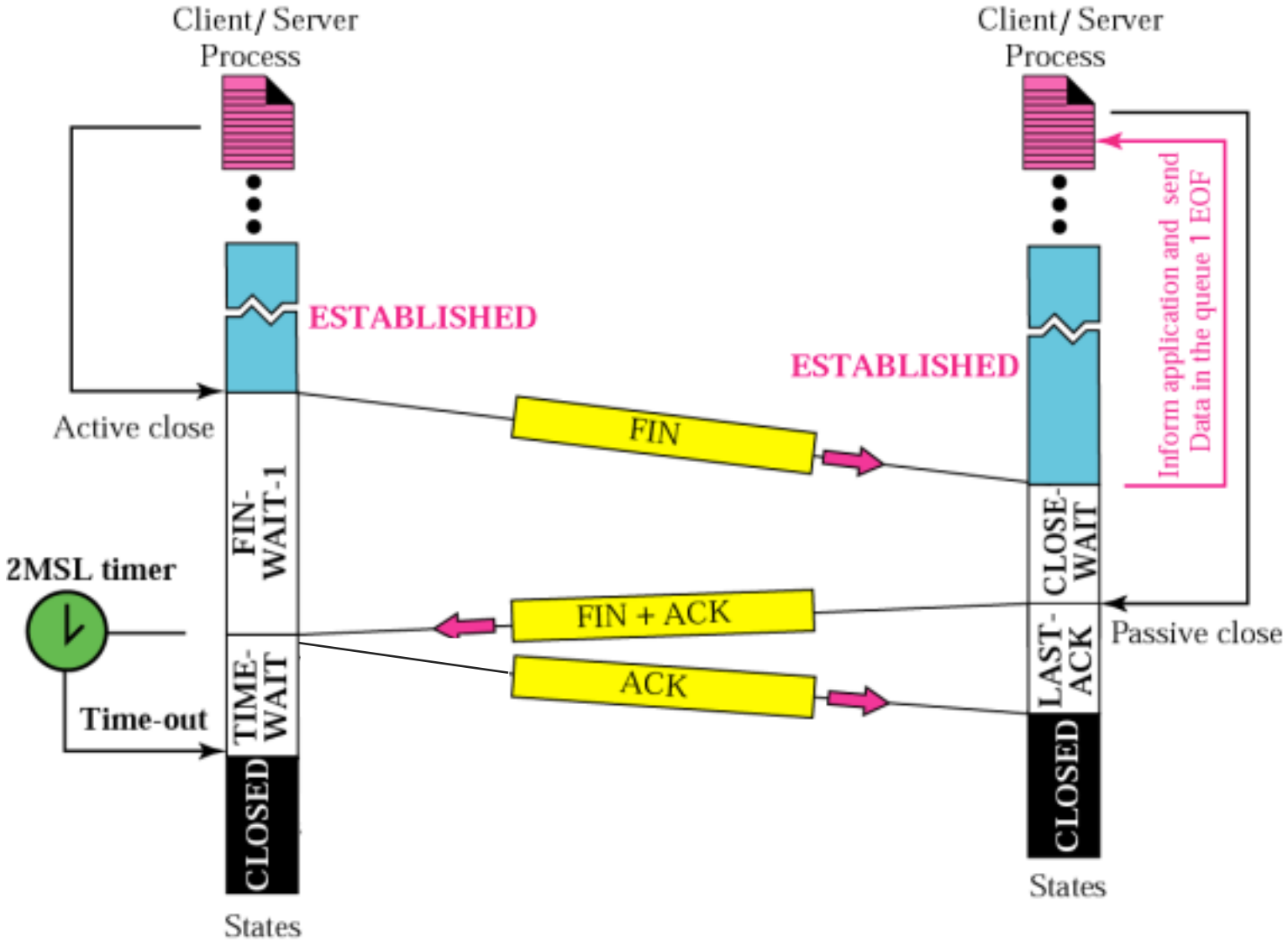
El protocolo TCP: Establecimiento de 3 vías



