Capítulo 3
Control de Congestión
(Referencia: Computer Networks. Kurose-Ross)

Andres Arcia Moret
andres@arcia.net.ve

Algunas láminas y/o gráficos son tomandos exactamente del laminario K-R

Principios del Control de la Congestión

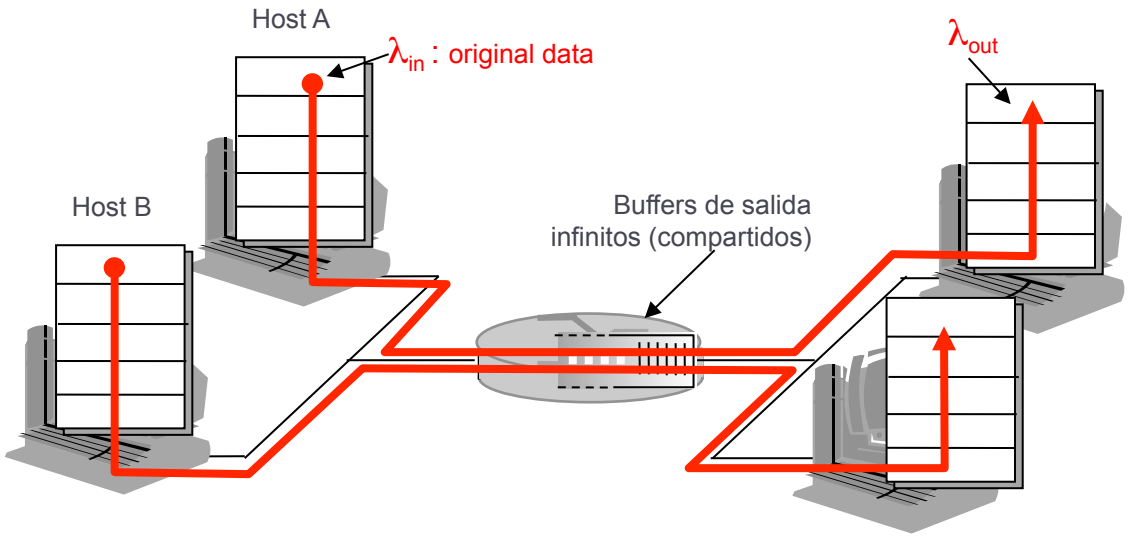
- Retransmisión trata pérdidas pero NO la causa de las pérdidas:
  - *Muchas fuentes envian data a la vez y de forma rápida.*

Causas y Costos de la Congestión

- Pero, ¿Qué sucede cuando hay varios transmitiendo a una tasa alta?
- Cada nodo tiene su visión (descentralizada) basada en feed-back implicito.
  - ACK: indica que la red no está congestionada.
  - Segmento perdido: Se perdió porque la red está congestionada, entonces hay que disminuir la tasa de emisión

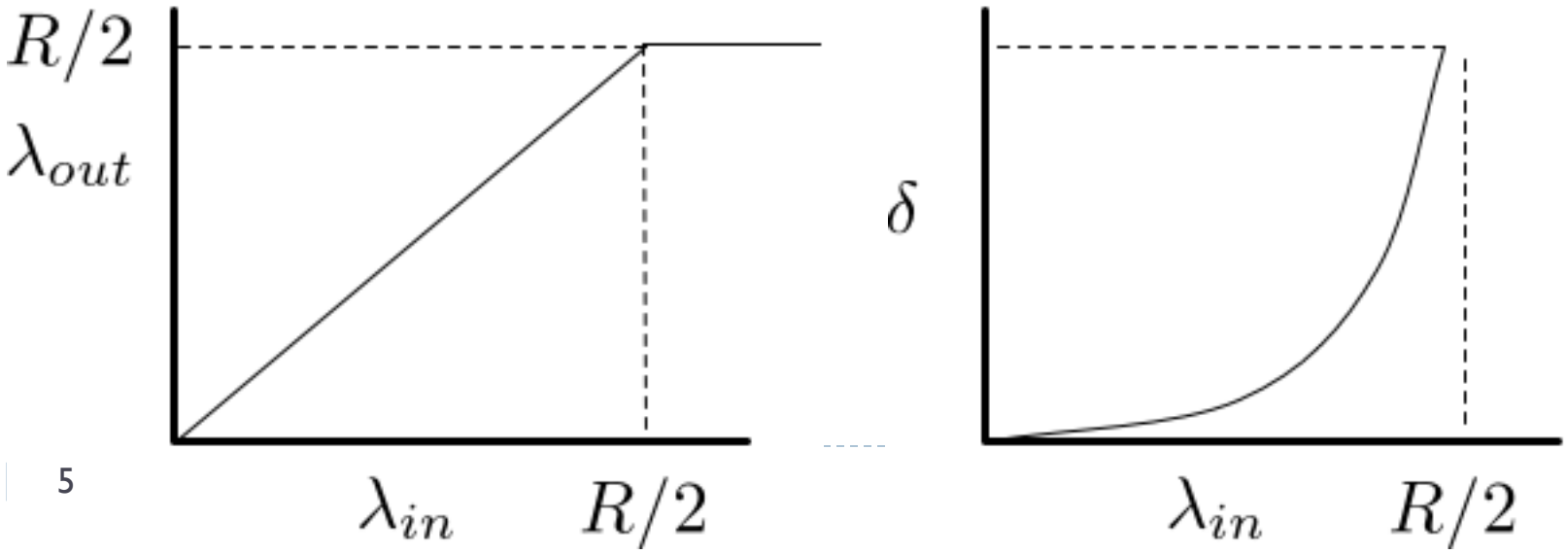
Escenario 1: 2 emisores, 1 enrutador con buffer infinito.

- La aplicación de Host A y Host B manda data a capa transporte en bytes/sec a Host C y D respectivamente.
- Protocolo de transporte es simple, la data se encapsula y se envía (hay recuperación de errores) —› no hay control de flujo ni de congestión.
- R es la capacidad del cuello de botella.
- Como el buffer es infinito, los paquetes de exceso se guardan. —› no hay retransmisión.



