

TEMA 3

CAPA DE TRANSPORTE EN INTERNET

Fundamentos de Redes
2018/2019



ugr

Universidad
de Granada

➤ Bibliografía Básica:



Capítulo 10, Pedro García Teodoro, Jesús Díaz Verdejo y Juan Manuel López Soler.
TRANSMISIÓN DE DATOS Y REDES DE COMPUTADORES, Ed. Pearson, 2017, ISBN:
978-0-273-76896-8

➤ Para saber más...



Capítulo 3 James F. Kurose y Keith W. Ross. ***COMPUTER NETWORKING. A TOP-DOWN APPROACH***, 5ª Edición, Addison-Wesley, 2010, ISBN: 9780136079675.

➤ Agradecimientos:

Transparencias originales de **Juan Manuel López Soler, Pedro García Teodoro, Jorge Navarro Ortiz**, Departamento TSTC, UGR.

1. Introducción.

2. Protocolo de datagrama de usuario (UDP).
3. Protocolo de control de transmisión (TCP).
 1. Multiplexación/demultiplexación.
 2. Control de conexión.
 3. Control de errores y de flujo.
 4. Control de congestión.
4. Extensiones TCP.
5. Ejercicios.

INTRODUCCIÓN

Funciones y servicios de la capa de transporte:

Comunicación **extremo a extremo** (*end-to-end*).

Multiplexación/demultiplexación de aplicaciones → *puerto*.

Protocolo UDP:

Multiplexación/demultiplexación de aplicaciones.

Servicio **no orientado a conexión, no fiable**.

Protocolo TCP:

Multiplexación/demultiplexación de aplicaciones.

Servicio **orientado a conexión, fiable**:

Control de **errores y de flujo**.

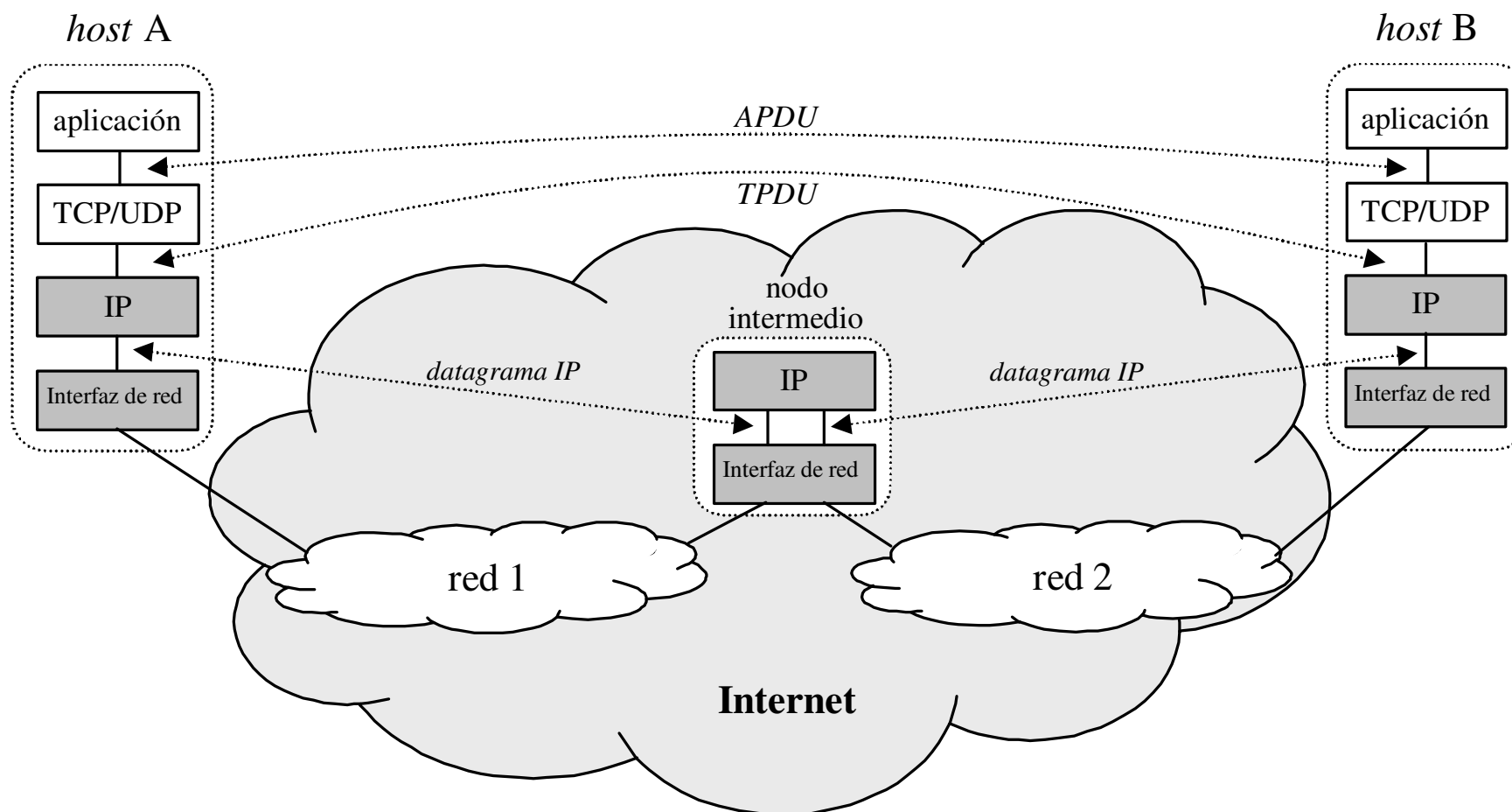
Control de la **conexión**.

Control de **congestión**.

Extensiones TCP

INTRODUCCIÓN

Comunicación **extremo a extremo** (*end-to-end*):



1. Introducción.
- 2. Protocolo de datagrama de usuario (UDP).**
3. Protocolo de control de transmisión (TCP).
 1. Multiplexación/demultiplexación.
 2. Control de conexión.
 3. Control de errores y de flujo.
 4. Control de congestión.
4. Extensiones TCP.
5. Ejercicios.

USER DATAGRAM PROTOCOL (UDP)

“User Datagram Protocol”: RFC 768.

Funcionalidad “*best-effort*”:

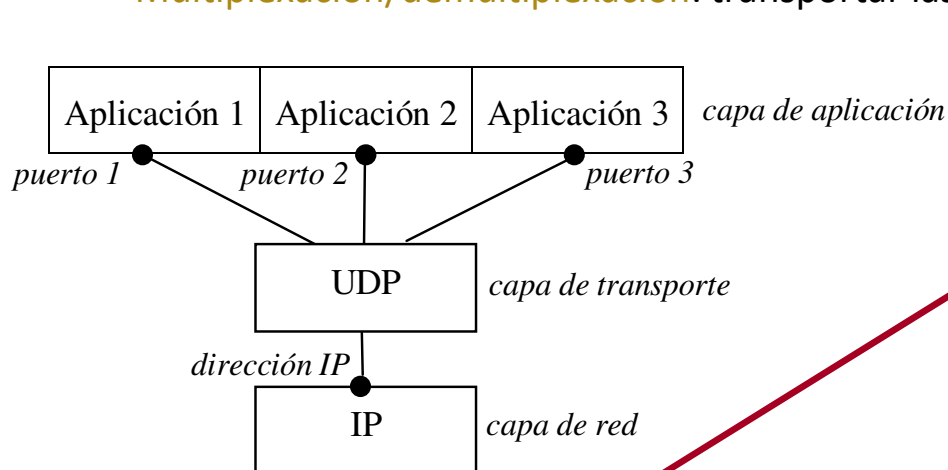
Servicio **no orientado a conexión**: no *hand-shaking*, no hay retardos de establecimiento, cada TPDU es independiente.