El protocolo TCP: Cierre de 4 vías



El protocolo TCP: Cierre de 3 vías



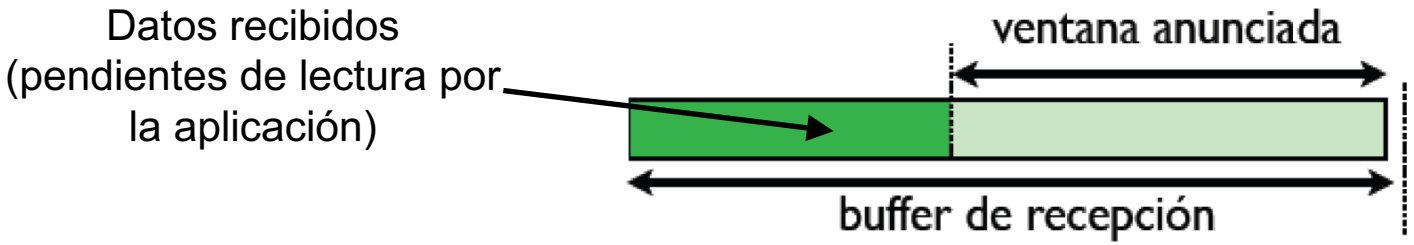
El protocolo TCP: Transmisión de datos

- Intercambio mensajes mediante primitivas **send()** - **recv()** (o write()-read()), una vez establecida la conexión.
- El emisor envía todos 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 ACK por cada segmento recibido:
  - El campo **nº de confirmación** (incorporada o piggyback) siempre contiene el identificador del siguiente byte que se espera recibir del emisor.
  - Pueden usarse confirmaciones retardadas: un ACK confirma todo lo que esté pendiente hasta el byte anterior.
- En caso de que falte algún segmento (fallo de secuencia):
  - Por cada segmento recibido fuera de secuencia, se devuelve un ACK que se refiere siempre al byte que se esperaba recibir en secuencia correcta (pero guarda en el buffer los segmentos fuera de secuencia).
  - Cuando llega el segmento que completa la secuencia, el receptor envía una confirmación de la secuencia completa.

