Módulo 03
La Capa de Transporte (Pt. 3)

Redes de Computadoras
Depto. de Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur

Copyright

Contenidos

- Servicios y protocolos de la capa de transporte
- Multiplexado y demultiplexado de segmentos
- Transporte no orientado a la conexión (**UDP**)
- Teoría de transporte confiable de datos
- Transporte orientado a la conexión (**TCP**)
- Establecimiento y cierre de conexiones
- Teoría de control de congestión
- Control de congestión en **TCP**

Transmission Control Protocol

- Es un protocolo punto a punto
- Permite intercambiar un flujo de bytes
- Implementa una operatoria en pipeline
  - Los mecanismos de control de flujo y de congestión determinan el tamaño de la ventana deslizante
- Requiere hacer uso de almacenamiento intermedio al enviar y a veces al recibir
  - Nótese que es obligatorio en el emisor pero llamativamente opcional en el recepto

Transmission Control Protocol

- Posibilita la transferencia bidireccional de datos
  - Una misma conexión permite enviar y recibir datos.
  - El parámetro **MSS** denota el tamaño máximo de segmento aceptado por una dada implementación
- Es orientado a la conexión
  - Requiere una fase previa de inicialización antes de comenzar con el intercambio de información
- Implementa control de flujo
  - El emisor nunca satura de datos al receptor

Estructura de un segmento

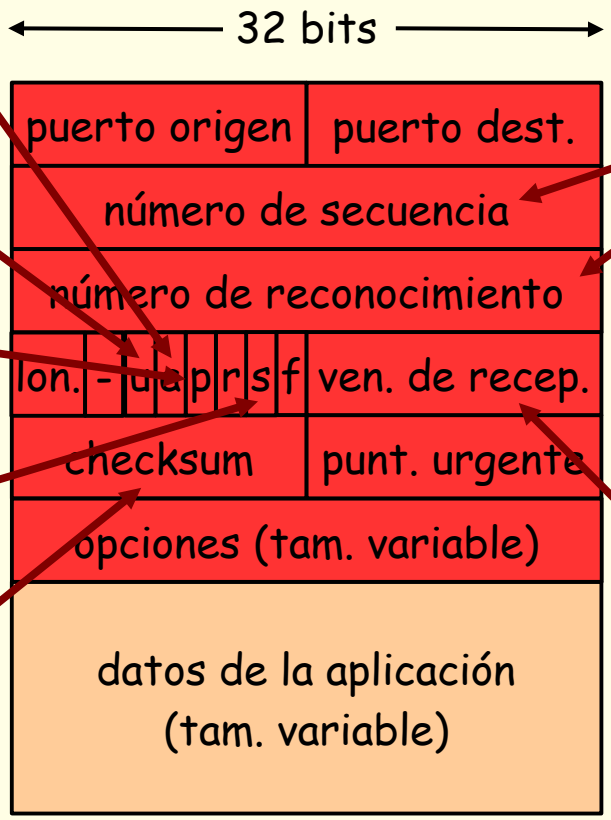
ACK denota que el nro. de reconocimiento es válido

URG permite marcar a los datos como urgentes

PSH solicita se procesen los datos del buffer

RST, **SYN**, **FIN** se utilizan para establecer y finalizar conexiones.

checksum (análogo a **UDP**)