Performance del Sistema

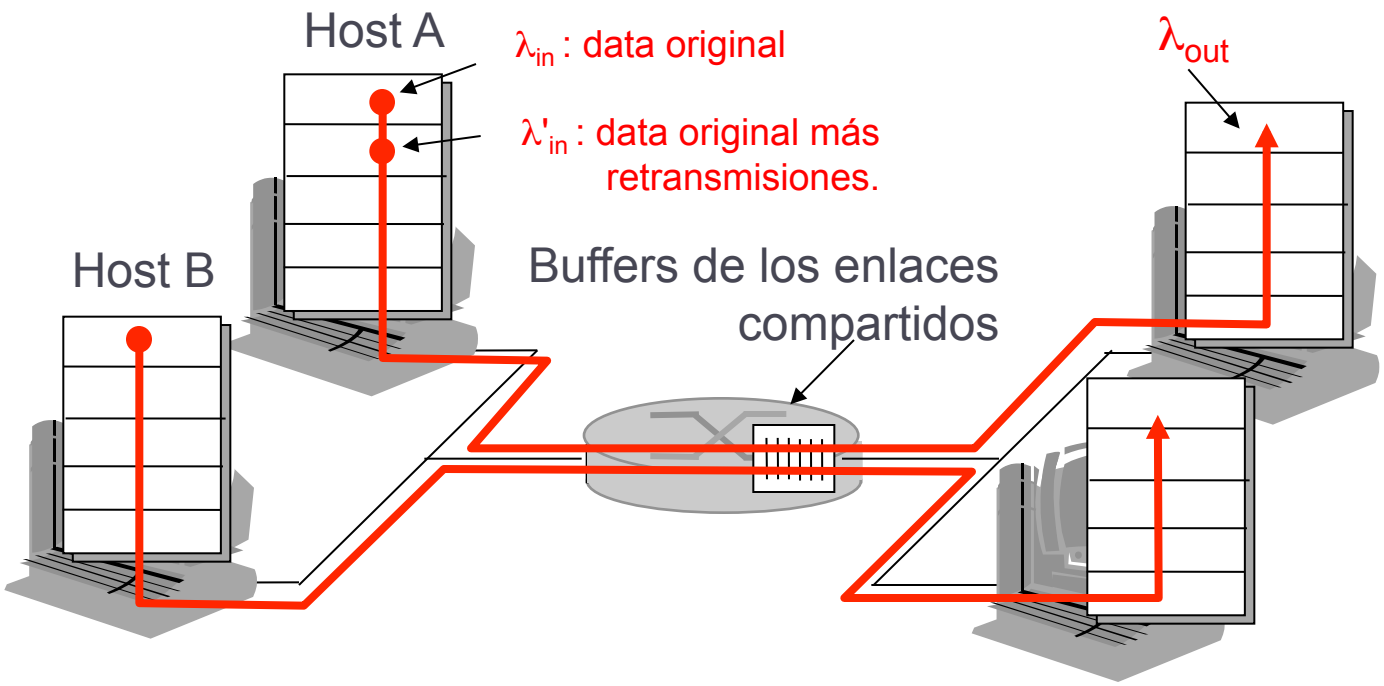
- El emisor nunca ve un rendimiento mejor que R/2
- La espera promedio incrementa cuando la conexión excede la capacidad del enlance.
- Aún en este escenario idealista, la congestión hace estragos. El delay aumenta cuando la tasa de emisión alcanza la capacidad del enlace.



Escenario 2: Dos emisores, un ruteador con buffers finitos

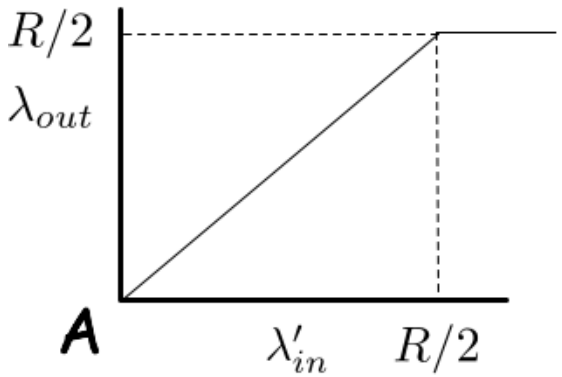
- Modificación pequeña del Escenario 1
  - Buffer *finito* —› hay pérdidas
  - La aplicación envía data a λ_{in} (en bps)
  - La tasa de envío de la capa transporte es λ'_{in} (data +retransmisión) —› llamada "carga ofrecida a la red"
  - $\lambda'_{in} <= \lambda_{in}$
  - Depende de cómo se efectúan las retransmisiones
  - Si el que envía "supiese" el estado del buffer podría enviar paquetes y no tener pérdidas

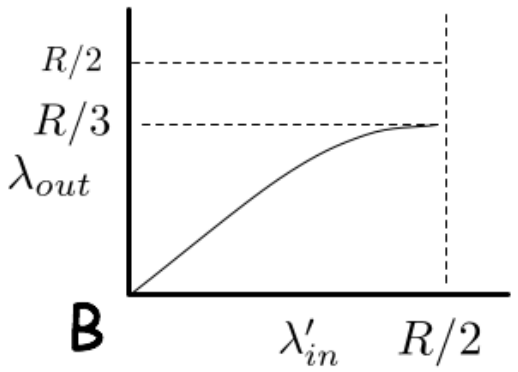
Escenario 2: Topología



Escenario 2: continuación…

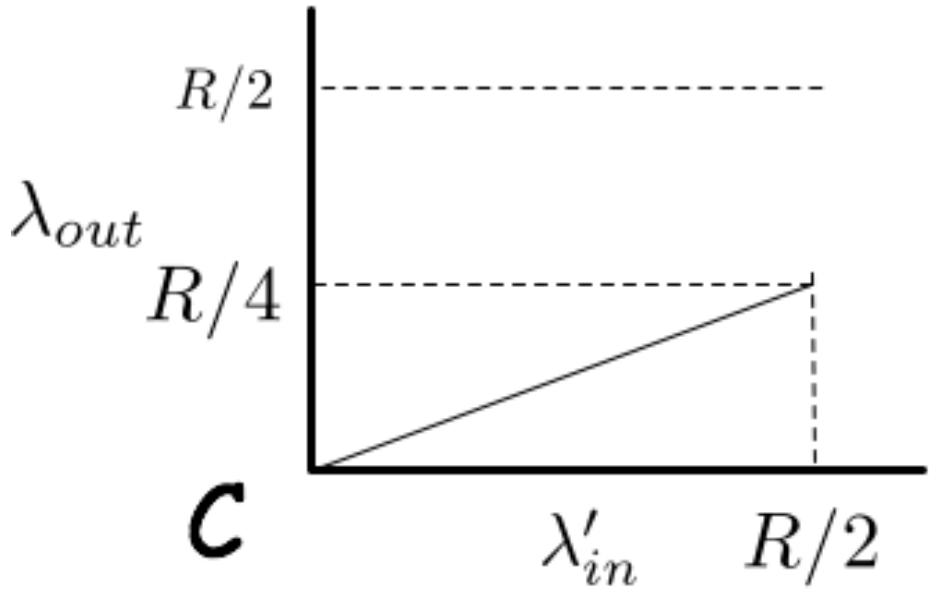
- Considere que hay retransmisión cuando se pierden los paquetes (el valor timeout es suficientemente grande).
- El emisor nunca supera los R/2 de tasa de emisión (puesto que hay pérdidas).
- Observe en "B" que, de 0.5R, 0.33 es data original y 0.17 es retransmisión (puede ser peor, si se retrasmite 1:2).
  - Congestión —› retransmisión de paquetes perdidos.