Servicio **no fiable**: puede haber pérdidas.

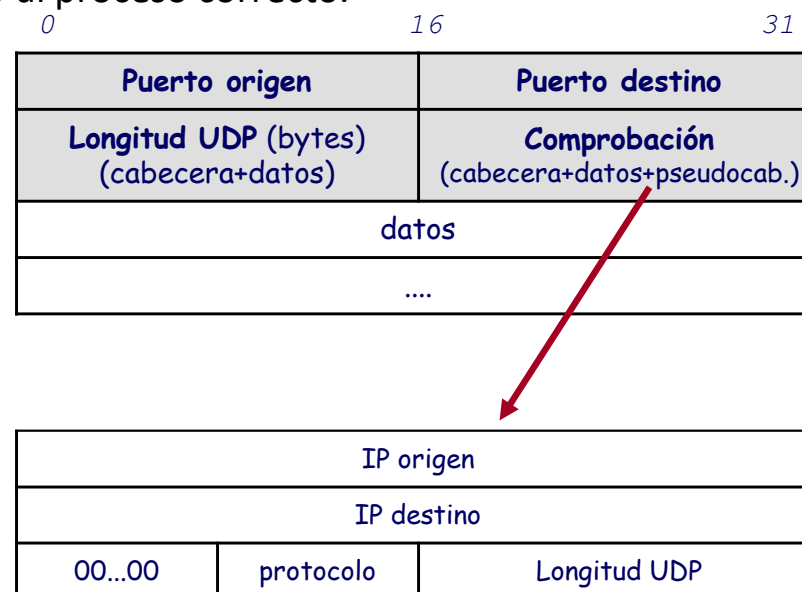
No hay garantías de **entrega ordenada**.

No hay **control de congestión**, **No** hay **control de flujo**: entrega tan rápida como se pueda.

Multiplexación/demultiplexación: transportar las TPDU al proceso correcto.



Datagrama de usuario UDP.



USER DATAGRAM PROTOCOL (UDP)

Multiplexación/demultiplexación: transportar las TPDU al proceso correcto.

Existen **puertos preasignados** con servicios normalizados:

Ejemplos de
puertos UDP
preasignados

Puerto	Aplicación/Servicio	Descripción
53	DNS	Servicio de nombres de domino
69	TFTP	Transferencia simple de ficheros
123	NTP	Protocolo de tiempo de red
161	SNMP	Protocolo simple de administración de red
520	RIP	Protocolo de información de encaminamiento

Otros **puertos** (>1024) están **a libre disposición** del desarrollador.

UDP se usa frecuentemente para **aplicaciones multimedia**: tolerantes a fallos y sensibles a retardos.

Cada segmento UDP se **encapsula** en un datagrama IP.

1. Introducción.
2. Protocolo de datagrama de usuario (UDP).
- 3. Protocolo de control de transmisión (TCP).**
 1. Multiplexación/demultiplexación.
 2. Control de conexión.
 3. Control de errores y de flujo.
 4. Control de congestión.
4. Extensiones TCP.
5. Ejercicios.

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Características del “Transmission Control Protocol”: RFC 793 (1122, 1323, 2018, 2581).

- Servicio **punto a punto**. No sirve para comunicaciones *multicast* (de uno a muchos).
- Servicio **orientado a conexión** (exige un estado común entre el emisor y el receptor: “*hand-shaking*”).
- **Entrega ordenada** de las secuencias de bytes generadas por la aplicación (“*stream oriented*”).
- Transmisión **full-duplex**.
- Mecanismo de **detección y recuperación de errores** (ARQ) con confirmaciones positivas **ACKs** (acumulativas) y “**timeouts**” adaptables.
- **Servicio fiable** → control de congestión y control de flujo con ventanas deslizantes con tamaño máximo adaptable.
- **Incorporación de confirmaciones** (“piggybacking”).

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Funcionalidades de TCP:

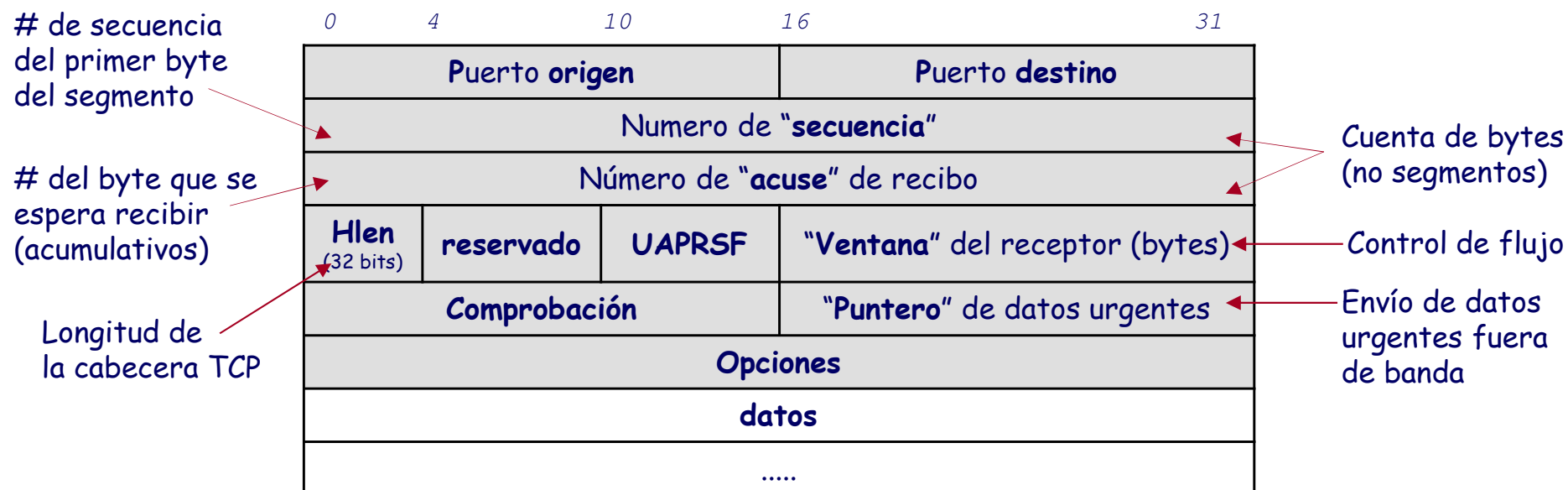
Multiplexación/demultiplexación de aplicaciones.

Control de la **conexión** (establecimiento y cierre).

Control de **errores y de flujo**.

Control de **congestión**.

TPDU TCP = **Segmento TCP**:



Cada segmento TCP **se encapsula en** un datagrama IP.

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Multiplexación/demultiplexación de aplicaciones:

Transportar las TPDU al proceso correcto.

Existen **puertos preasignados** con servicios normalizados:

Puerto	Aplicación/Servicio	Descripción
20	FTP-DATA	Transferencia de ficheros: datos
21	FTP	Transferencia de ficheros: control
22	SSH	Terminal Seguro
23	TELNET	Acceso remoto
25	SMTP	Correo electrónico
53	DNS	Servicio de nombres de domino
80	HTTP	Acceso hipertexto (web)
110	POP3	Descarga de correo

La “conexión TCP” se identifica por: puerto e IP origen y puerto e IP destino (y opcionalmente protocolo)

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de la **conexión**:

TCP ofrece un servicio **orientado a conexión**.