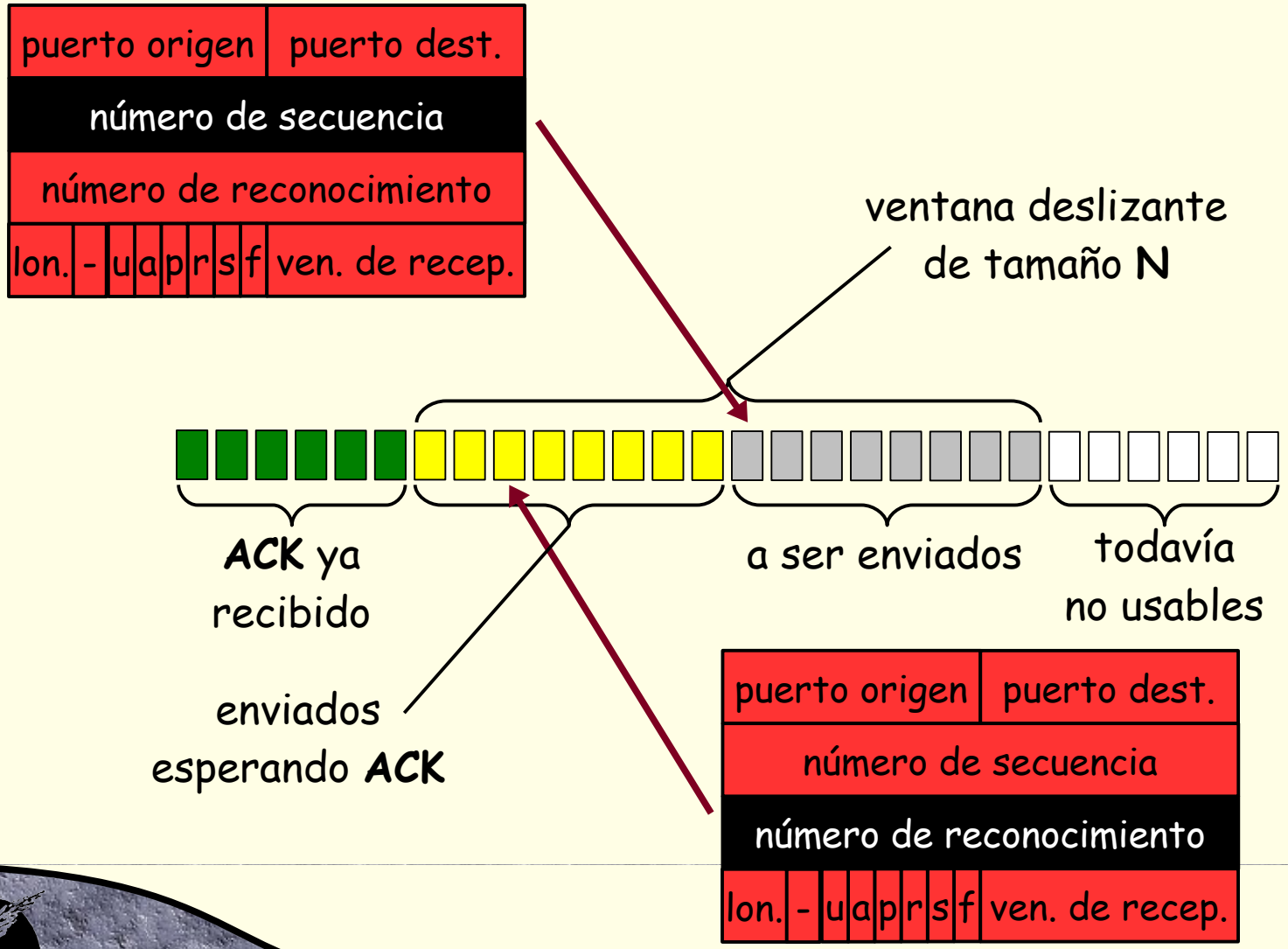


formato de un segmento **TCP**

se cuenta a nivel de bytes, no a nivel de paquetes

campo para publicitar el tamaño de la ventana de recepción

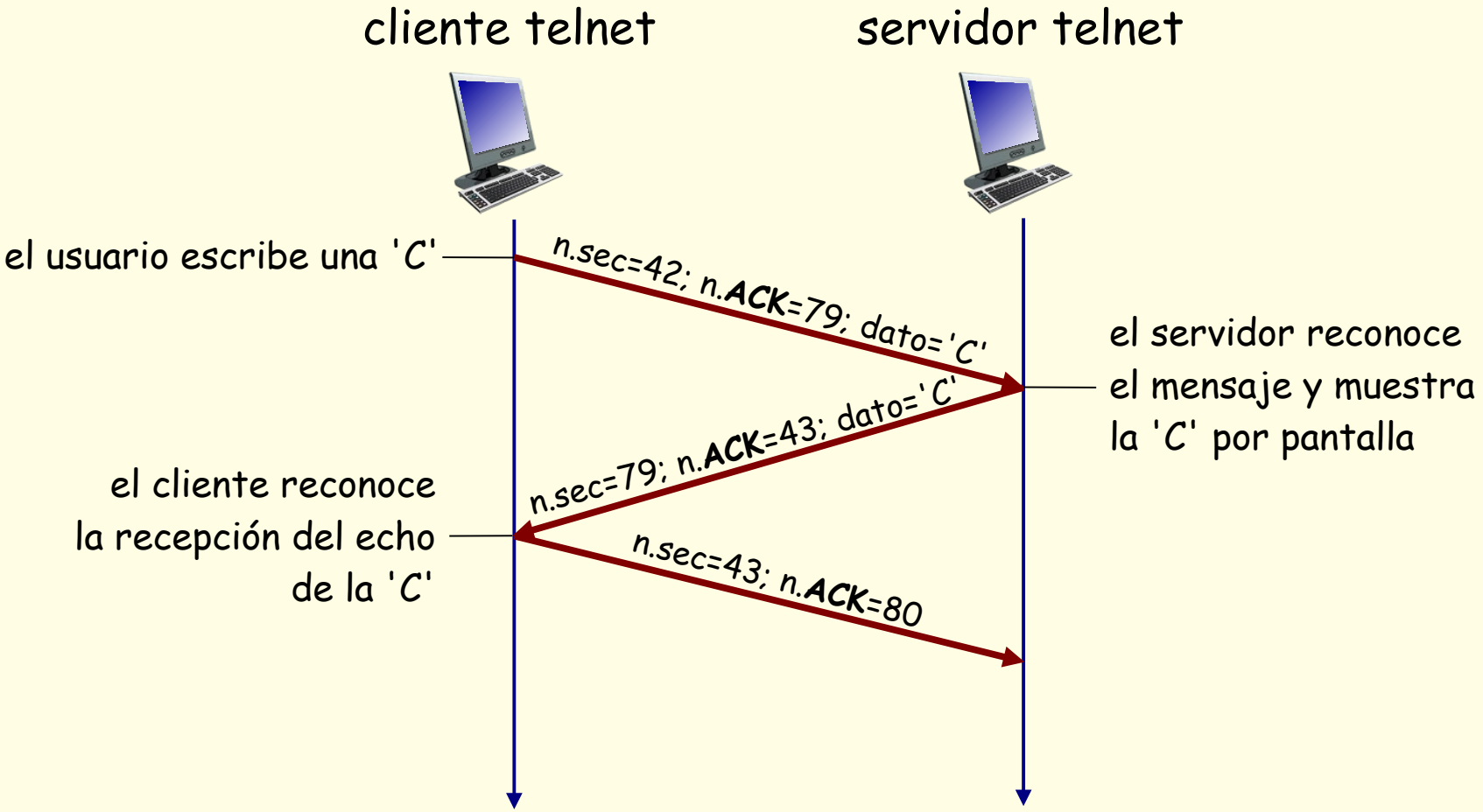
Secuencia y reconocimiento



Secuencia y reconocimiento

- El número de secuencia de un segmento indica la posición del byte transferido dentro del flujo de bytes de la conexión
- El número de reconocimiento indica el próximo número de secuencia esperado del otro lado
  - **TCP** hace uso de reconocimientos acumulativos, esto es, al reconocer un cierto número de secuencia se reconocen implícitamente todos los anteriores
- La especificación formal nada dice acerca de qué hacer con los segmentos fuera de orden

Secuencia y reconocimiento



Tiempo de espera razonable

- ¿Qué valor resulta conveniente adoptar como tiempo de espera razonable (**TCP-timeout**)?
  - Al menos tiene que ser mayor que el **RTT**
  - Pero el **RTT** es un valor dinámico, el cual cambia en el tiempo
  - Un valor excesivamente bajo va a causar reenvíos prematuros absolutamente innecesarios
  - Pero un valor demasiado alto hace que sea muy costoso recuperarse ante una pérdida

Estimación del RTT

- ¿Cómo se puede estimar el valor del **RTT**?
  - Cada vez que se recibe un **ACK** como respuesta a un mensaje enviado previamente se puede obtener una nueva estimación del **RTT**
  - Es conveniente no hacer uso de las retransmisiones a la hora de estimar el **RTT**. ¿Por qué será?
  - La estimaciones obtenidas posiblemente oscilarán a lo largo del tiempo, por lo que hace falta concebir algún mecanismo que permita sopesar múltiples estimaciones

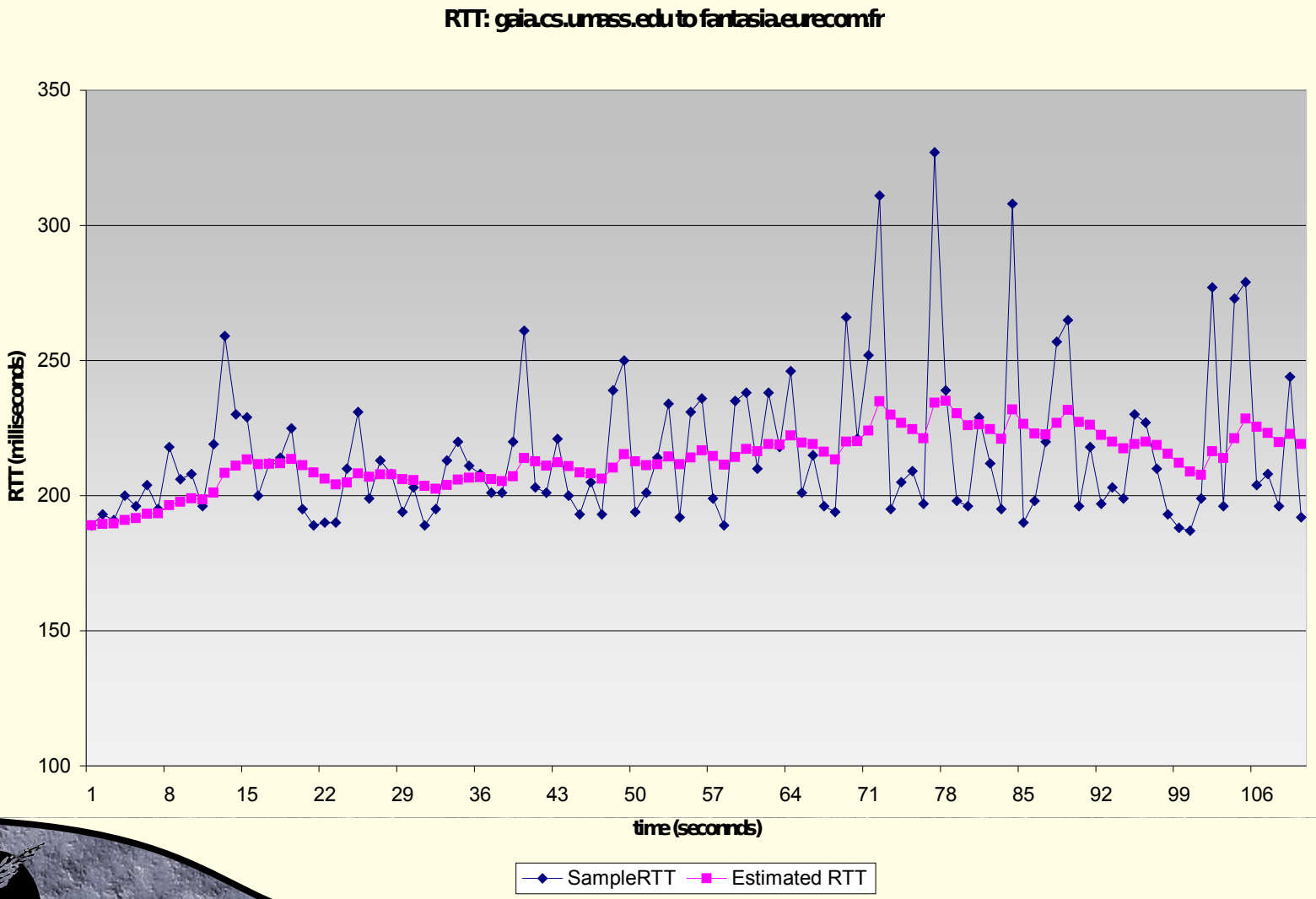
TCP RTT

- Para obtener una estimación adecuada del **RTT** se hace uso del alisado exponencial **EMA** (Exponentially-weighed Moving Average)

$$\textbf{RTT}\text{-estimado} = (1 - \alpha) \times \textbf{RTT}\text{-estimado} + \alpha \times \textbf{RTT}\text{-observado}$$

- **EMA** prioriza la última medición del **RTT** y penaliza cada vez mas a las mediciones anteriores de forma exponencial
  - Un valor usual para α es 0.125

RTT observado vs. estimado



TCP timeout

- Una vez obtenida la estimación del **RTT** es posible elegir un valor adecuado de timeout
  - Al valor estimado de **RTT** se le debe incorporar un margen de seguridad adicional
  - Ante grandes cambios en el valor estimado, el margen de seguridad debería incrementarse

desvmed-**RTT** = (1 - β) × desvmed-**RTT** + β × | **RTT**-observado – **RTT**-estimado |

  - Un valor usual para β es 0.25

TCP-timeout = **RTT**-estimado + 4 × desvmed-**RTT**

Transmisión confiable

- **TCP** implementa un canal de comunicación confiable por encima del canal no confiable provisto por la capa de red
  - Hace uso de las técnicas exploradas en la familia de protocolos **RDT** y de los protocolos **GBN** y **SR**
  - Usa un único temporizador para controlar las retransmisiones producto de las pérdidas
  - También se disparan retransmisiones al recibir mensajes de **ACK** duplicados