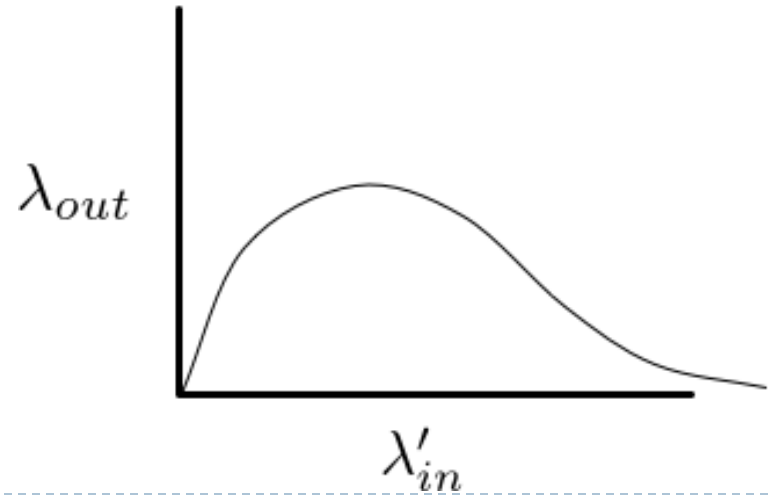
Escenario 2: continuación

- Los paquetes detenidos (*no perdidos*) generan *timeout*.
- Trabajo del ruteador perdido en la retransmisión.
- Costo de la Congestión: Hace perder recursos para retransmisiones innecesarias. Vea en "C" lo que sucede si cada paquete es reenviado 2 veces.

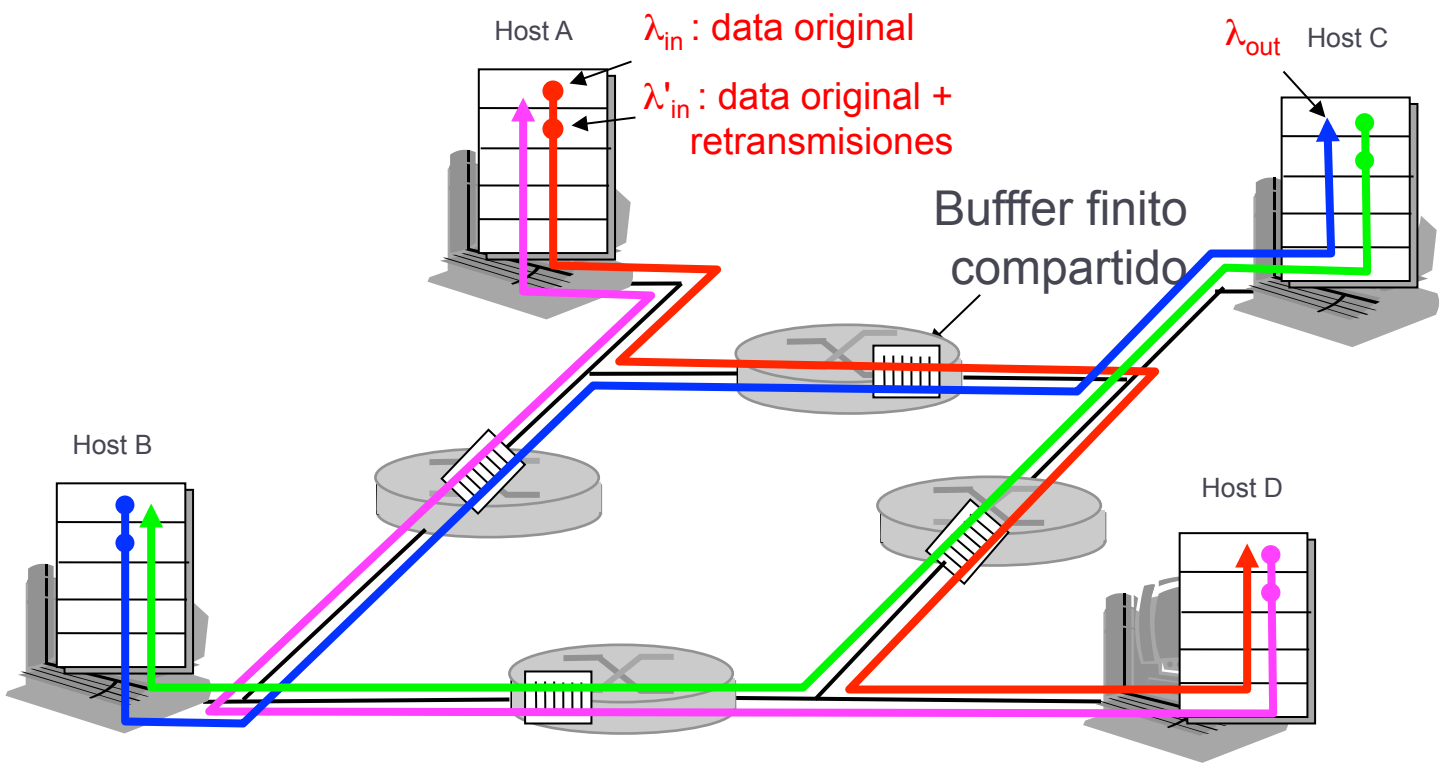


Escenario 3: 4 emisores, enrutadores con buffers finitos y caminos multi-saltos.