El intercambio de información tiene **tres fases**:

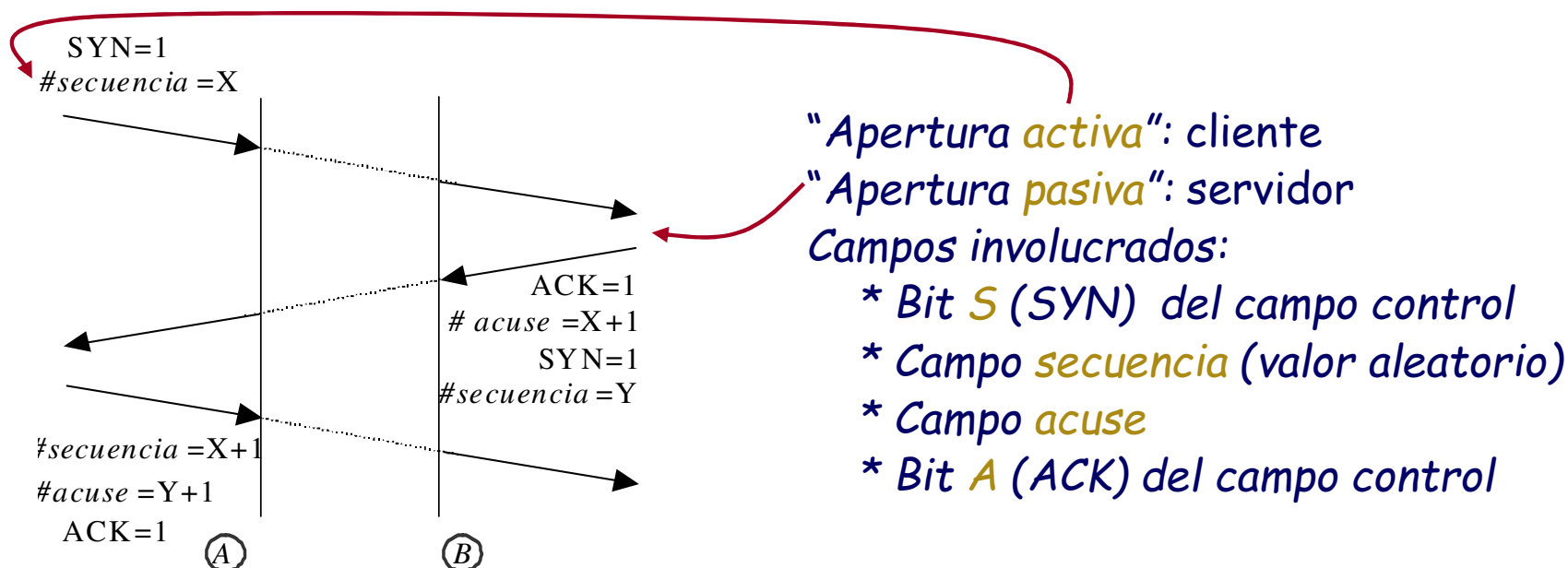
Establecimiento de la conexión (sincronizar # de secuencia y reservar recursos).

Intercambio de **datos** (full-duplex).

Cierre de la conexión (liberar recursos).

¿Es posible **garantizar** un establecimiento/cierre **fiable** de la conexión sobre un servicio (IP) no fiable? **NO**.

Establecimiento de la conexión: *three-way handshake*.



TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de la conexión. Números de secuencia.

El **número de secuencia** es un campo de 32 bits que cuenta bytes en módulo 2^{32} (el contador se da la vuelta cuando llega al valor máximo).

El número de secuencia no empieza normalmente en 0, sino en un valor denominado **ISN** (Initial Sequence Number) elegido “teóricamente” al azar; para evitar confusiones con solicitudes anteriores.

El ISN es elegido por el sistema (cliente o servidor). El estándar sugiere utilizar un contador entero incrementado en 1 cada 4 μ s aproximadamente. En este caso el contador se da la vuelta (y el ISN reaparece) al cabo de 4 horas 46 min.

El mecanismo de selección de los ISN es suficientemente fiable para proteger de coincidencias, pero no es un mecanismo de protección frente a sabotajes. Es muy **fácil averiguar el ISN** de una conexión e interceptarla suplantando a alguno de los dos participantes.

TCP **incrementa el número de secuencia** de cada segmento según los bytes que tenía el segmento anterior, con una sola excepción:

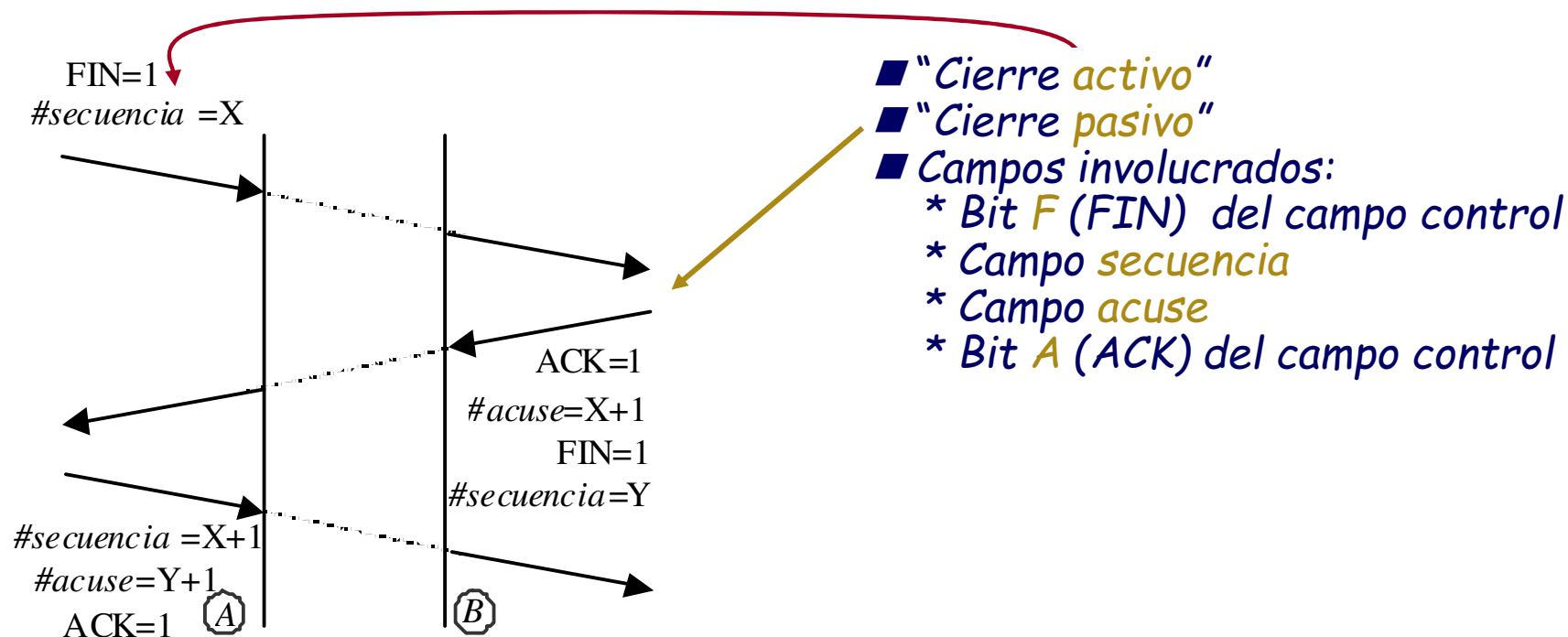
Los flags **SYN** y **FIN**, cuando están puestos, incrementan en 1 el número de secuencia.