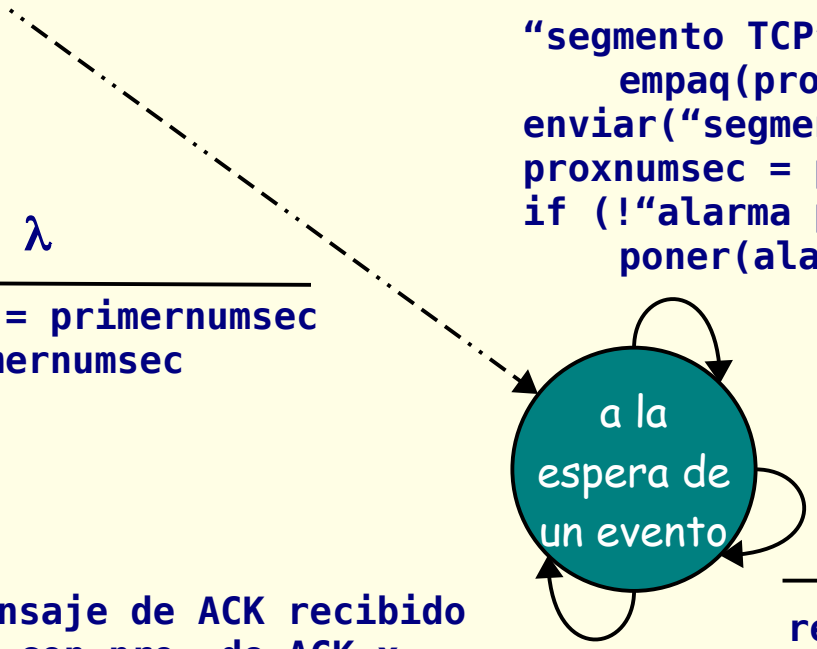
Emisor TCP (simplificado)

- Al recibir nuevos datos de la aplicación:
  - Crea un segmento con el número de secuencia que corresponda (esto es, el desplazamiento del primer byte a ser transmitido a través del flujo de bytes)
  - Programar el temporizador, en caso de no estar ya corriendo, usando el **`TCP-timeout`** antes calculado
- Al dispararse la alarma de temporizado:
  - Retransmitir el segmento que expiró
  - Reprogramar el temporizador

Emisor TCP (simplificado)

- Al recibir un mensaje de **ACK**:
  - Si se trata de un mensaje de **ACK** asociado a un segmento para el cual se estaba esperado confirmación, marcar el segmento como confirmado y reiniciar el temporizador sólo en caso de contar con otros segmentos para los cuales se está aún esperando confirmación
  - Por el momento asumiremos como simplificación que no se reciben mensajes de **ACK** por duplicado
  - También ignoraremos el control de flujo y la gestión de las congestiones (por ahora)

Emisor TCP (simplificado)



"datos" recibidos de la aplicación

```
"segmento TCP" =
    empaq(proxnumsec, "datos", checksum);
enviar("segmento TCP");
proxnumsec = proxnumsec + largo("datos");
if (!"alarma puesta")
    poner(alarma);
```

λ

```
proxnumsec = primernumsec
base = primernumsec
```

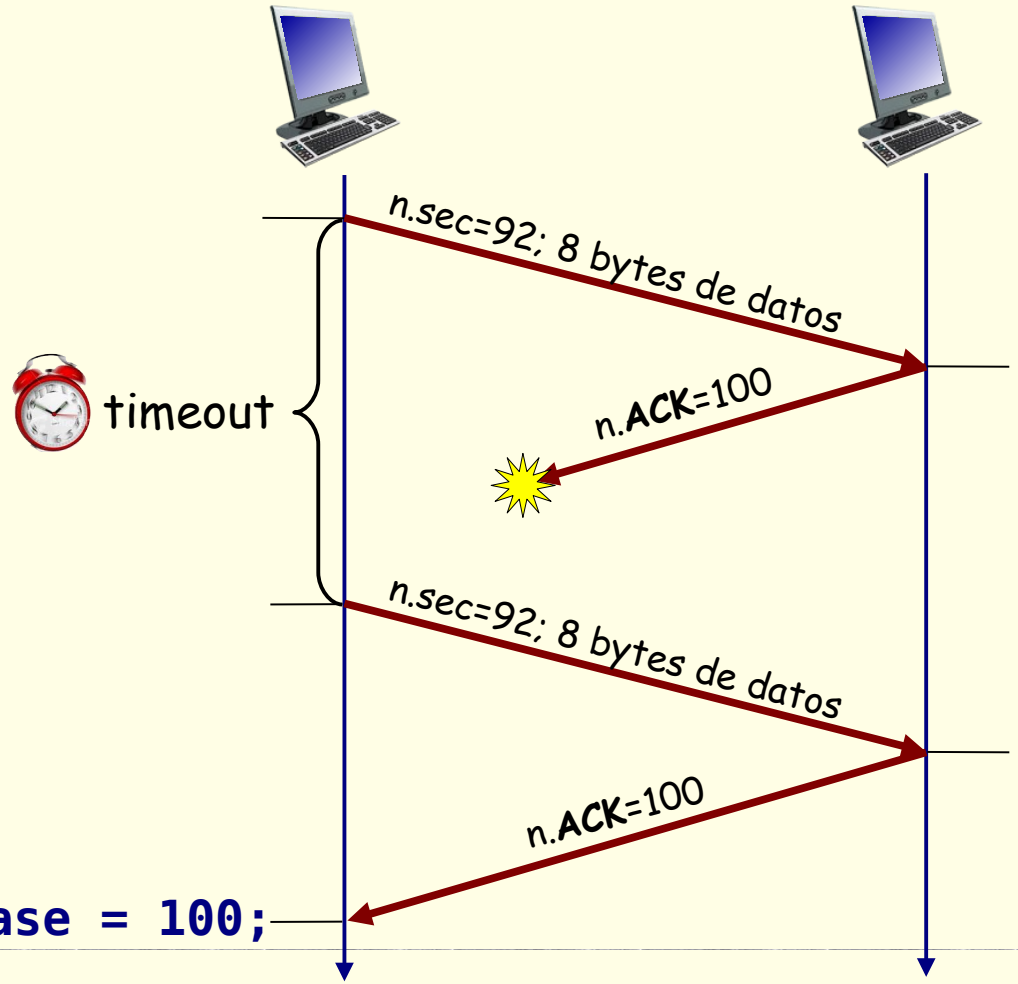
disparo(alarma)

```
reenviar el segmento aún-
    no reconocido con menor-
    nro. de sec.;
poner(alarma);
```

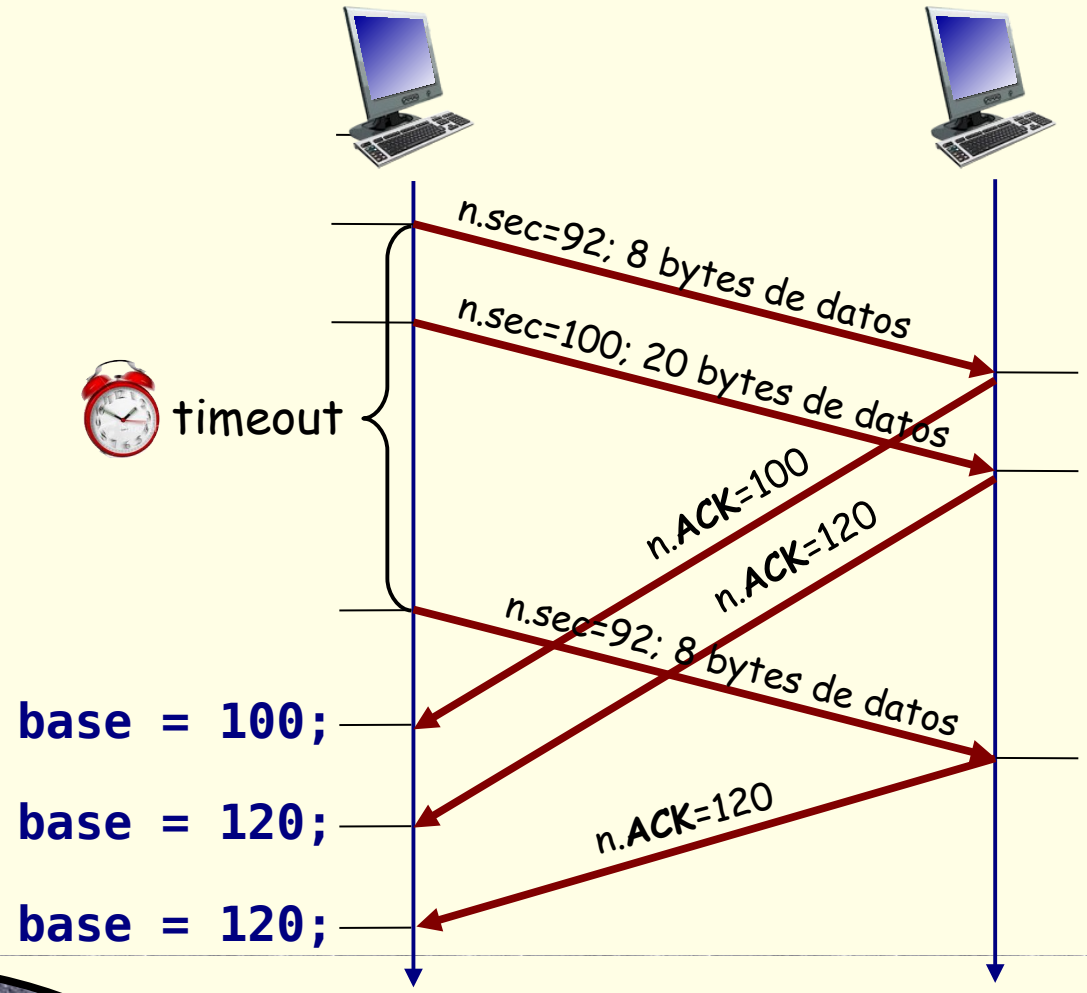
mensaje de ACK recibido
con nro. de ACK x

```
if (x > base)
    base = x;
    if ("quedan segmentos-
            no reconocidos")
        poner(alarma);
```