- Los hosts transmiten en caminos solapados de 2 ruteadores (A-C comparten R1, B-D comparten R2).
- Se usa timeout/retransmisión para la confiabilidad.
- Para tasas de transmisión muy pequeñas no hay overflows —› throughput es la carga ofrecida (λ'_{in} incrementa λ_{out} también).



Escenario 3: topología.

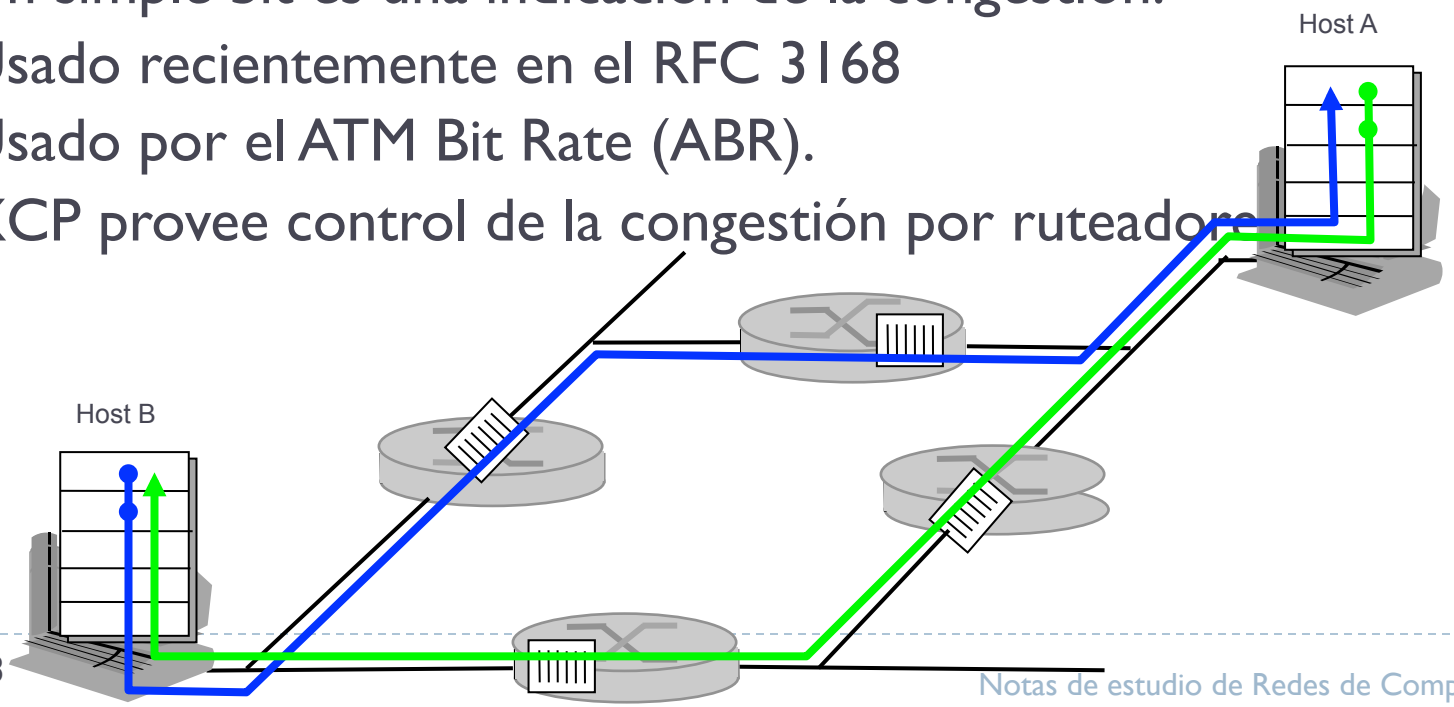


Escenario 3: continuación

- ¿Qué sucede cuando λ_{in} crece mucho?
  - Cada vez que crece pasa menos tráfico útil.
  - La fuente con tráfico más cercano al ruteador compartido se lo apropia más rápidamente.
- Costo de la congestión: un paquete botado en un ruteador, ¡*hace perder recursos a ruteadores previos*!

Aproximaciones al control de la congestión.

- De extremo a extremo
  - Sin apoyo de la capa de red ➔ tradicional
  - Con apoyo de la capa de red ➔ moderno (ECN en IP)
  - Una pérdida TCP es un signo de congestión.
- Asistido por la red
  - Un simple bit es una indicación de la congestión.
  - Usado recientemente en el RFC 3168
  - Usado por el ATM Bit Rate (ABR).
  - XCP provee control de la congestión por ruteador

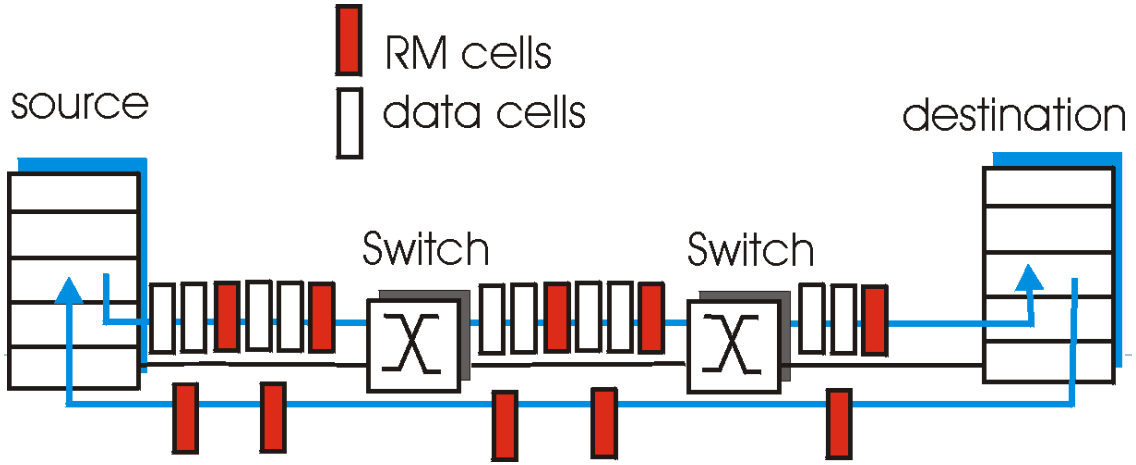


Caso de Estudio:
Control de Congestión en Redes ATM.