La presencia del flag ACK no incrementa el número de secuencia.

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de la **conexión**:

Cierre de la conexión: liberación de recursos.



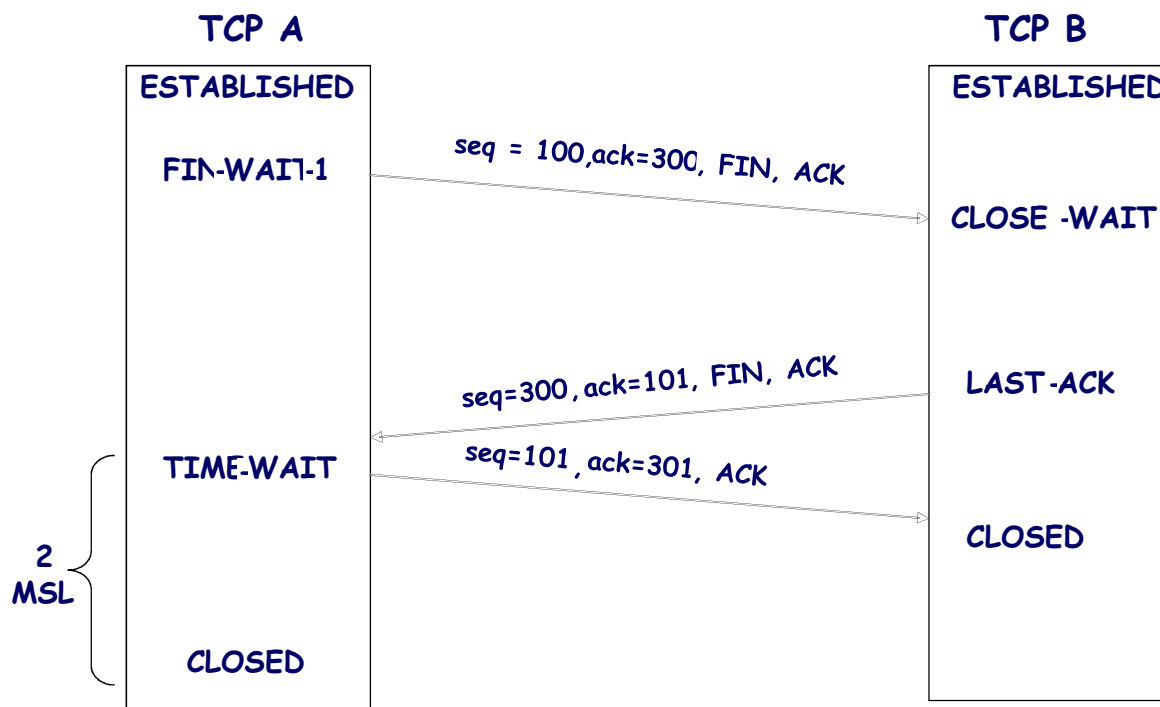
Para evitar bloqueos por pérdidas, una vez comenzado el procedimiento de CIERRE se usan *timeouts* (ver diagrama de estados:

Maximum Segment LifeTime = 2 min).

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de la **conexión**:

Cierre de la conexión: caso normal.



MSL: Maximum Segment Lifetime (normalmente 2 minutos)

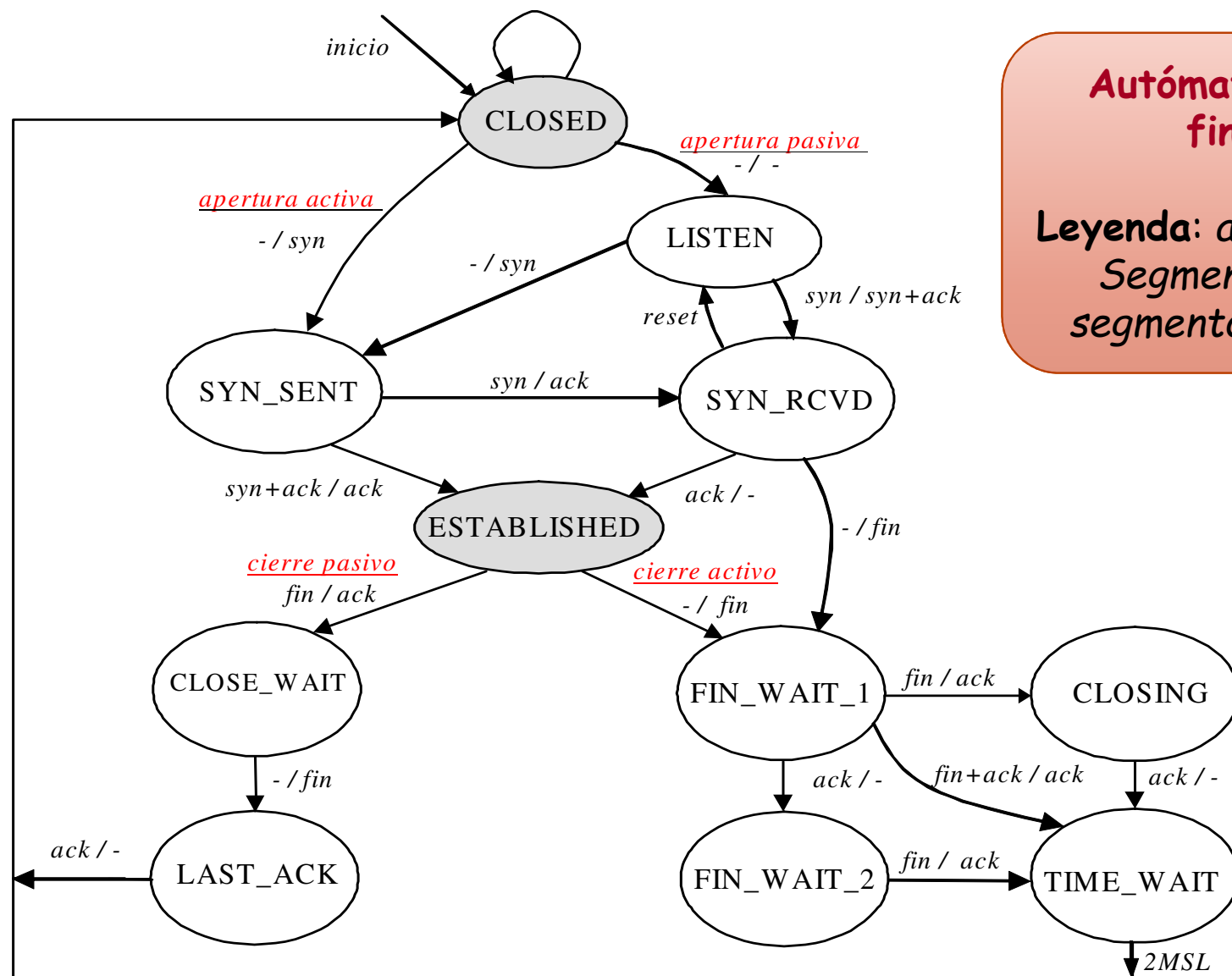
Hay otras posibilidades de cierre de la conexión (ver el diagrama de estados siguiente).