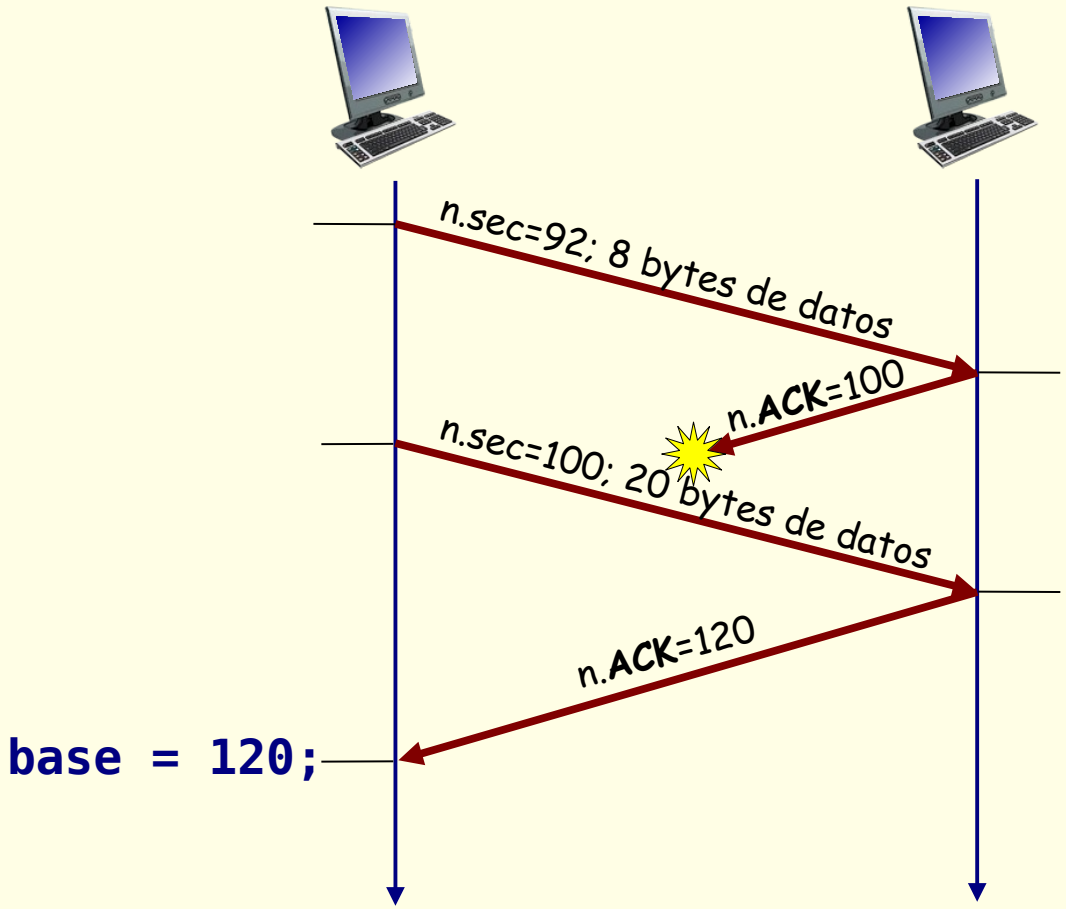
Pérdida de un ACK



Timeout prematuro



Reconocimiento acumulativo



Ajuste fino del temporizador

- La pérdida de segmentos se debe usualmente a la congestión en alguno de los routers del núcleo de la red
- Al producirse la retransmisión de un segmento a consecuencia del disparo del temporizador debemos tener esto en consideración:
  - Al volver a programar el temporizador a consecuencia de la retransmisión se debe duplicar su duración
  - Es decir, se dejará momentáneamente de lado el mecanismo de estimación basado en el **RTT**

Generación de confirmaciones

- Al llegar un segmento en orden, esto es, con el número de secuencia esperado, y además si ya se han confirmado todos los bytes anteriores del flujo de bytes:
  - Este caso se conoce como "confirmación demorada" (delayed **ACK**), pues se debe esperar hasta 500ms para ver si se reciben más segmentos
  - De no aparecer segmento alguno, se envía la confirmación al acabarse el tiempo de espera

Generación de confirmaciones

- Al llegar un segmento en orden, esto es, con el número de secuencia esperado, pero con la salvedad de que el último segmento aún no fue confirmado:
  - Enviar inmediatamente un único mensaje confirmando al mismo tiempo a ambos segmentos
  - Este caso se produce al llegar un segundo segmento mientras que con un segmento anterior se estaba ensayando una confirmación demorada

Generación de confirmaciones

- Al llegar un segmento fuera de orden el cual genera un hueco (faltan bytes en el medio):
  - Enviar inmediatamente un mensaje de confirmación duplicado indicando el número de secuencia del primer byte faltante
- Al llegar un segmento fuera de orden el cual completa parcial o totalmente el comienzo de un hueco anterior:
  - Enviar inmediatamente un mensaje de confirmación para la parte cubierta del hueco

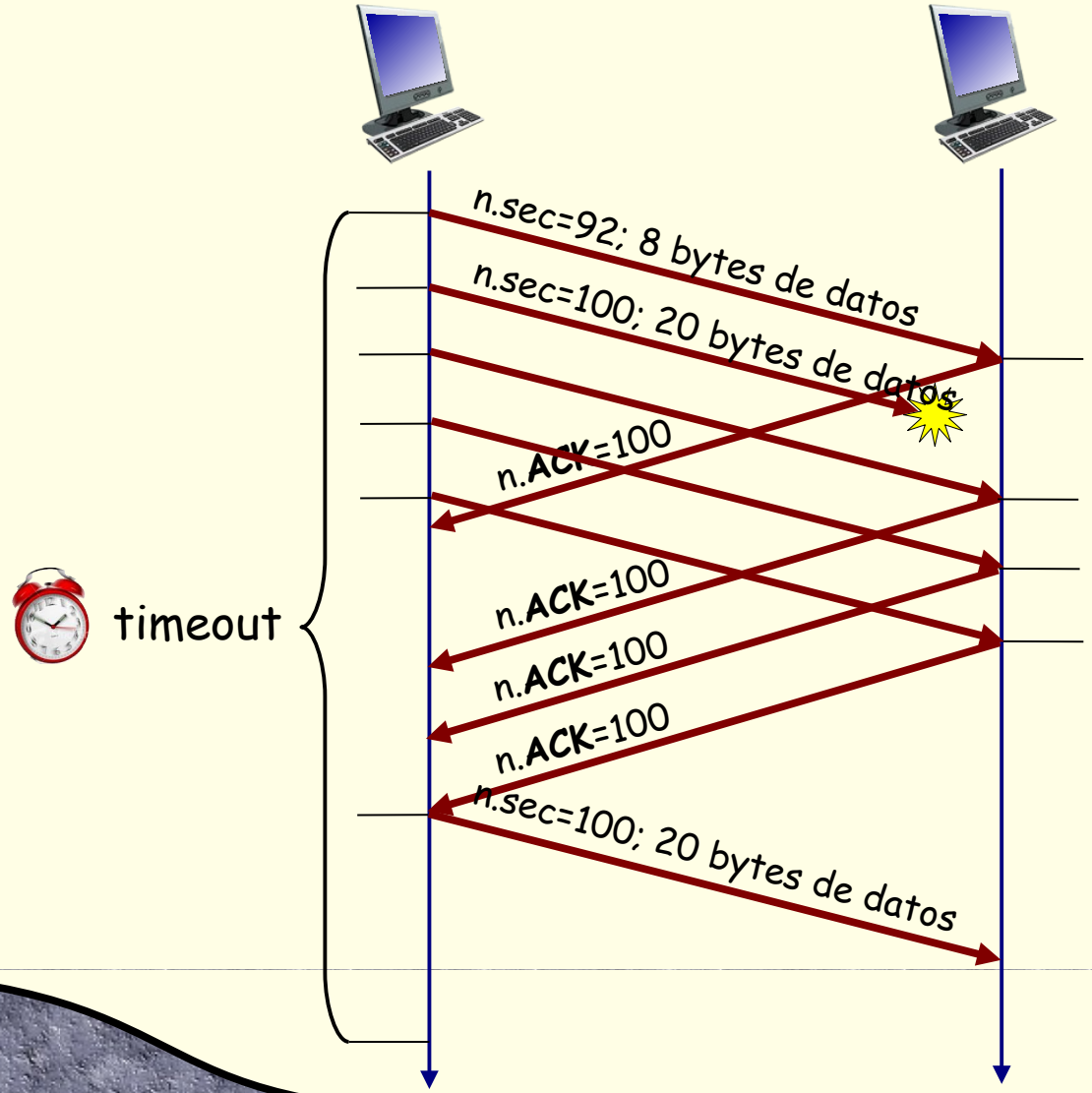
Retransmisión anticipada

- Esperar hasta que se dispare la alarma asociada a un segmento implica tener que esperar una gran cantidad de tiempo
- El emisor podría darse cuenta de que se produjo algún inconveniente al detectar la recepción de confirmaciones duplicadas
  - El emisor suele enviar múltiples segmentos uno tras otro (mientras la ventana lo permita)
  - Al perderse un segmento llegarán múltiples mensajes de confirmación para el último segmento recibido