- Control de Congestión asistido por la red.
  - Señala al emisor explicitamente cuando reducir la tasa de emisión en período de congestión.
- Toma el ancho de banda remanente y lo asigna a TCP.
  - Es un servicio elastico
- Marco de Trabajo (framework):
  - Paquetes de Manejo de Recursos que circulan constantemente.
- Basado en la tasa de transferencia (calculada por el que envía). ¿Qué conducta garantiza la administración del AB?
  - Si hay ancho de banda —› use todo el que pueda
  - Si **no** hay ancho de banda —› dar garantia mínima

Manejo de Recursos (por celdas RM)

- Las celdas especiales (RM) son enviadas por el emisor
- Mecanismos para la señalización de la congestión :
  - Notificación explicita en el sentido de ida (forward) EFCI. Cuando es recibido por el destino, se hace eco.
  - Bits de notificación de congestión y parada inmediata por congestion (CI y NI). CI —› congestión intermedia. NI —› congestión severa.
  - Tasa específica (ER) —› dice en 2 bytes cuanto debe ser la tasa de emisión.



Control de Congestion de TCP

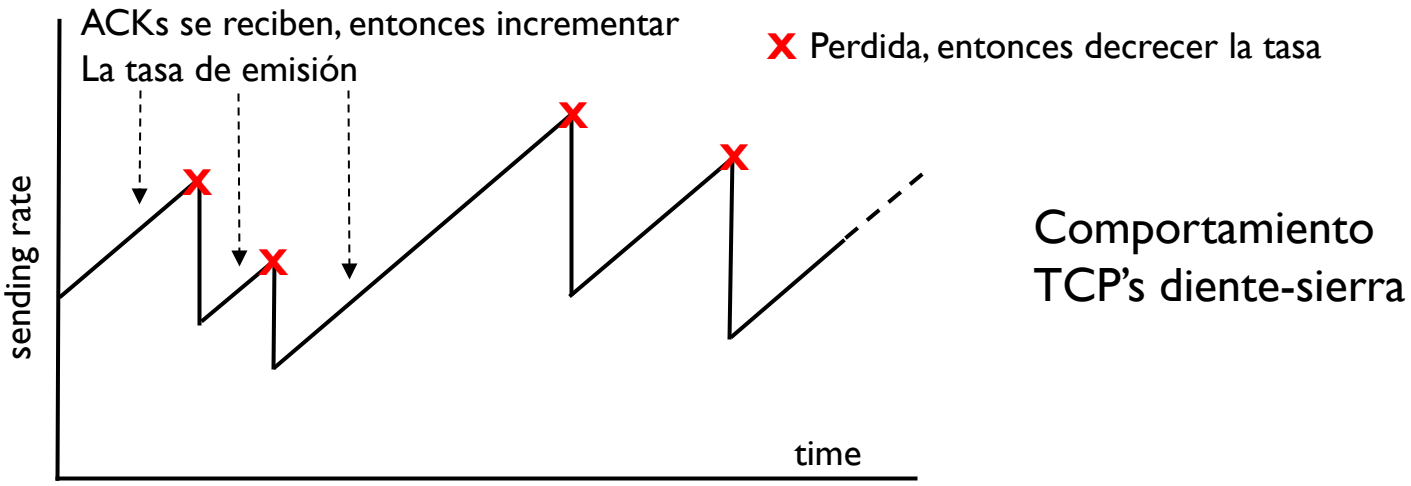
- Utiliza el control de congestión end-to-end
- Ajusta la tasa de emisión de acuerdo a la congestión percibida.
  - Incrementa si hay poca congestion
  - Decrementa si hay perdidas
- ¿Cómo limitar la tasa de envío?
- ¿Cómo se percibe que hay congestión?
- ¿Cómo debe reaccionar el emisor (algoritmicamente) cuando se percibe congestión de extremo a extremo?

Control de Congestión de TCP

- Objetivo: TCP debe transmitir lo más rapido posible SIN congestionar la red.
  - Pero, ¿Cómo?
- Hay un feedback implicito para TCP
  - Recepción de ACK: la red puede aguantar más trafico
  - Perdida de un segmento: hay congestión

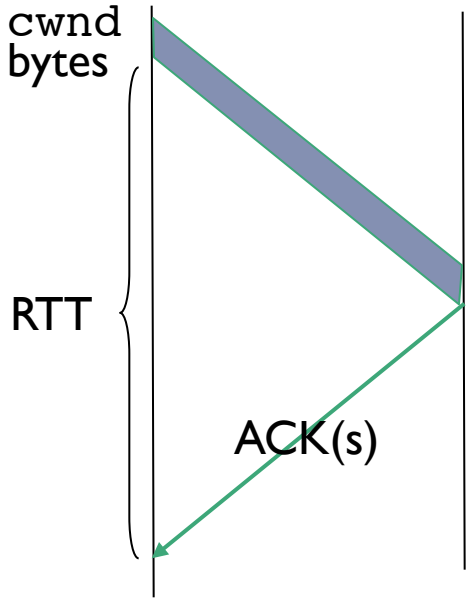
Prueba del Ancho de Banda

- "Prueba del Ancho de Banda": A la recepción de ACKs, y hasta que se produzca una pérdida, la tasa de emisión se incrementa.



Mas detalles del control de congestión

- El emisor limita su tasa de emisión de los **bytes no confirmados** en el tubo:
  - LastByteSent – LastByteAcked ≤ cwnd
  - Cwnd: no es lo mismo que rwnd (ve por que?)
  - Emisor se limita a min (cwnd, rwnd)
- Aproximadamente
  - Tasa= cwnd/RTT bytes/sec
- La ventana de congestion es función de la congestión percibida de la red.



Control de Congestión: más detalles.