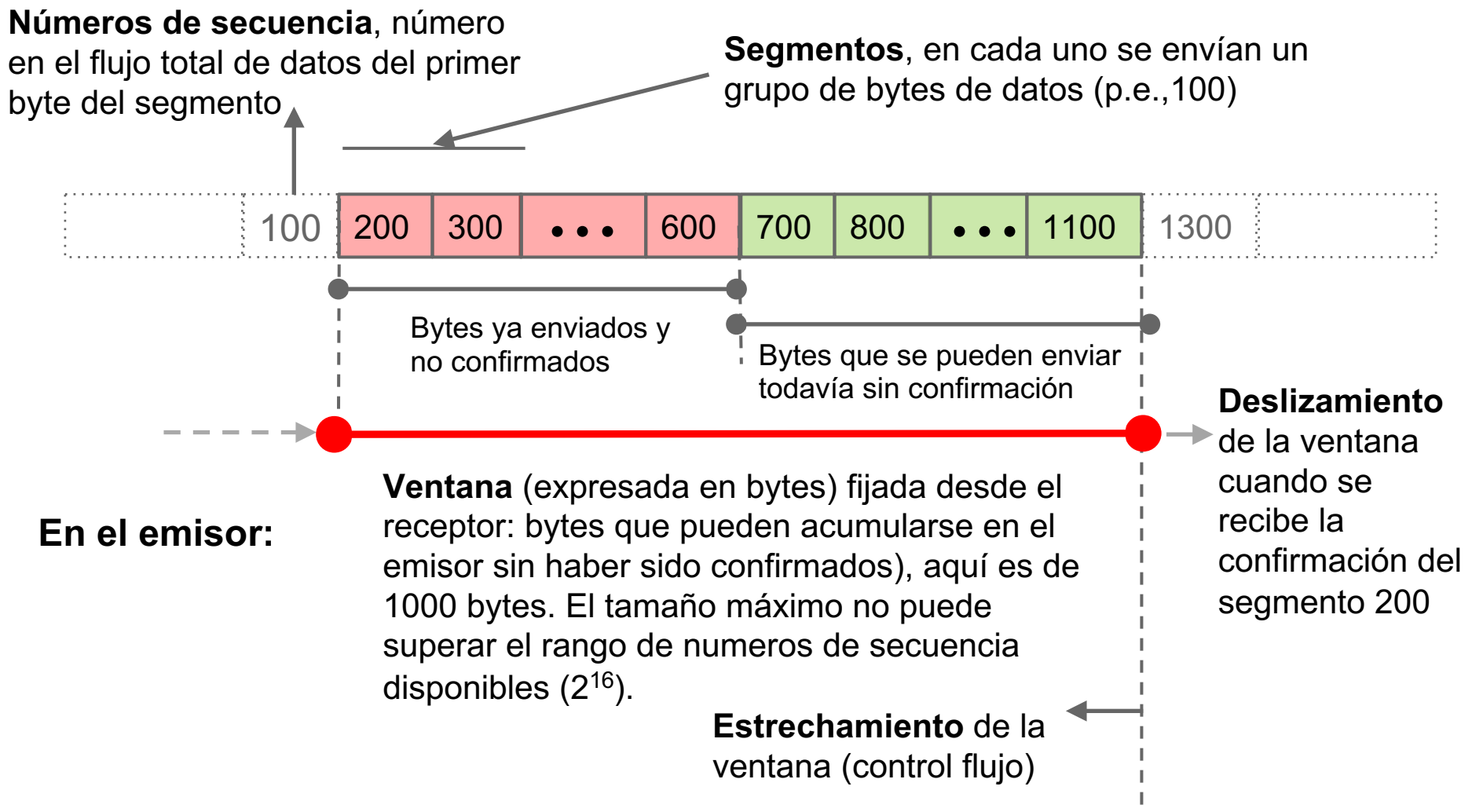
El protocolo TCP: Control de flujo

- El control de flujo se realiza mediante un mecanismo de **ventana deslizante**
- El **tamaño de esta ventana** lo anuncia el **receptor**, e indica el número de bytes que puede aceptar el receptor en un instante dado
  - Determinado por el espacio libre disponible en el buffer de recepción
  - El buffer de recepción almacena los datos recibidos a través de la conexión TCP, hasta que estos son leídos por parte de la aplicación receptora
  - En el **emisor**, la ventana recibida fija el máximo de datos que pueden transmitirse sin recibir confirmación (tam. max Lista de Retransmisión)
- El **tamaño de la ventana varía** a lo largo de una conexión
  - El tamaño de la ventana 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

En el receptor:



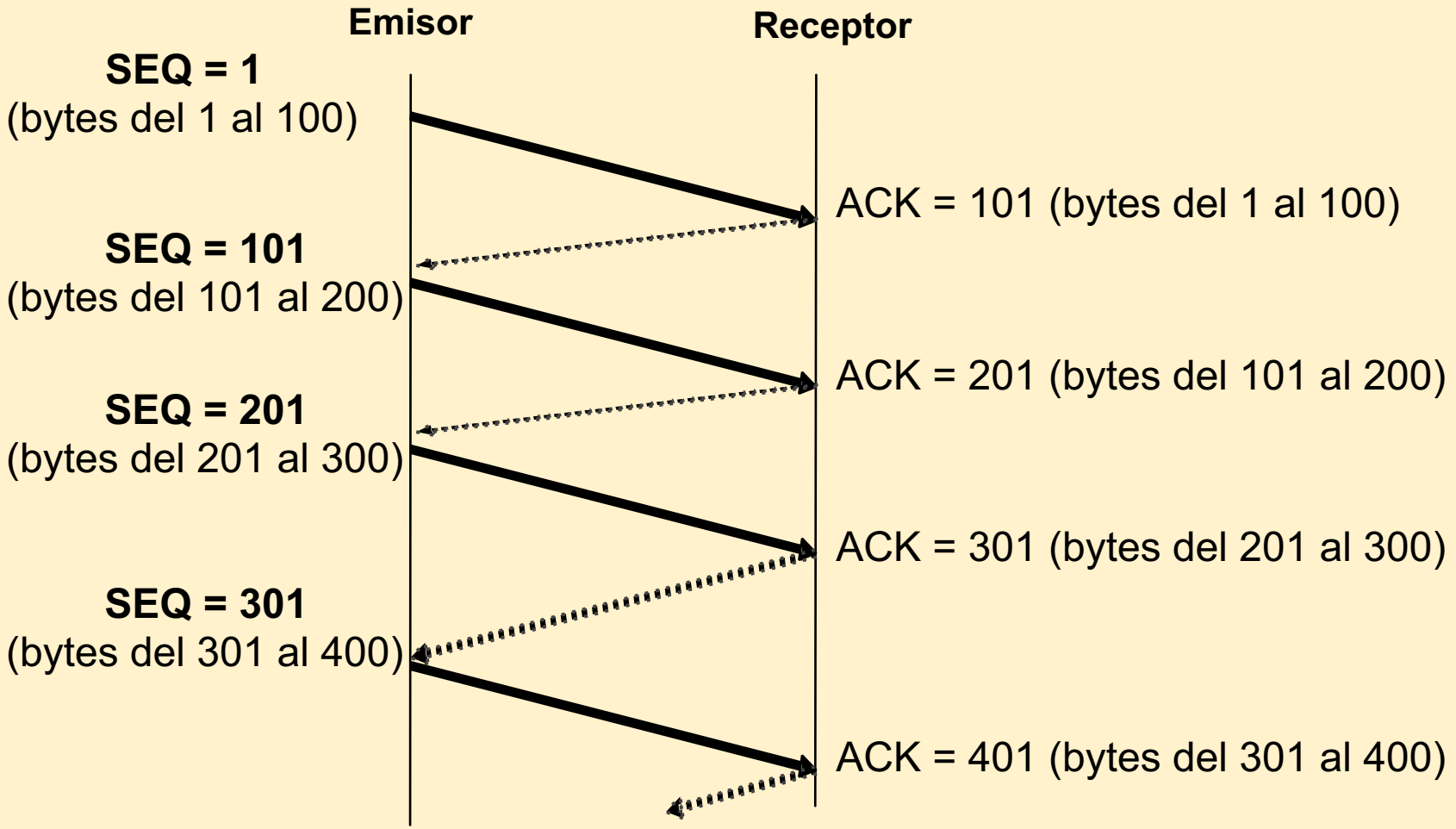
Ventana deslizante en el emisor



- **Números de confirmación (ACK)**, número del primer byte en el flujo de datos que se espera recibir, confirma todos los anteriores.
- **Ventana deslizante**: es el tamaño máximo de la **Lista de Retransmisión** de ARQ (bytes que pueden acumularse como máximo en el buffer del emisor sin haber sido confirmados)