Retransmisión anticipada

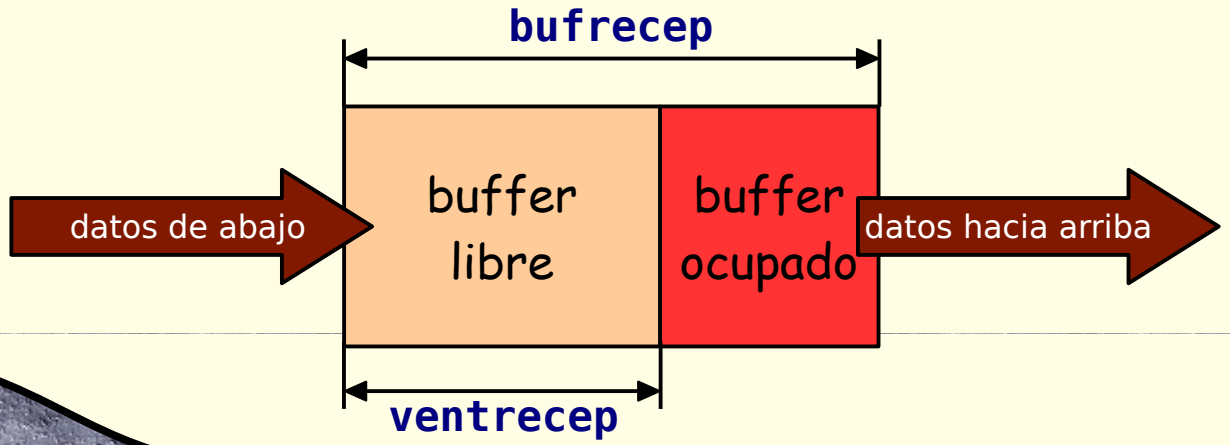
- El emisor al observar tres mensajes de confirmación repetidos puede asumir que el segmento con ese número de secuencia se malogró
- La técnica de retransmisión anticipada (fast retransmit) consiste en retransmitir un cierto segmento antes de que se dispare la alarma del temporizador

Retransmisión anticipada



Control de flujo en TCP

- El protocolo **TCP** estipula que el receptor cuente con un almacenamiento intermedio para alojar los segmentos que van llegando
  - La aplicación puede tomarse su tiempo en consumir los segmentos que van llegando
  - El control de flujo consiste en asegurar que el emisor no sature el almacenamiento intermedio del receptor



Control de flujo en TCP

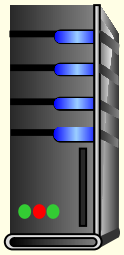
- El receptor publicita el valor actual de la ventana de recepción **`ventrecep`**
  - En una implementación que descarte los segmentos recibidos fuera de orden el buffer libre se estima como **`bufrecep – [ultbyterecep – ultbyteent]`**
- El emisor limita la cantidad de paquetes enviados aún no reconocidos a ese valor
  - De esta forma se asegura que nunca saturará al buffer del receptor

Gestión de conexiones en TCP

- Recordemos que **TCP** previo al comienzo del intercambio de segmentos debe establecer la conexión entre las partes involucradas
- Durante esta fase las partes acuerdan de forma mutua conectarse y deben inicializar las distintas variables **TCP** tales como:
  - Número de secuencia inicial (**base**, **proxnumsec**)
  - Almacenamientos intermedios (**bufrecep**)
  - Tamaño de la ventana de recepción (**ventrecep**)

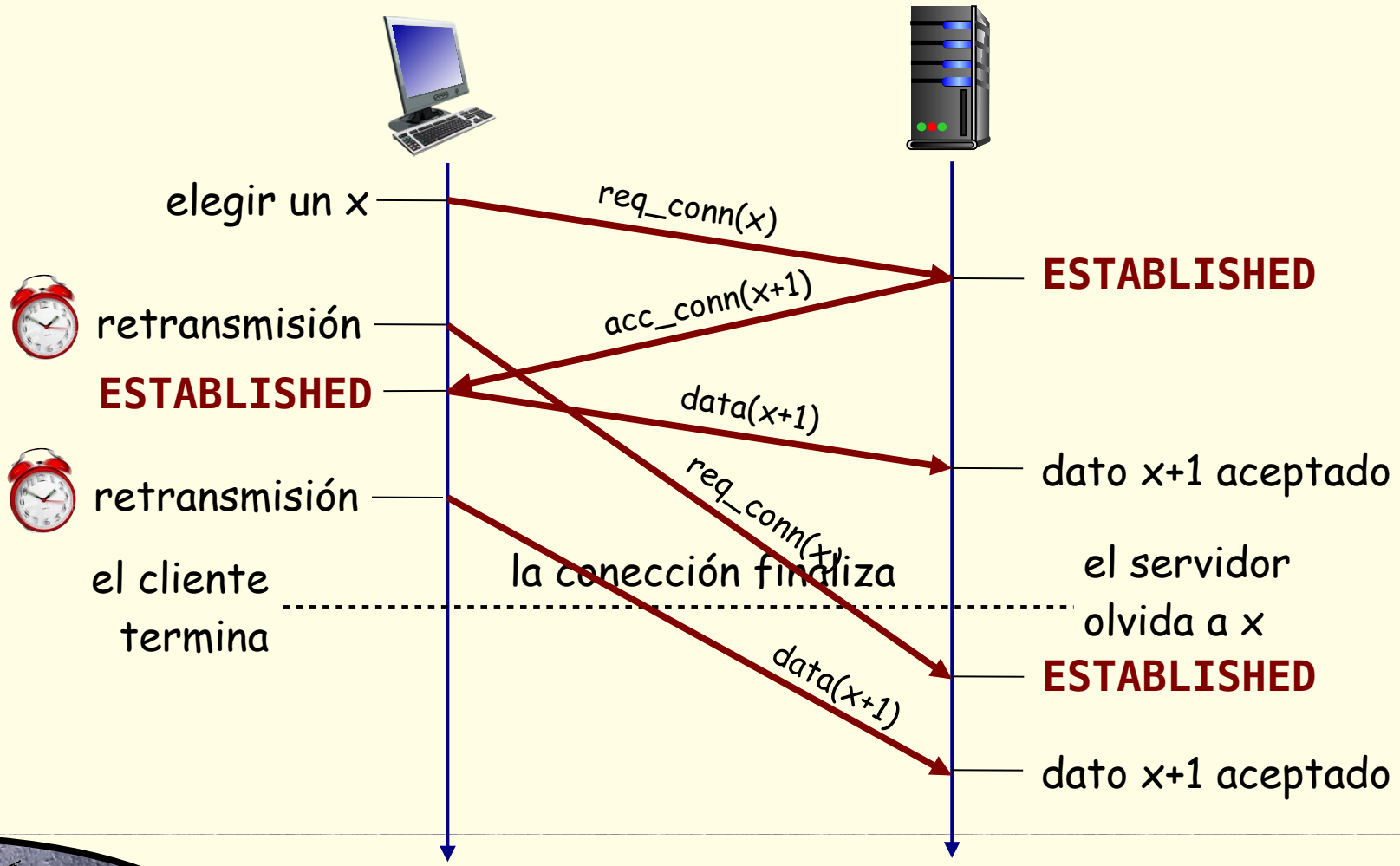
Acuerdo mutuo

- Un protocolo de dos fases, ¿funcionará en una red de computadoras?
  - Los retardos son variables
  - Debemos contemplar eventuales retransmisiones
  - Quizás los mensajes arriben fuera de orden