Reducción de la cwnd: ante una perdida

- timeout: no hay respuesta del servidor
  - Cortar **`cwnd`** to 1
- 3 ACKs duplicados: hay segmentos que llegan (retransmisión rápida)
  - Cortar cwnd a la mitad, menos agresivo que un timeout

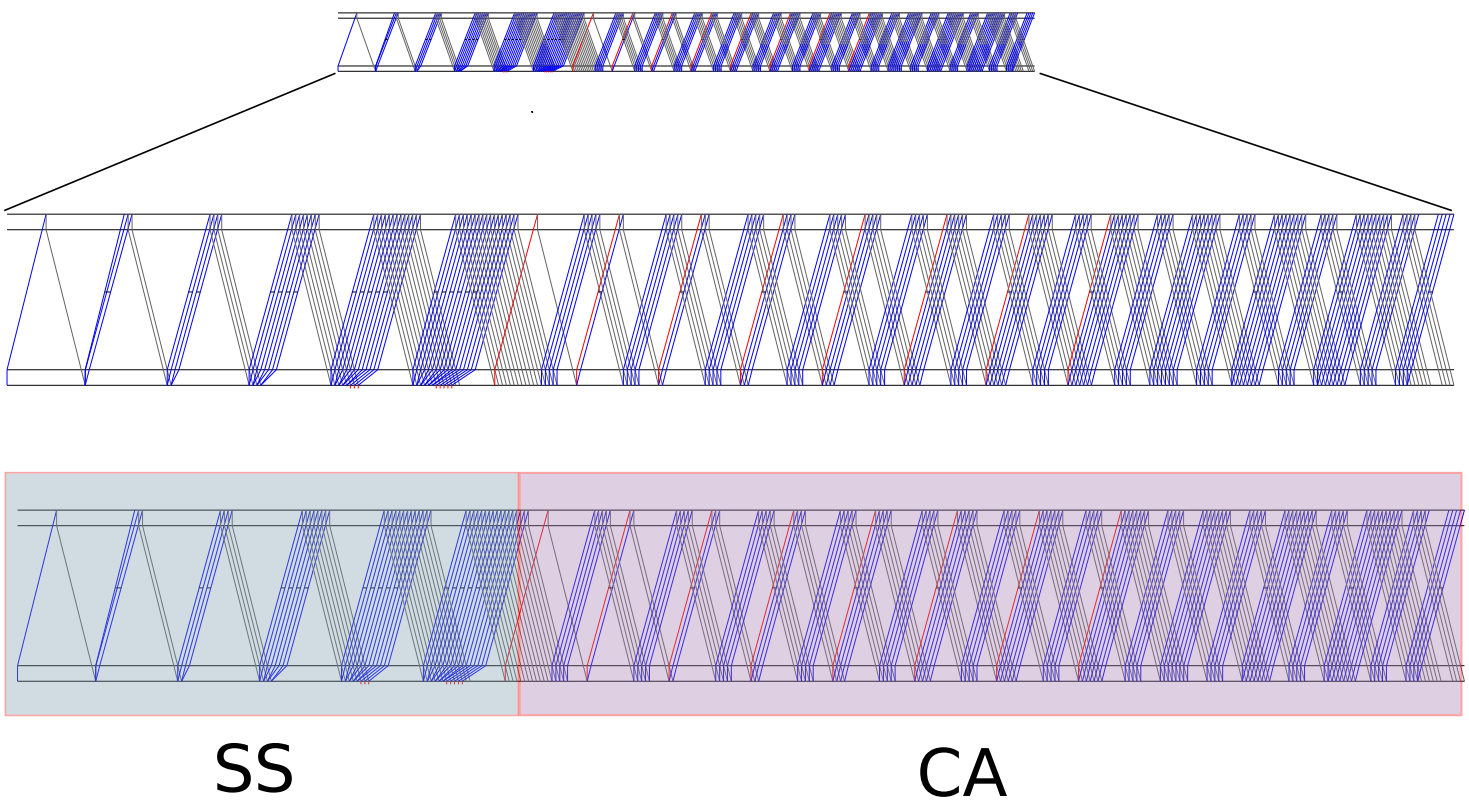
Recepción de ACK: incremento de la cwnd

- Slowstart:
  - Incrementa rapidamente al inicio de la conexión o despues de un timeout
- Congestion Avoidance:
  - Incremento pseudo-lineal.

TCP en Slow Start

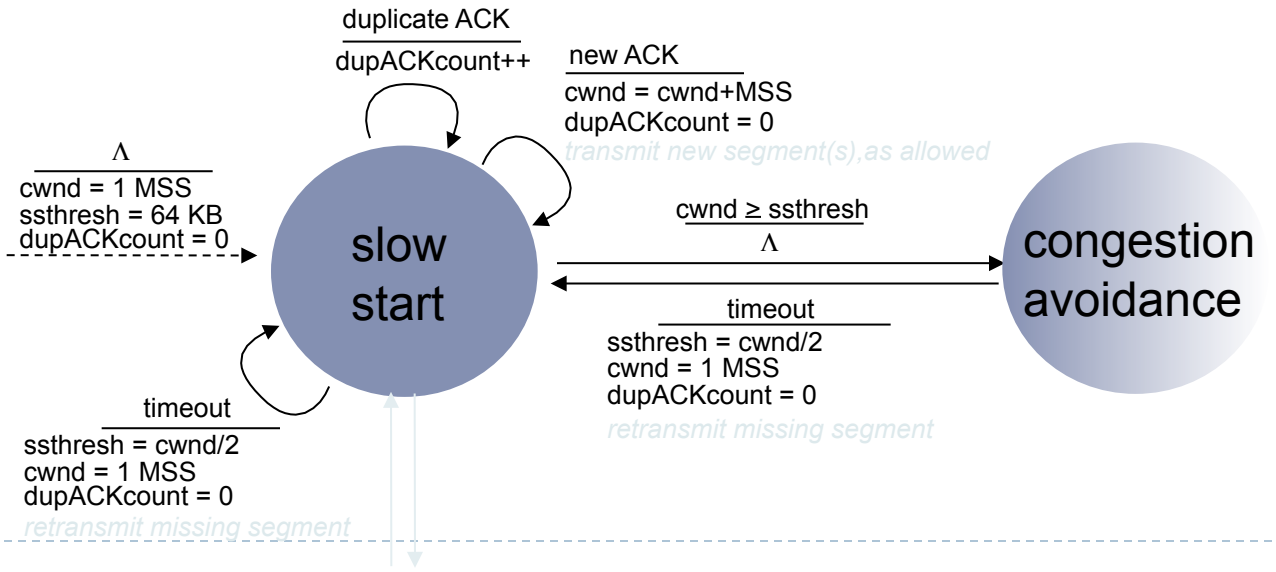
- Al comienzo, **`cwnd`** = 1 MSS
  - Ej: MSS = 500 bytes & RTT = 200 msec
  - Tasa inicial = 20 kbps
- BW disponible puede ser >> MSS/RTT
  - Buenas noticias si se quiere acelerar rápidamente.
- Se incrementa exponencialmente hasta una pérdida o hasta que se llegue al límite
  - Se dobla la cwnd cada RTT
  - Cwnd=cwnd+1 por cada ACK.