9. Se desea transferir con protocolo TCP un archivo de L bytes usando un MSS de 536.

- a) ¿Cuál es el valor máximo de L tal que los números de secuencia de TCP no se agoten?**

- b) Considerando una velocidad de transmisión de 155 Mbps y un total de 66 bytes para las cabeceras de las capas de transporte, red y enlace de datos, e ignorando limitaciones debidas al control de flujo y congestión, calcule el tiempo que se tarda en transmitir el archivo en A.**

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)



**Autómata de estados
finitos TCP**

Leyenda: a/b
Segmento a recibido,
segmento b transmitido.

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de errores y de flujo:

Mejorar rendimiento \Rightarrow ventana deslizante.

Control de errores: esquema ARQ con confirmaciones positivas y acumulativas.

Campos involucrados:

Campo **secuencia**: *offset* (en bytes) dentro del mensaje.

Campo **acuse**: número de byte esperado en el receptor.

Bit **A** (ACK) del campo de **control**.

Campo **comprobación**: *checksum* de todo el segmento y uso de pseudo-cabecera

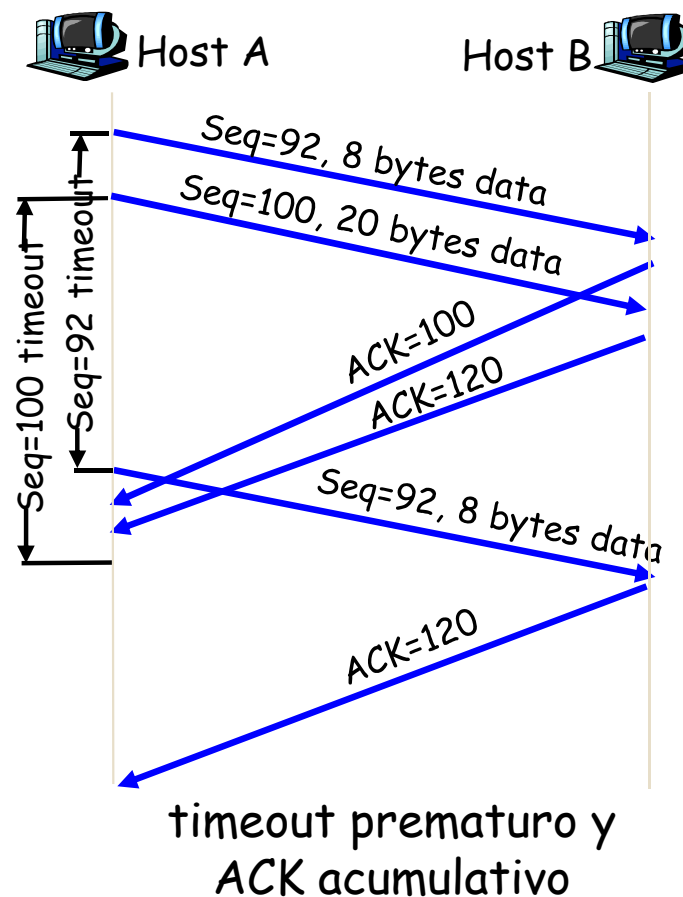
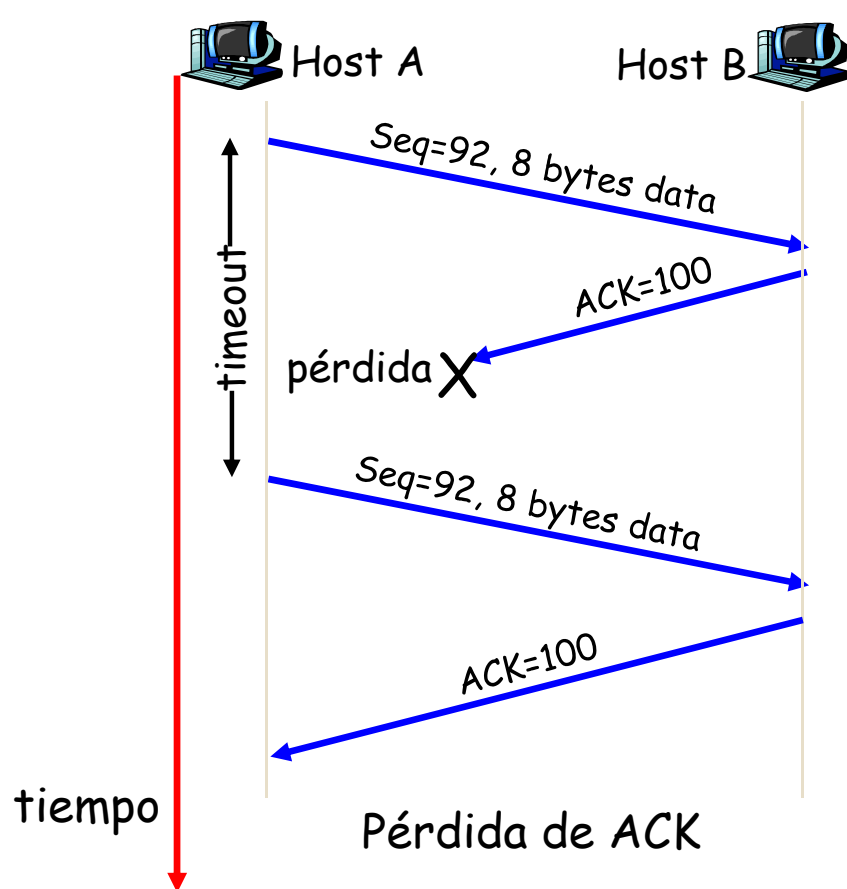
TCP:

Iporigen		
IPdestino		
00...00	protocolo	longitudTCP

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de errores y de flujo:

Control de errores: escenarios de retransmisión (gráficas © James F. Kurose).



TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de errores y de flujo:

Control de errores: generación de ACKs (RFC 1122, 2581).

Evento	Acción del TCP receptor
Llegada ordenada de segmento, sin discontinuidad, todo lo anterior ya confirmado.	Retrasar ACK. Esperar recibir al siguiente segmento hasta 500 mseg. Si no llega, enviar ACK.
Llegada ordenada de segmento, sin discontinuidad, hay pendiente un ACK retrasado.	Inmediatamente enviar un único ACK acumulativo.
Llegada desordenada de segmento con # de sec. mayor que el esperado, discontinuidad detectada.	Enviar un ACK duplicado, indicando el # de sec. del siguiente byte esperado.
Llegada de un segmento que completa una discontinuidad parcial o totalmente.	Confirmar ACK inmediatamente si el segmento comienza en el extremo inferior de la discontinuidad.

11. Los hosts A y B se están comunicando a través de una conexión TCP y B ya ha recibido y confirmado todos los bytes hasta el byte 126. Suponga que a continuación el host A envía dos segmentos seguidos a B que contienen, respectivamente, 70 y 50 bytes de datos. El envío de A es ordenado, el número de puerto origen en dichos segmentos es 302 y el de destino el 80. El host B envía una confirmación inmediata a la recepción de cada segmento de A, sin esperar el retardo de 500 ms del estándar.