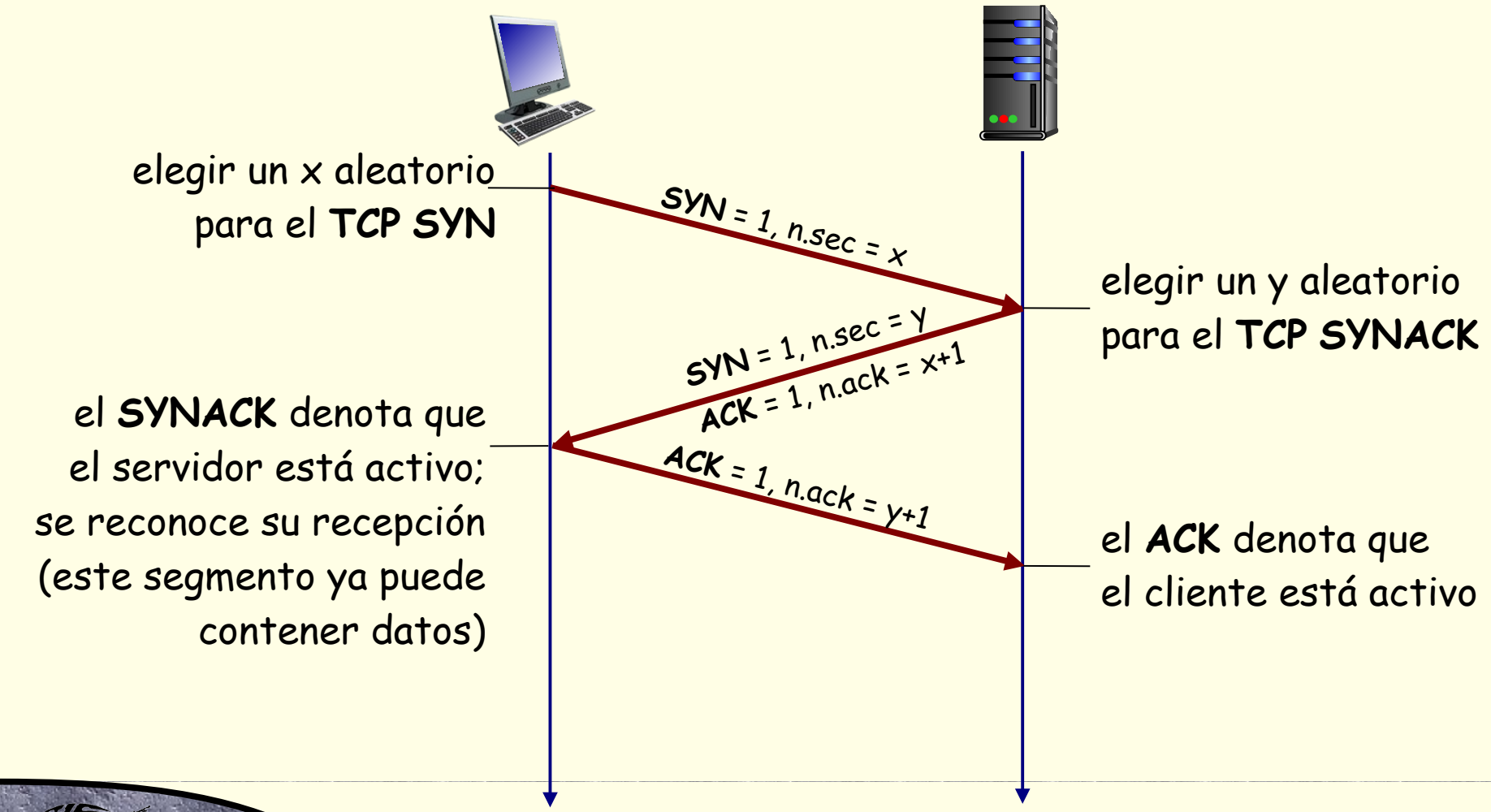


Saludos de dos fases

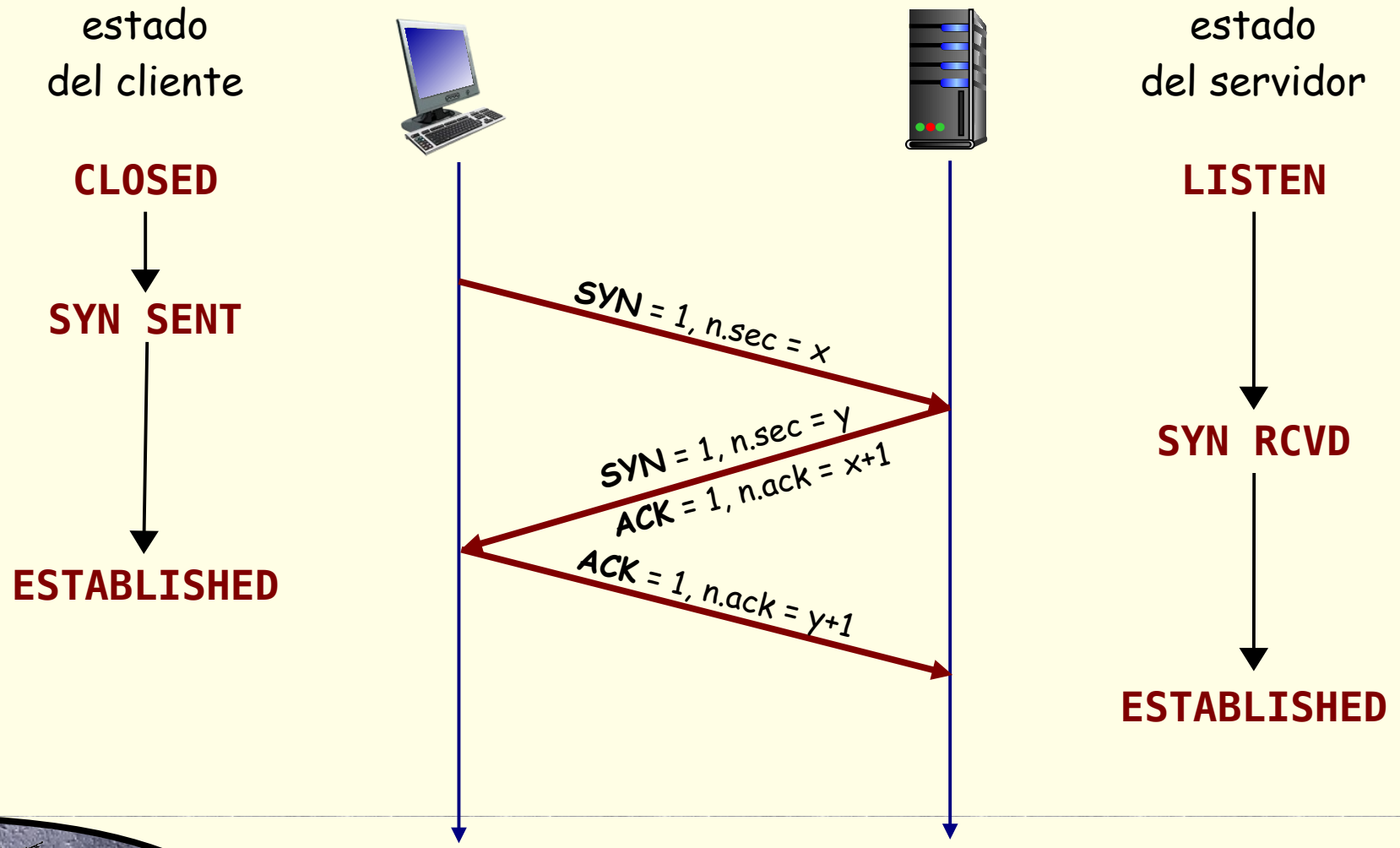
Saludos de dos fases



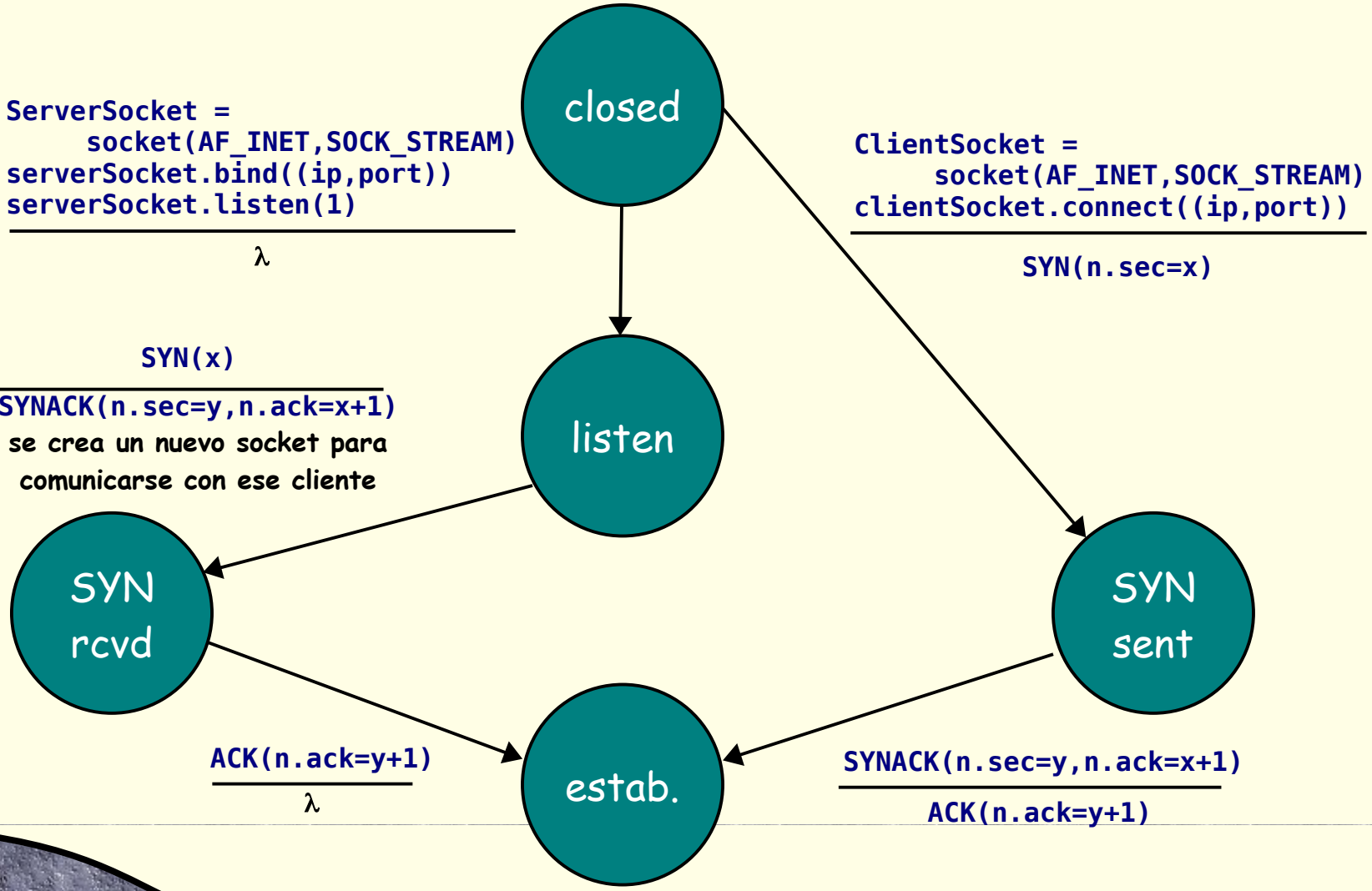