Slow Start & Congestion Avoidance



Entrada y salida de Slow Start

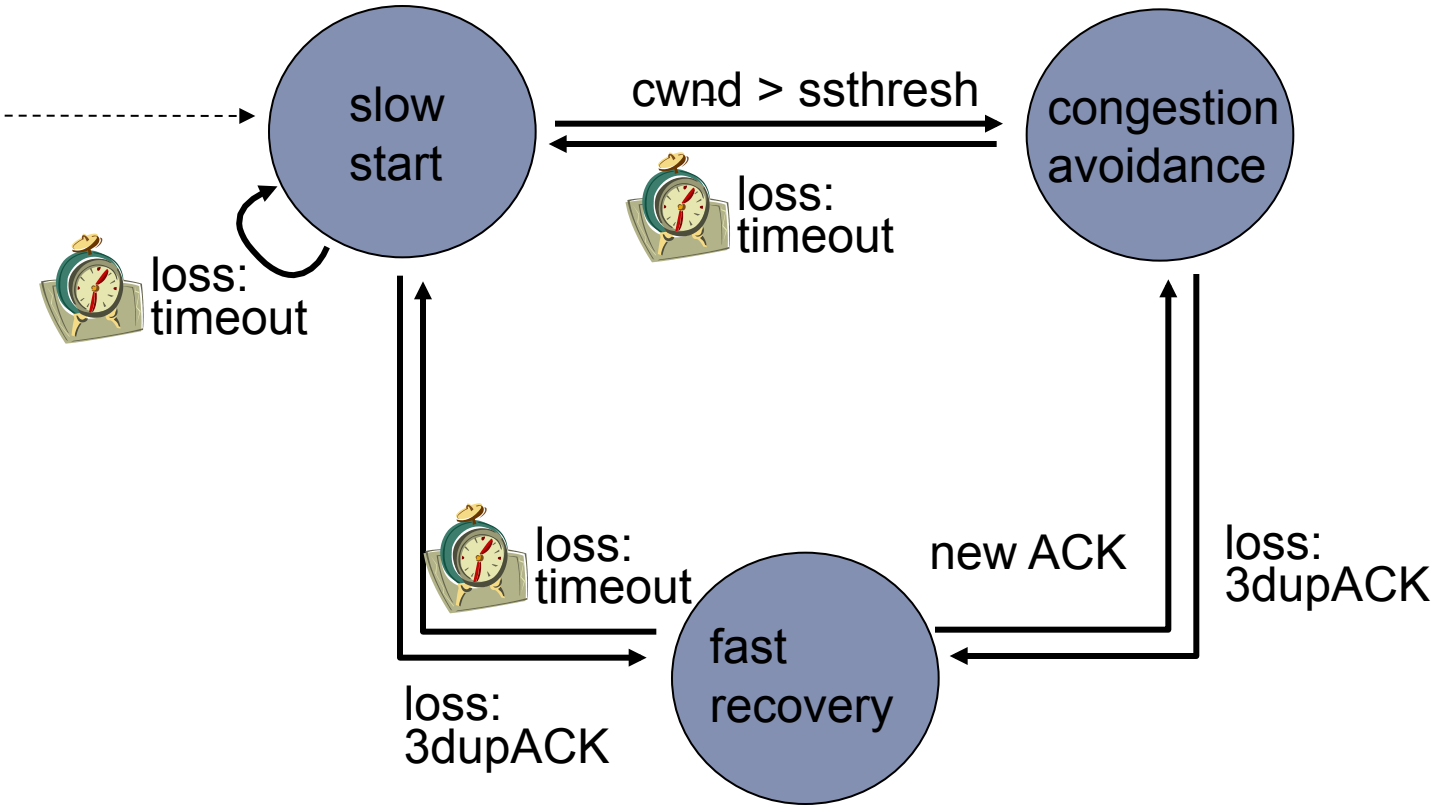
- Ssthresh: limite de la cwnd mantenido por TCP
- Cuando hay perdida: ssthresh = cwnd/2
  - Recuerda la mitad de la tasa TCP cuando la última congestion ocurrió
- Cuando cwnd >= ssthresh: se pasa de SS a CA.