- a) Especifique los números de secuencia de ambos segmentos.**
- b) Si el primer segmento llega antes que el segundo ¿cuál es el número de acuse y los puertos origen y destino en el primer ACK que se envía?**
- c) Si el segundo segmento llega antes que el primero ¿cuál es el número de acuse y los puertos origen y destino en el primer ACK que envía?**
- d) Imagine que los segmentos llegan en orden pero se pierde el primer ACK.**

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de **errores y de flujo**:

Control de errores: ¿cómo estimar los “**timeouts**”?

Mayor que el tiempo de ida y vuelta (RTT).

Si es demasiado **pequeño**: **timeouts prematuros**.

Si es demasiado **grande**: **reacción lenta** a pérdida de segmentos.

Para situaciones cambiantes la mejor solución es la adaptable.

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de errores y de flujo:

Control de errores: ¿cómo estimar los “timeouts”?

Kurose & Ross

RTTmedido: tiempo desde la emisión de un segmento hasta la recepción del ACK.

$$RTT_{nuevo} = (1-\alpha) \times RTT_{viejo} + \alpha \times RTT_{medido}, \quad \alpha \in [0,1]$$

$$Desviacion_{nueva} = (1-\beta) \times Desviacion_{vieja} + \beta \times |RTT_{medido} - RTT_{nuevo}|$$

$$Timeout = RTT_{nuevo} + 4 * Desviacion$$

Problema con ACKs repetidos: ambigüedad en la interpretación.

Solución: **Algoritmo de Karn**, actualizar el RTT sólo para los no ambiguos, pero si hay que repetir un segmento incrementar el timeout eventualmente:

$$tout_{nuevo} = \gamma \cdot tout_{viejo}, \quad \gamma = 2.$$

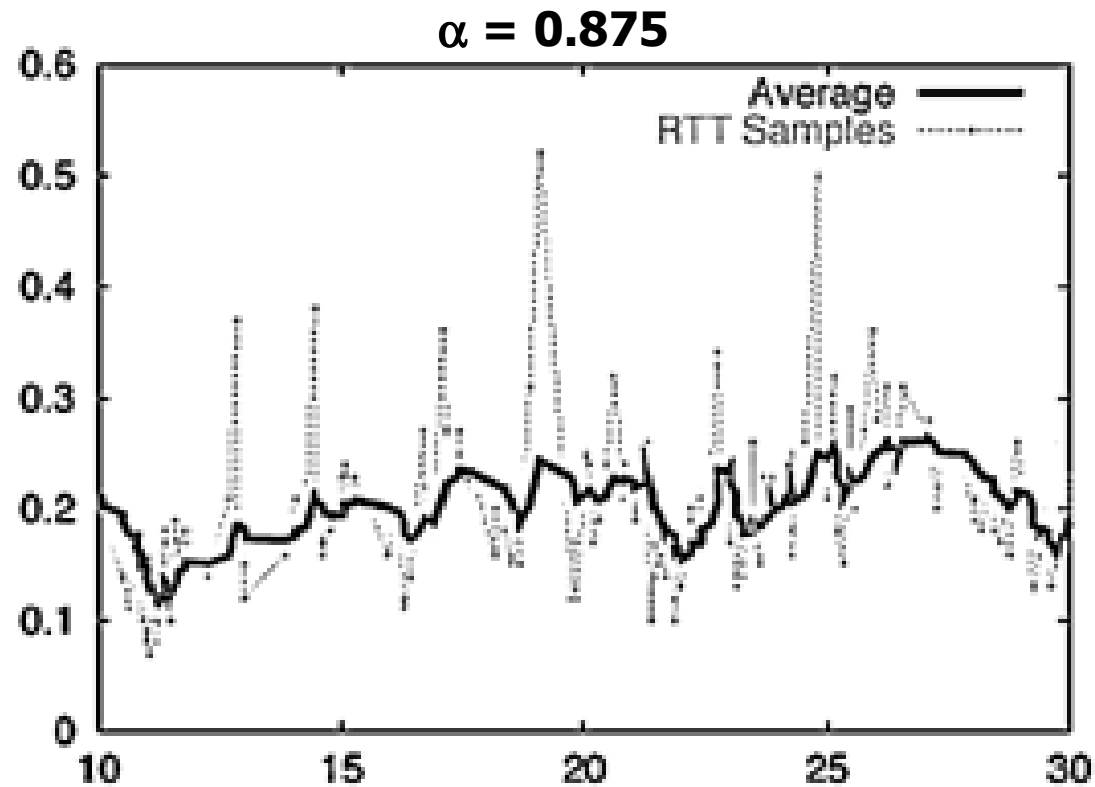
15. Si el RTT es 30 ms, la Desviación es 2 ms y se reciben ACKs tras 26, 32 y 24 ms, ¿Cuál será el nuevo RTT, Desviación y *timeout*? Usar $\alpha=0,125$ y $\beta=0,25$. ¿Y si los dos primeros ACKs tienen el mismo número de acuse y se usa el algoritmo de Karn?

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de errores y de flujo:

Control de errores: ¿cómo estimar los “timeouts”?

Ejemplo de RTT medidos y estimados entre Amherst, Massachusetts y St. Louis, Missouri.



TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de errores y de flujo:

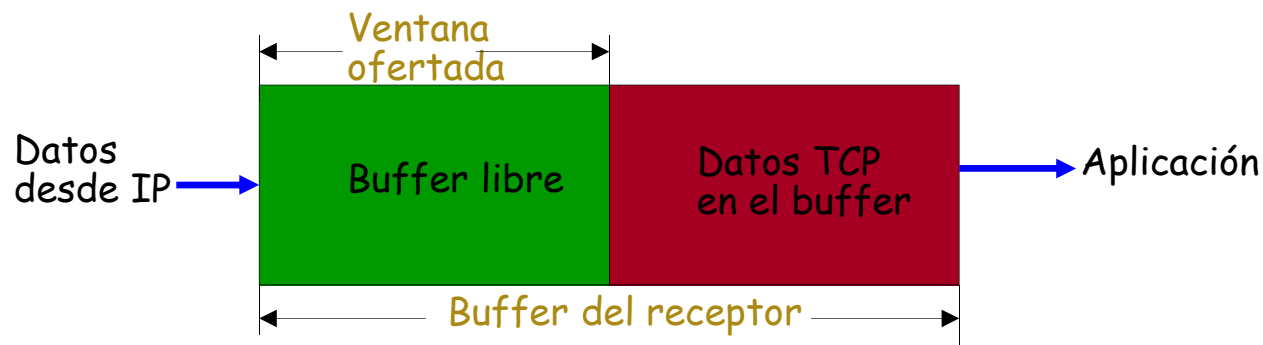
Control de flujo:

Procedimiento para evitar que el emisor **sature** al receptor con el envío de demasiada información y/o demasiado rápido.

Es un **esquema crediticio**: el receptor informa al emisor sobre los bytes autorizados a emitir sin esperar respuesta.