Saludo de tres fases



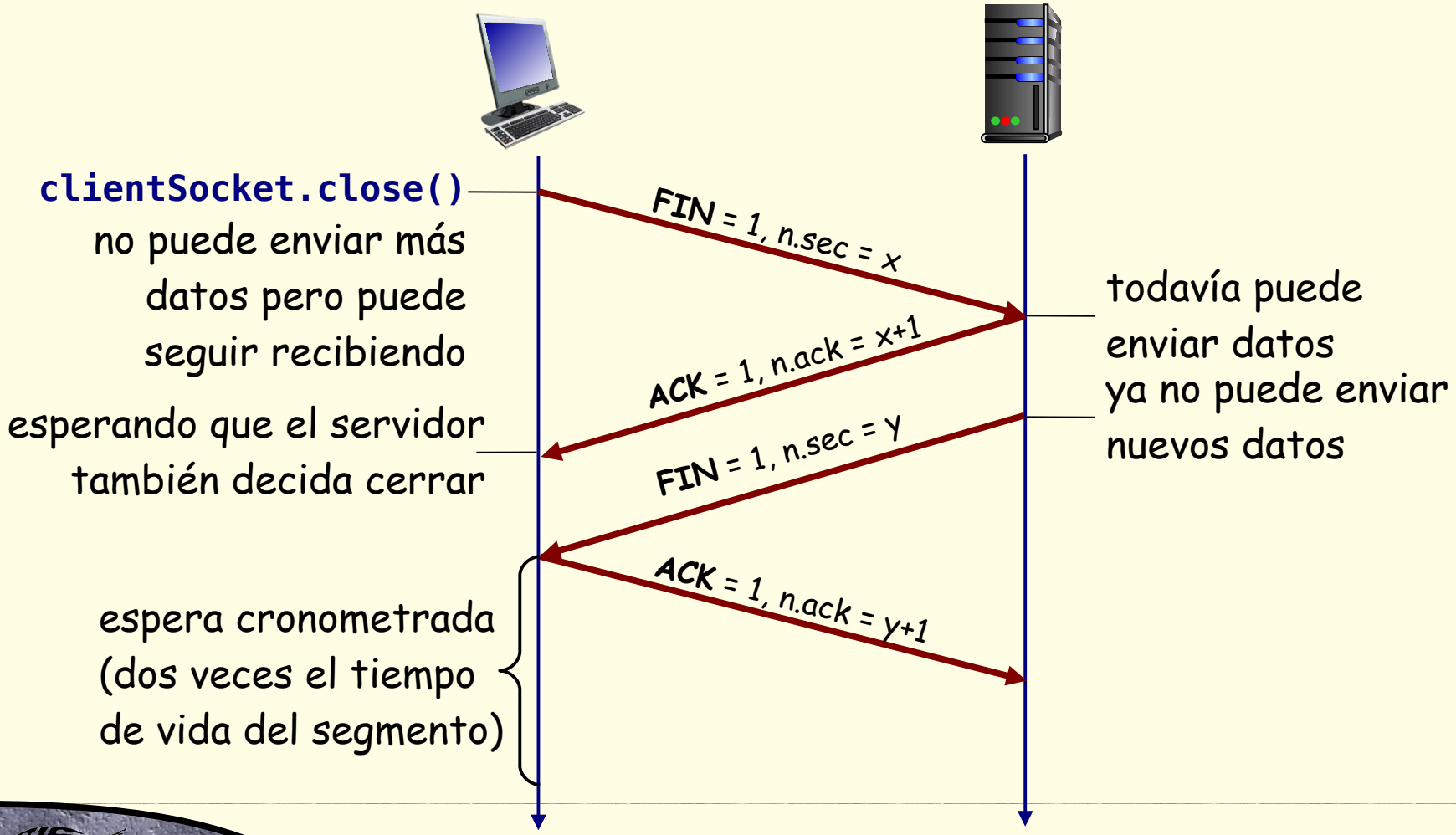
Saludo de tres fases



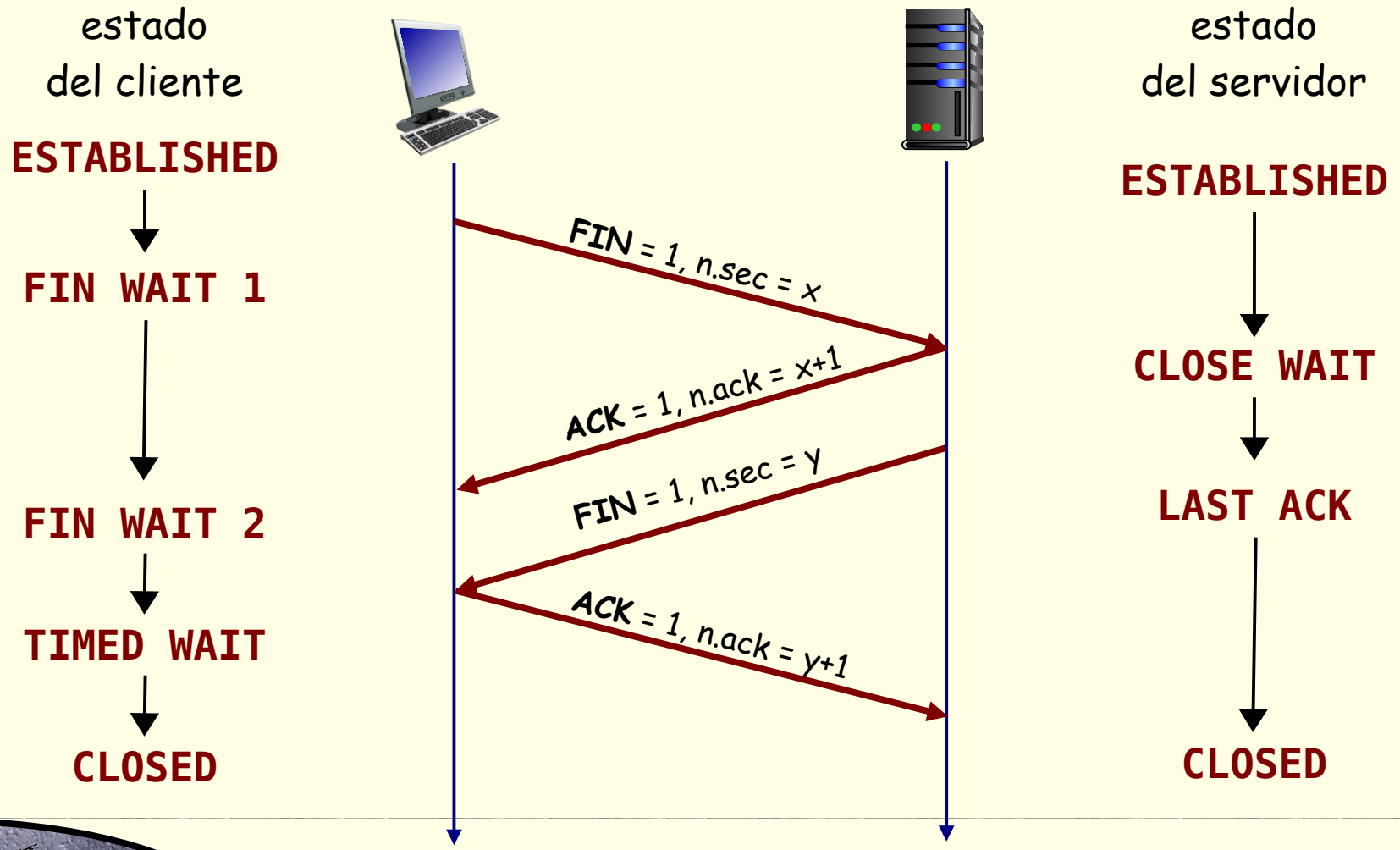
Saludo de tres fases



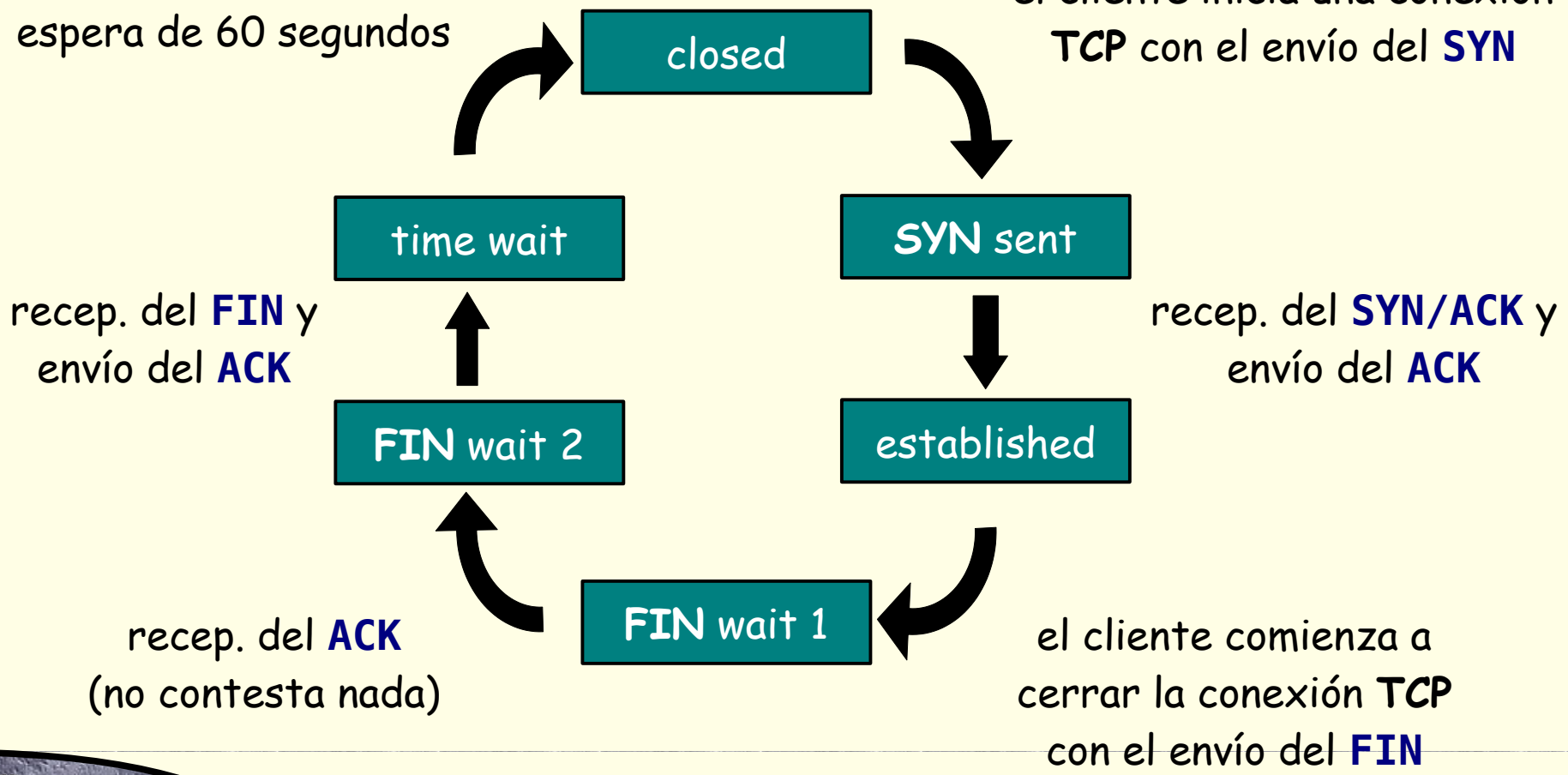