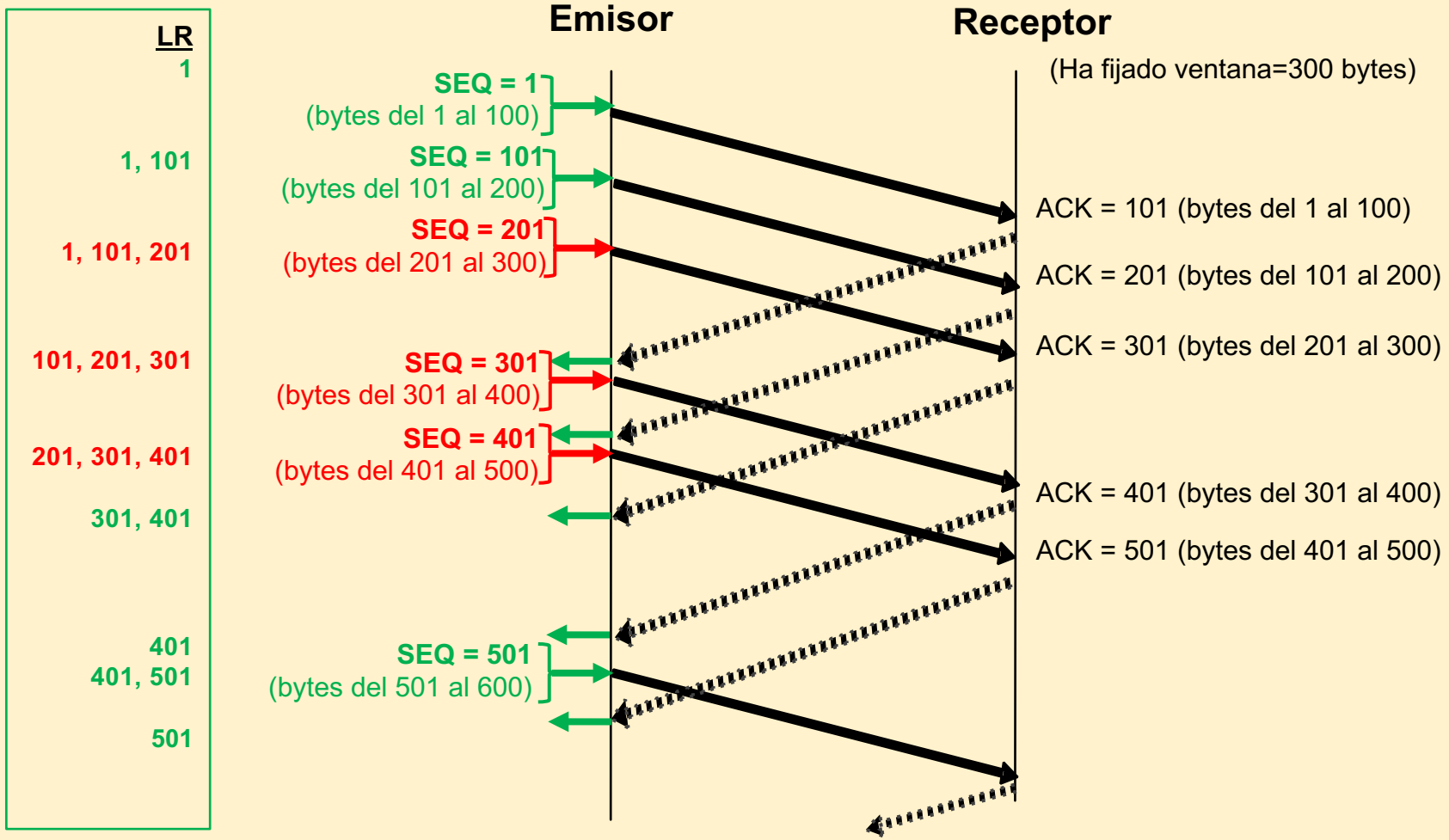
Ventana deslizante: Funcionamiento

Ejemplo: Transmisión sin errores. Tamaño de la ventana 100 bytes. Tamaño del segmento 100 bytes. Este ejemplo equivale a ARQ simple, ya que en la Lista de retransmisión o ventana sólo cabe un único segmento sin confirmar.



Ventana deslizante: Funcionamiento

Ejemplo: Transmisión sin errores. **Tamaño de la ventana = 300 bytes.** Tamaño del segmento 100 bytes. En la Lista de Retransmisión caben como máximo 3 segmentos no confirmados (en rojo cuando se detiene la transmisión al alcanzar este máximo).