Se utiliza el campo **ventana**:

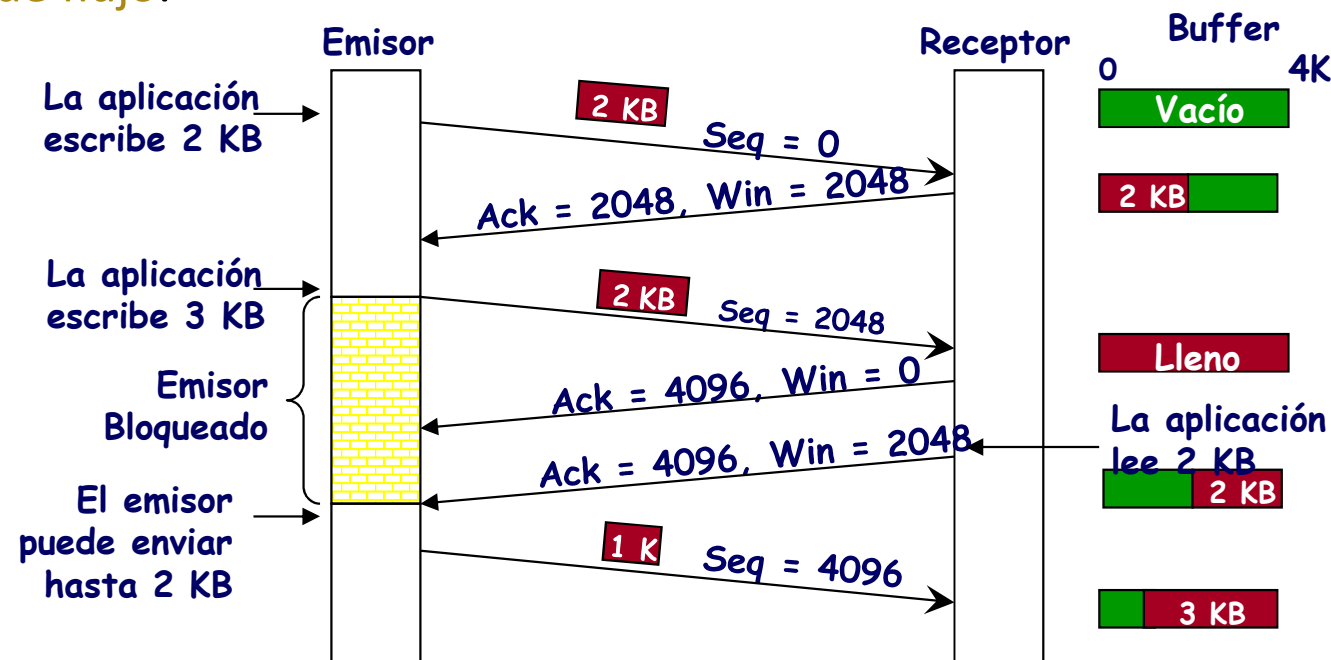
$$\text{ventana útil emisor} = \text{ventana ofertada receptor} - \text{bytes en tránsito}$$



TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de errores y de flujo:

Control de flujo:



Posible problema: *síndrome de la ventana tonta* (RFC 813) si se utilizan segmentos muy pequeños.

Posible mejora: *la ventana optimista* (RFC 813).

Es posible hacer entregas “no ordenadas”: Bit **U** (URG), campo *puntero*.

Solicitar una entrega inmediata a la aplicación: bit **P** (PSH).

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de congestión (RFC 2001):

Es un problema debido a la **insuficiencia de recursos** (ancho de banda de las líneas como buffer en *routers* y sistemas finales).

Es un problema **diferente al control del flujo**: involucra a la red y a los sistemas finales.

Puede tener naturaleza **adelante-atrás**.

Se manifiesta en **pérdidas y/o retrasos** en las ACKs.

Solución: en la fuente **limitar** de forma adaptable el **tráfico** generado.

La limitación se hace se hace mediante una aproximación conservadora:
por el tamaño de la ventana de emisión.

Importancia del producto Bandwidth-delay (RTT).

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de congestión:

En el emisor se utilizan dos **ventanas** y un **umbral**.

```
Bytes_permitidos_enviar =  
    min{VentanaCongestion, VentanaDelReceptor}
```

VentanaDelReceptor: utilizada para el control de flujo (de tamaño variable) según el campo "ventana" recibido.

VentanaCongestion:

Inicialmente $VentanaCongestion = 1 \cdot MMS$

Inicio lento

Si $VentanaCongestion < umbral$, por cada ACK recibido
 $VentanaCongestion += MMS$ (**crecimiento exponencial**)

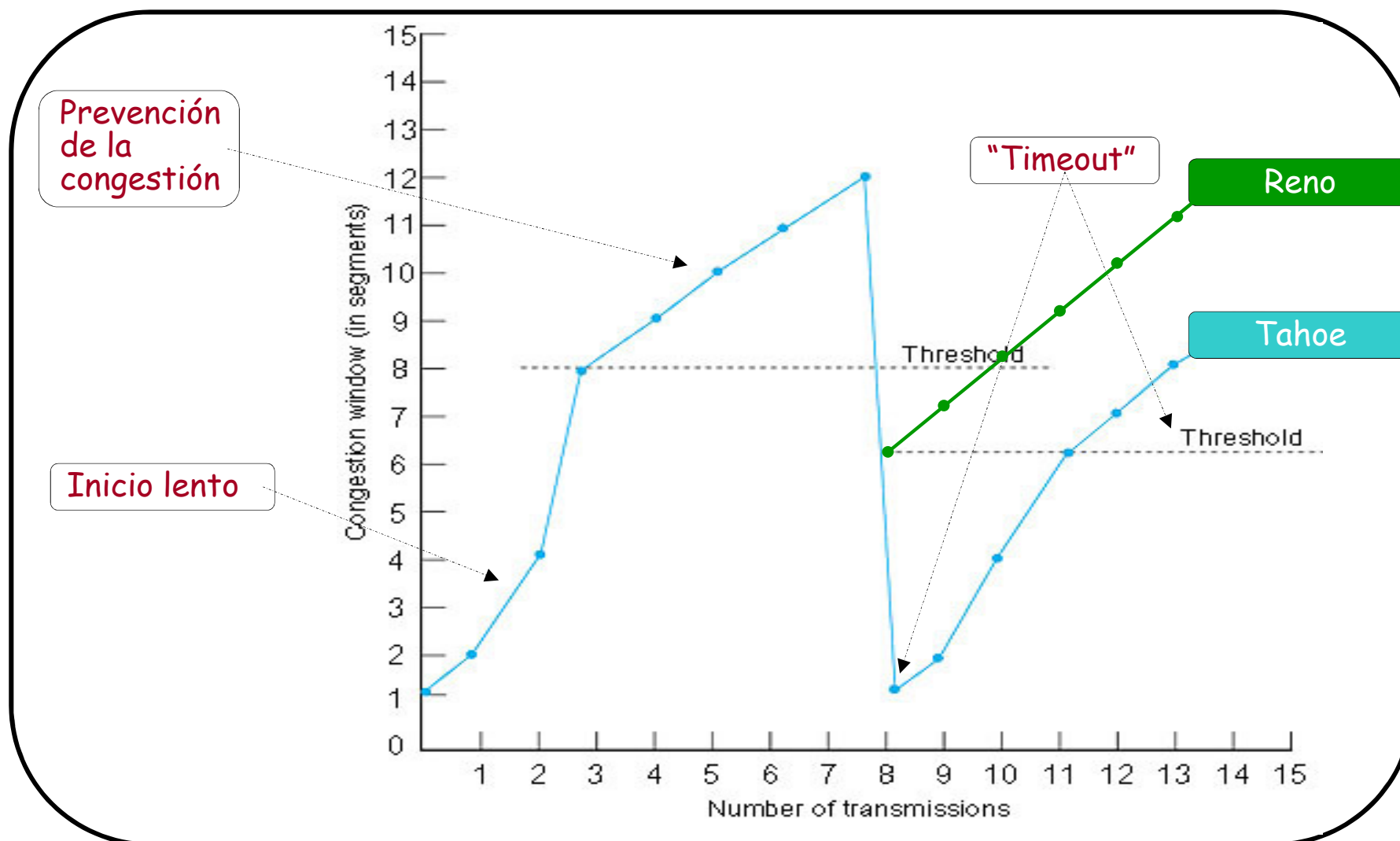
Prevención de la congestión

Si $VentanaCongestion > umbral$, cada vez que se recibe **todos los ACKs pendientes**
 $VentanaCongestion += MMS$ (**crecimiento lineal**)

Si hay **timeout entonces**
 $umbral = VentanaCongestion / 2$ y $VentanaCongestion = MMS$

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

Control de congestión (gráfica © James F. Kurose):



16. Teniendo en cuenta el efecto del inicio lento, en una línea sin congestión con 10 ms de tiempo de propagación, 1 Mbps de velocidad de transmisión y un MSS de 2KB, ¿cuánto tiempo se emplea en enviar 24 KB?