Terminación de una conexión



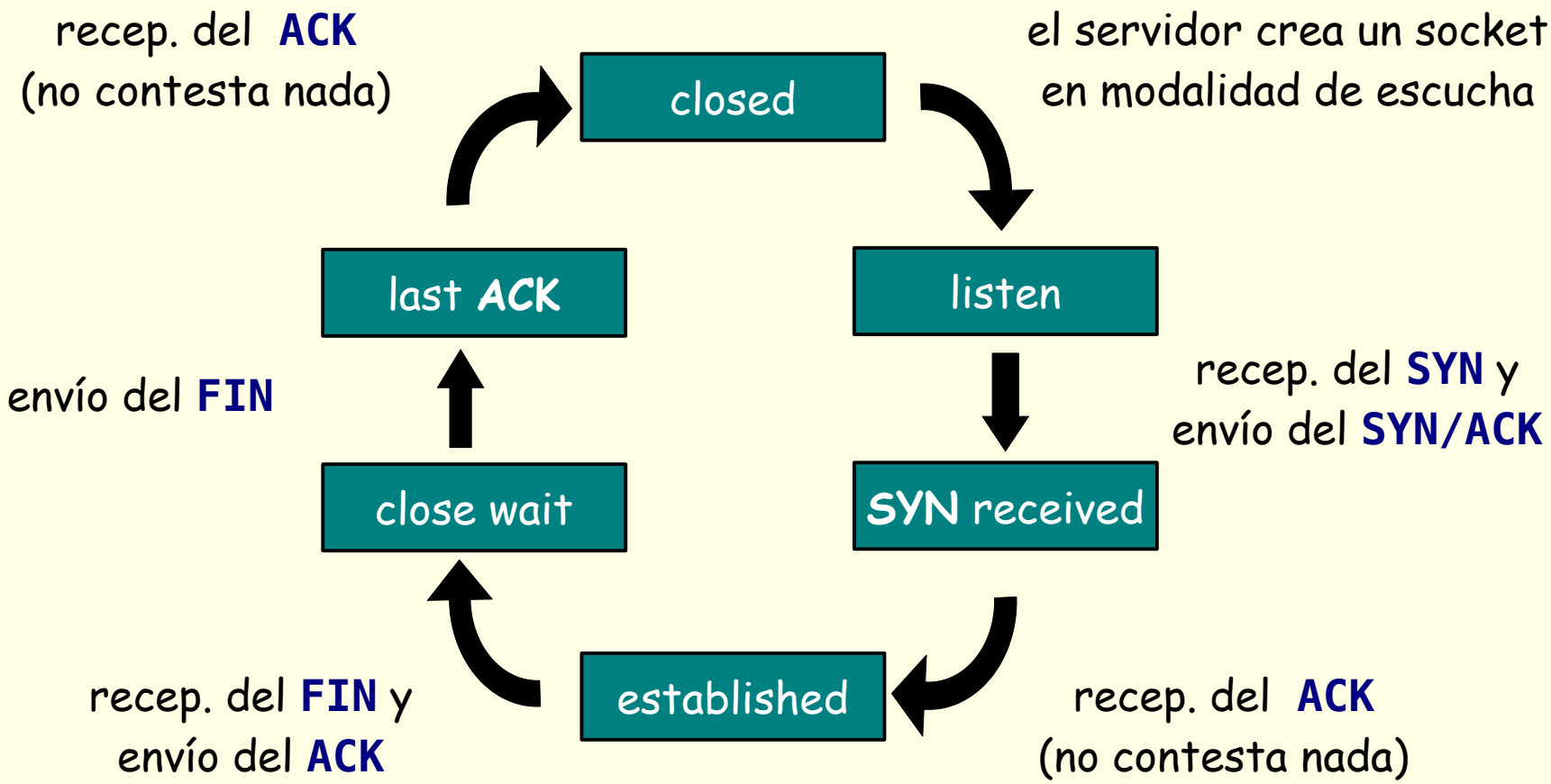
Terminación de una conexión



Síntesis (cliente)



Síntesis (servidor)



¿Preguntas?