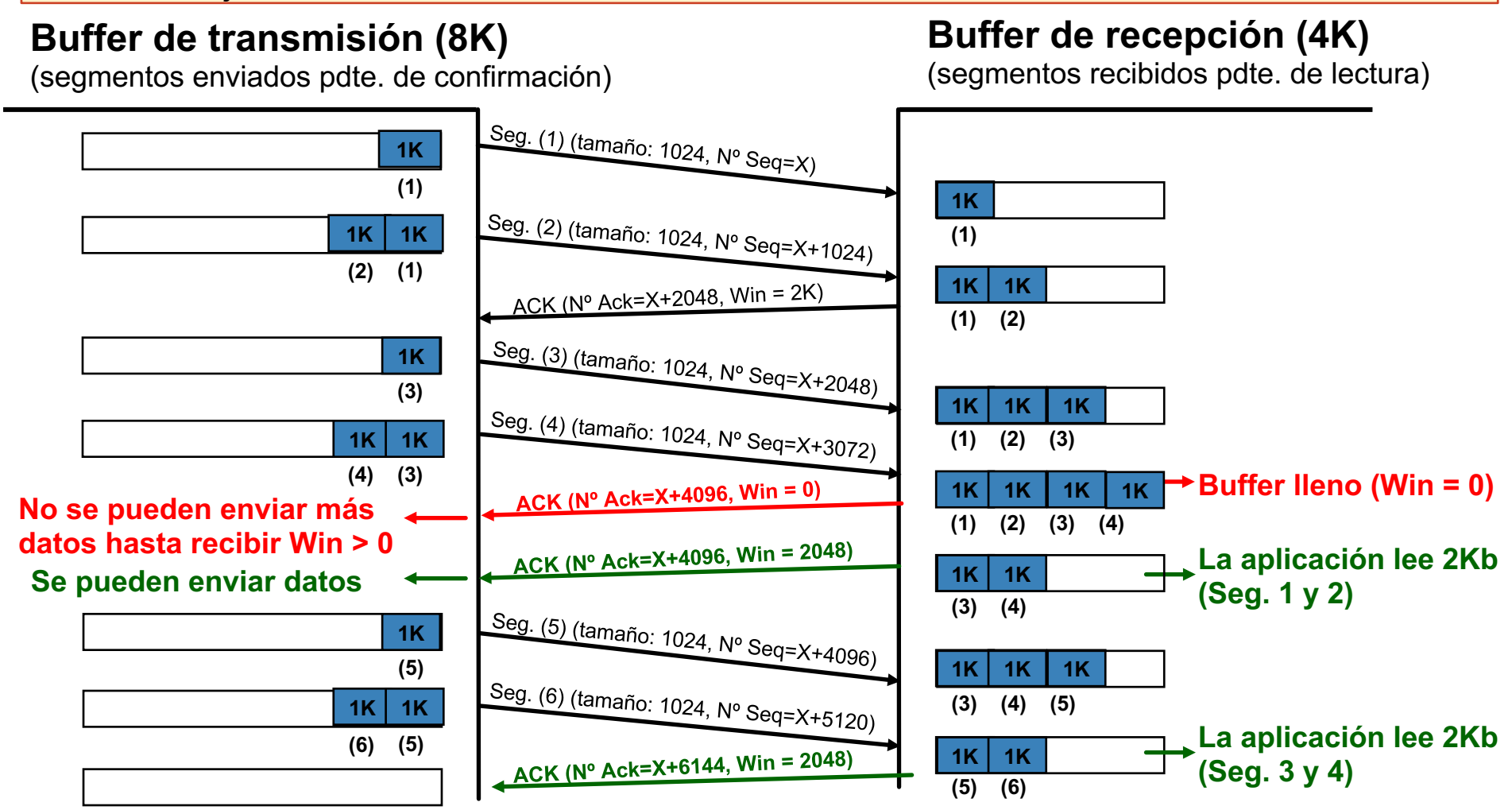
El protocolo TCP: Control de flujo

Ejemplo:

Buffer de transmisión de 8K, de recepción de 4K y segmentos de 1K

Envío de ACK's cada dos segmentos

El emisor ajusta el tamaño de la Lista de Retransmisión a la Ventana recibida.



El protocolo TCP: Problemas de transmisión

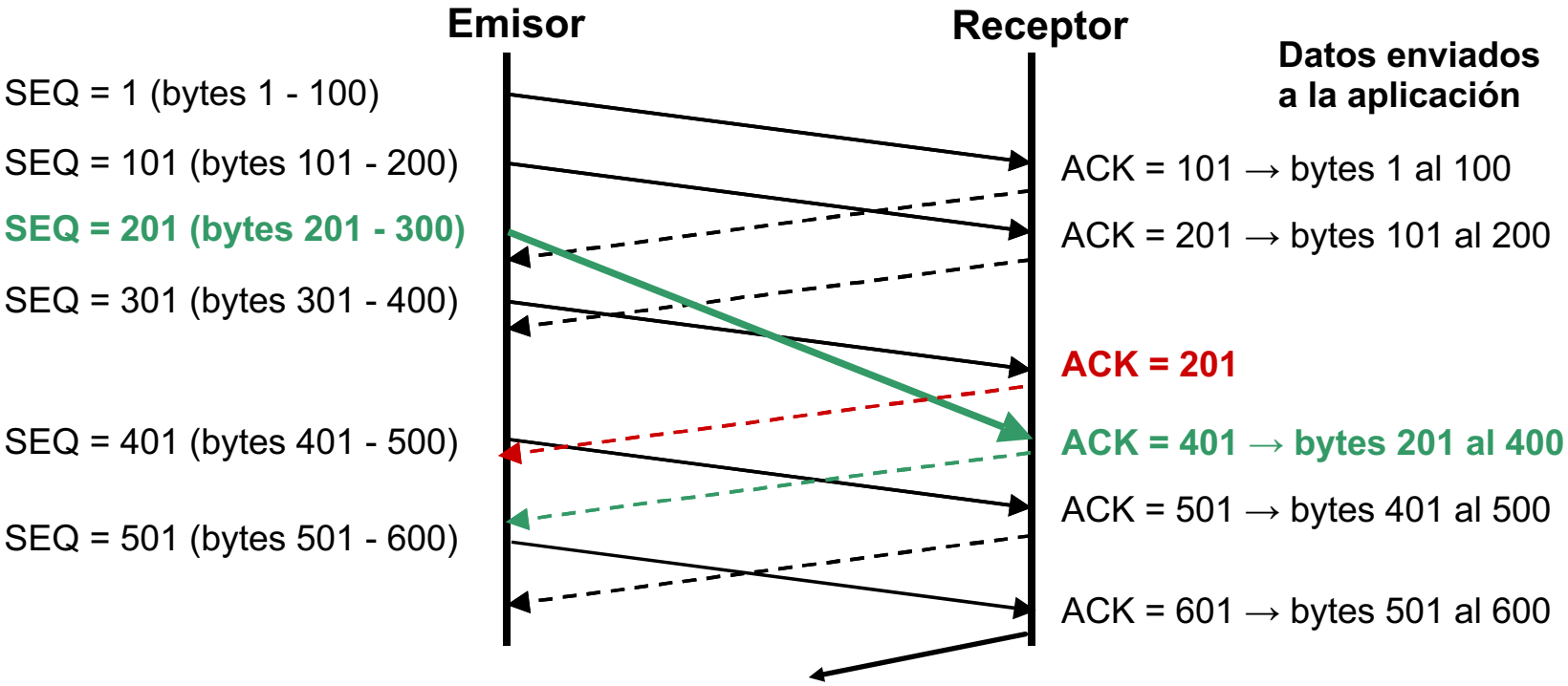
- Vamos a ver mediante ejemplos, tres tipos de problemas durante la transmisión en una conexión TCP:
  - Se retrasa un segmento
  - Se pierde un segmento
  - Se pierden ACKs
- Adoptaremos las siguientes simplificaciones:
  - Sólo se transmiten datos en **un sentido** (Emisor → Receptor).
    - En el 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 (Maximun 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 ACKs 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