1. Introducción.
2. Protocolo de datagrama de usuario (UDP).
3. Protocolo de control de transmisión (TCP).
 1. Multiplexación/demultiplexación.
 2. Control de conexión.
 3. Control de errores y de flujo.
 4. Control de congestión.
- 4. Extensiones TCP.**
5. Ejercicios.

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL (TCP)

- TCP se define con múltiples “Sabores”
- Los diferentes sabores no afectan a la interoperabilidad entre los extremos
- Desde cualquier versión de Linux con kernel mayor que la 2.6.19 se usa por defecto TCP CuBIC

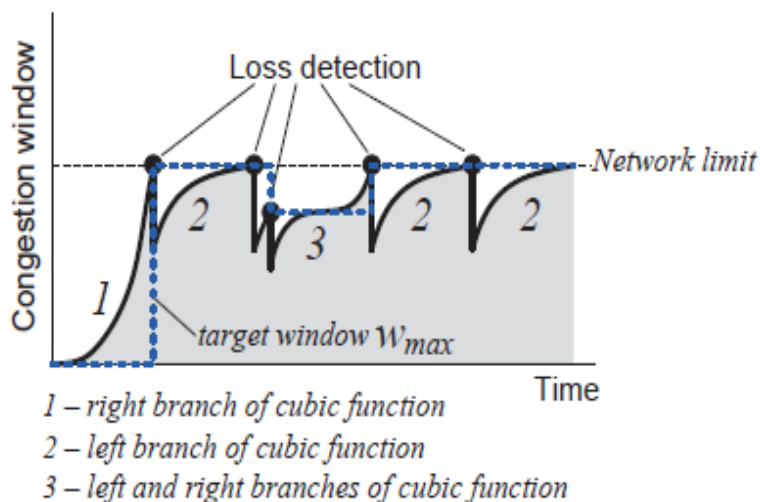
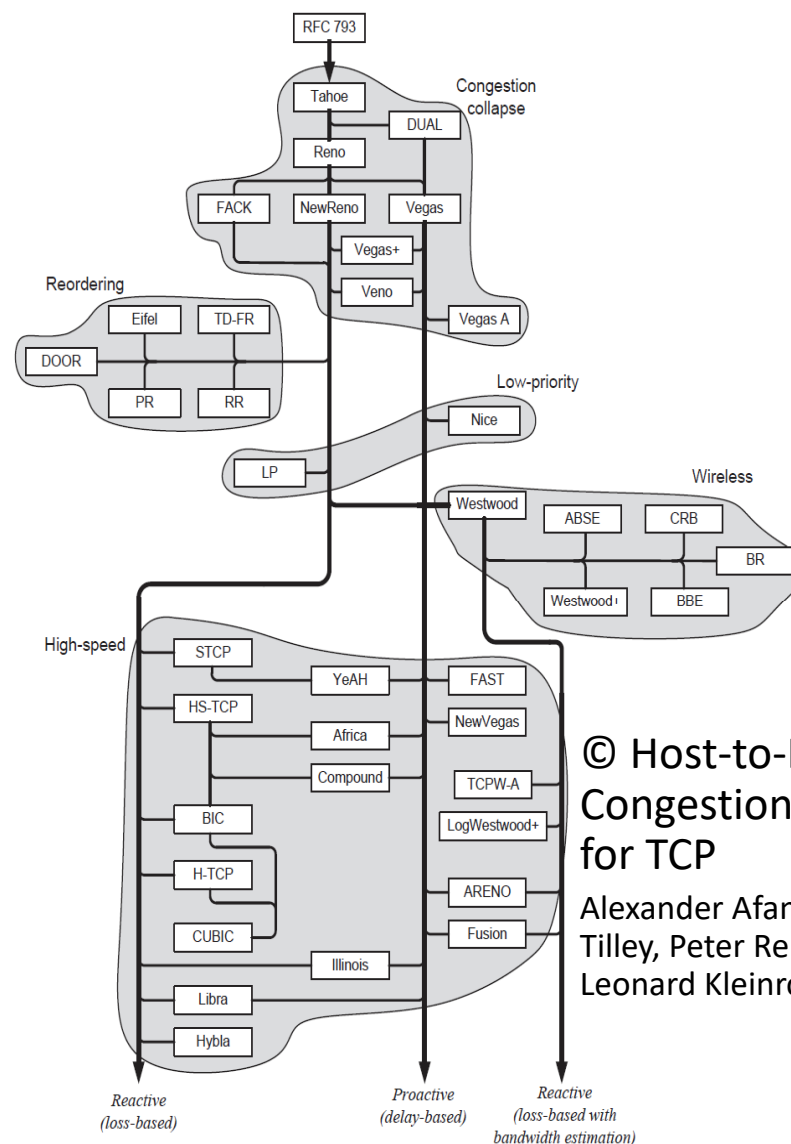


Fig. 50. Congestion window dynamics in CUBIC



57. Evolutionary graph of variants of TCP congestion control.

EXTENSIONES TCP

Adaptación de TCP a redes actuales (RFC 1323).

Ventana escalada:

Opción TCP en segmentos SYN:

Hasta $2^{14} \times 2^{16}$ bytes ($=2^{30}$ bytes=1GB) autorizados.

Estimación RTT:

Opción TCP de *sello de tiempo*, en todos los segmentos.

PAWS (“Protect Against Wrapped Sequence numbers”):

Sello de tiempo y rechazo de segmentos duplicados.

1. Introducción.
2. Protocolo de datagrama de usuario (UDP).
3. Protocolo de control de transmisión (TCP).
 1. Multiplexación/demultiplexación.
 2. Control de conexión.
 3. Control de errores y de flujo.
 4. Control de congestión.
4. Extensiones TCP.
- 5. Ejercicios.**

EJERCICIOS

10. Considere un enlace con una velocidad de transmisión de 1 Mbps, un tiempo de ida y vuelta (RTT) de 30 ms y segmentos fijos de 1500 bytes, incluyendo cabeceras y datos, ¿cuál tiene que ser el tamaño de la ventana para que la eficiencia en la transmisión (ratio entre el tiempo de transmisión y el tiempo total en el emisor) sea de al menos un 95%?

EJERCICIOS

17. Suponiendo que la ventana de congestión es 18 KB y que se dispara un *timeout* ¿Cuánto será la ventana de congestión si las 4 siguientes ráfagas de transmisiones, donde se envía la ventana completa, son exitosas? Suponer que el MSS es 1 KB.

TEMA 3

CAPA DE TRANSPORTE EN INTERNET

Fundamentos de Redes
2018/2019



ugr

Universidad
de Granada