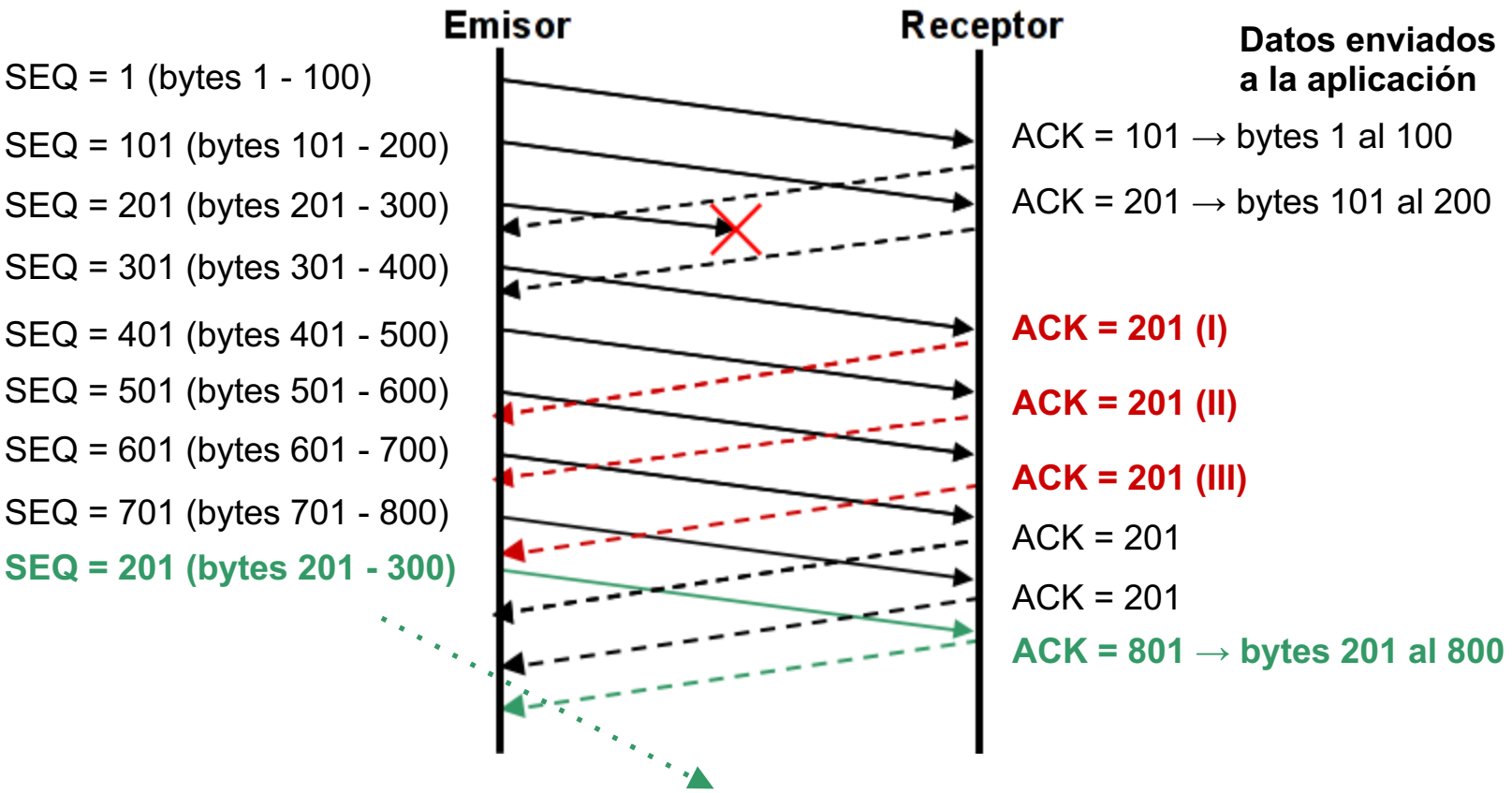
- **Ejemplo 2: Pérdida de un segmento**
  - El receptor empieza a recibir los segmentos fuera de secuencia:
    - Devuelve, por cada segmento fuera de secuencia, un ACK indicando el siguiente byte correcto en secuencia que esperaba recibir (no avanza)
  - El disparo del temporizador de retransmisión en el emisor podría ser un mecanismo muy lento.

-> Retransmisión rápida:

  - Cuando el emisor recibe **tres duplicados del mismo ACK** (el original no cuenta) con el mismo identificador, retransmite el segmento pendiente de confirmación sin esperar a que salte el temporizador RTO
  - El receptor recibe el segmento que le faltaba
    - Envía una confirmación de toda la secuencia completa

El protocolo TCP: Mecanismos de transmisión

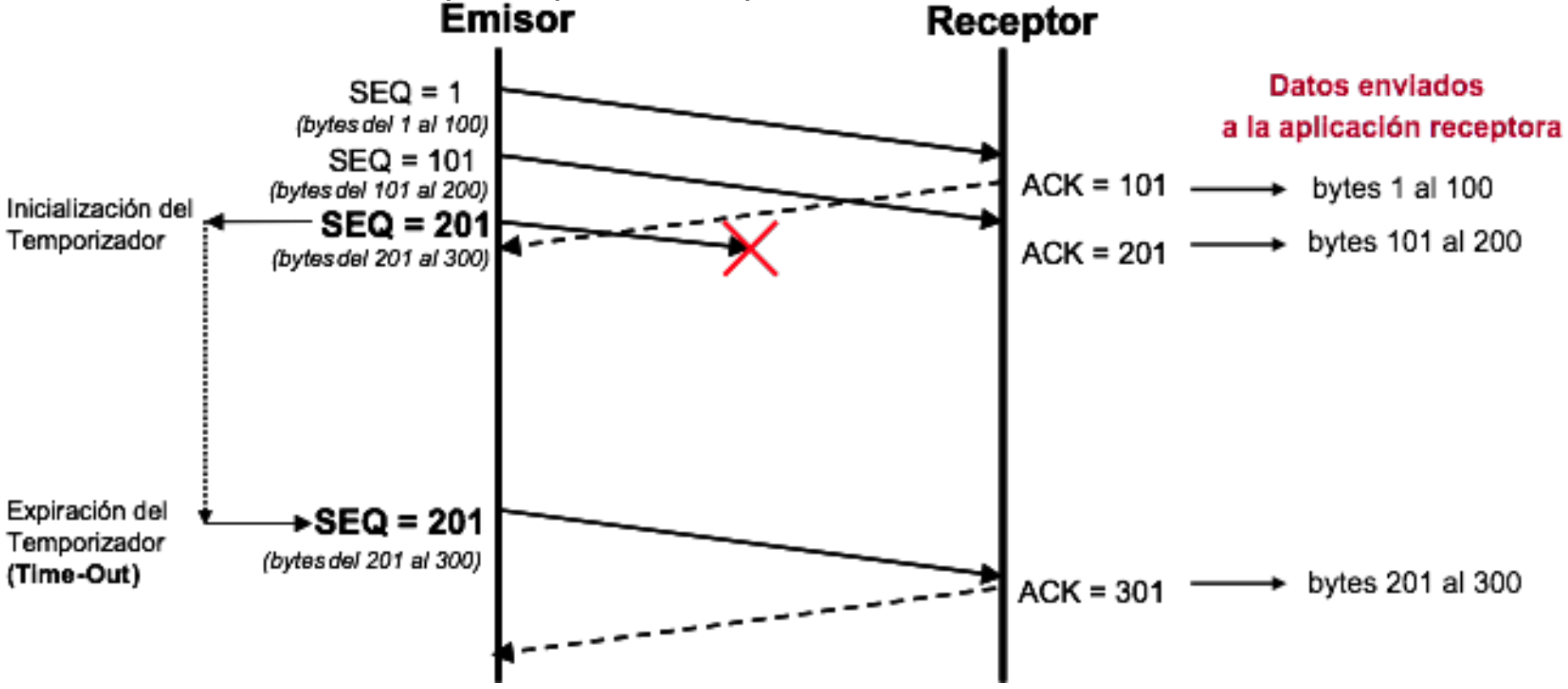
- **Ejemplo 2: Pérdida de un segmento**



Al recibir la 3ª confirmación duplicada con ACK =201, retransmite dicho segmento ("Retransmisión rápida")

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 (RTO o Retransmision-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-time, RTT) de cada segmento

El temporizador RTO se ajusta a 2 veces el tiempo de ida-y-vuelta medido

-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