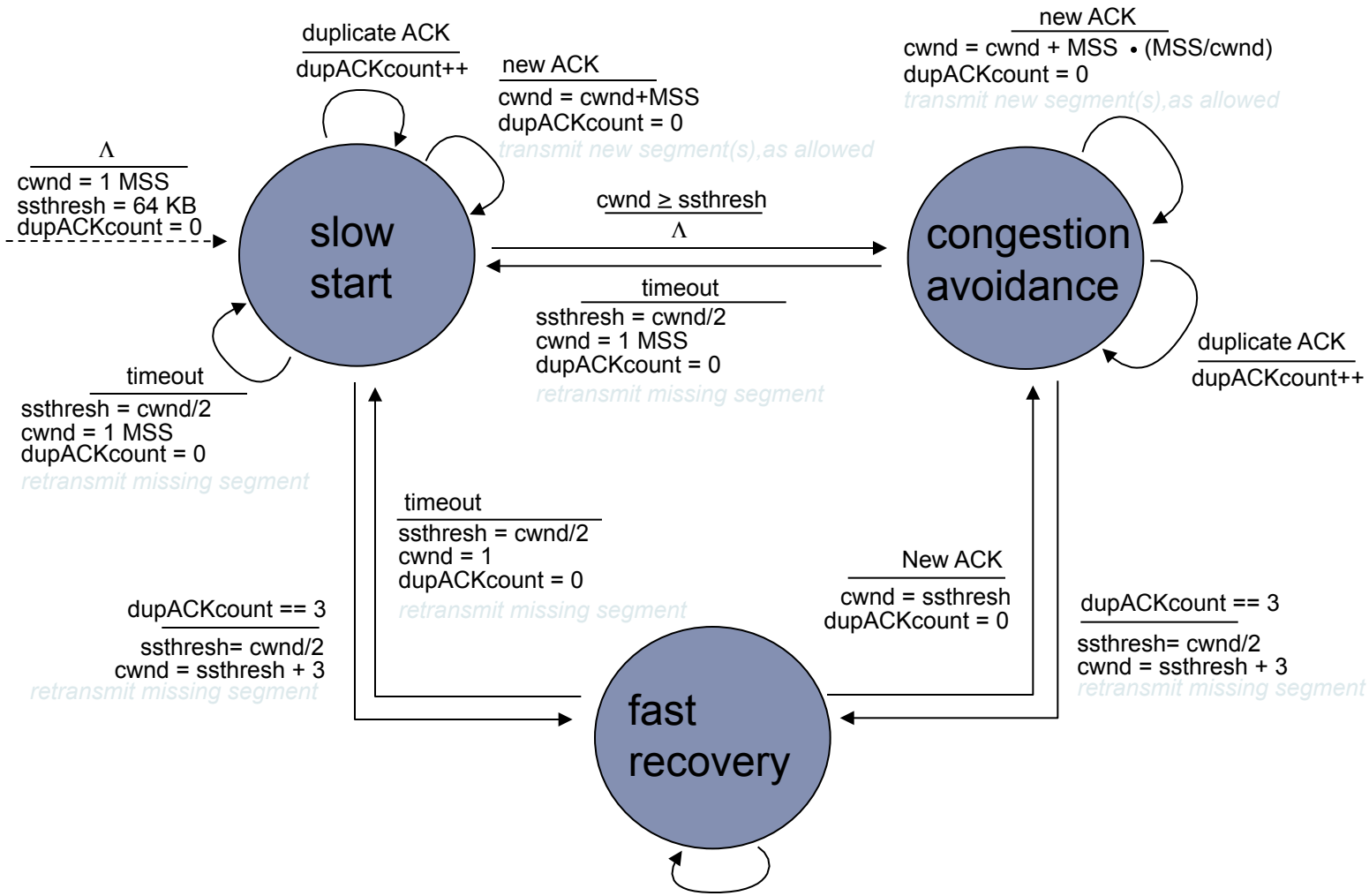
Congestion Avoidance

- Cuando cwnd > ssthresh hay que crecer linealmente
  - Incrementar cwnd de 1 MSS cada RTT
  - Se aproxima a la congestion más lentamente que en Slow Start
  - Algoritmo: cwnd += MSS/cwnd por cada ACK
- Principio del control de la congestion:
  - AIMD: additive increase multiplicative decrease
  - ACK: incrementar **cwnd** por 1MSS cada RTT. (additive Increase)
  - **Perdida:** picar la ventana a la mitad (Multiplicative Decrease)

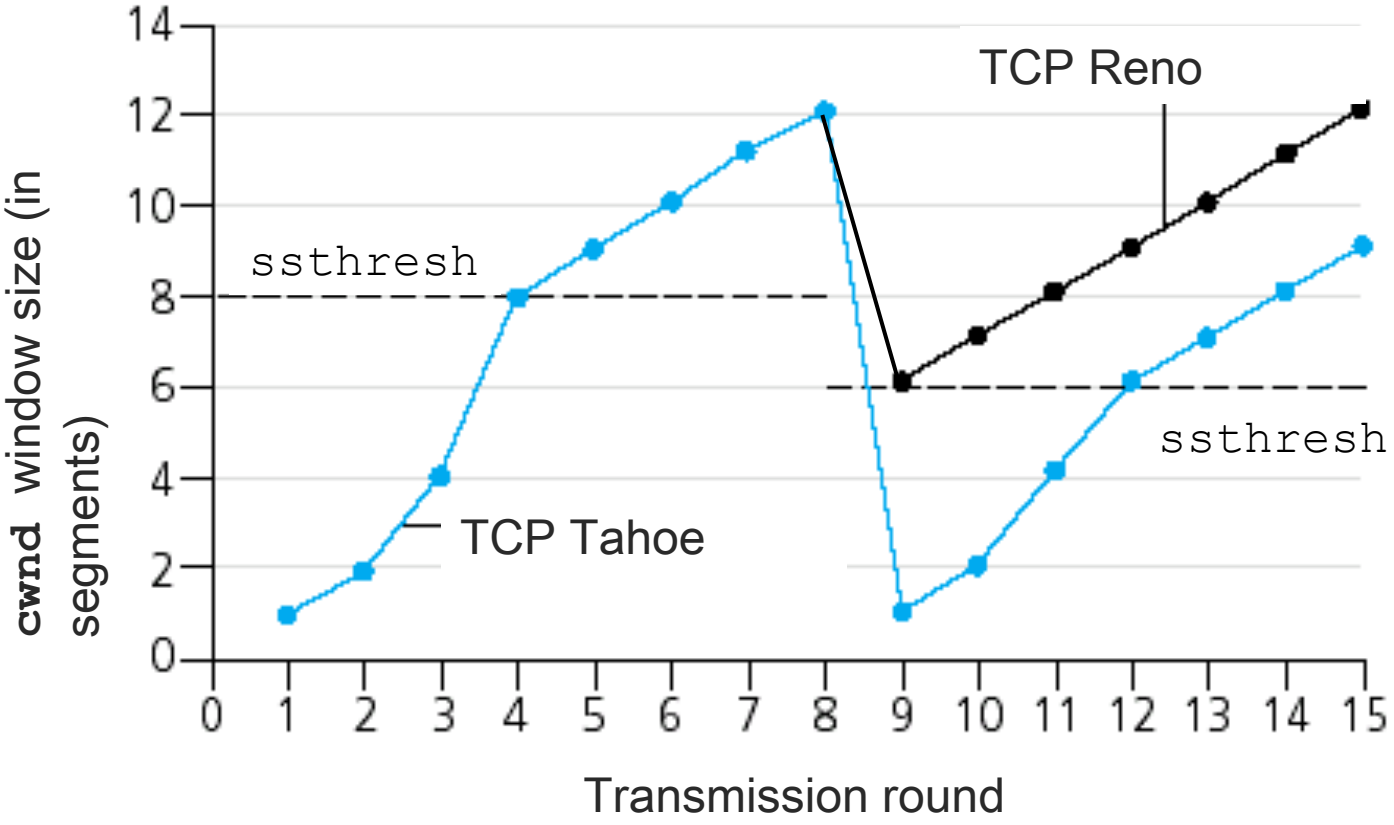
Máquina de Estados para Control de Congestión



TCP: Máquina de Estado Detallada.



Versiones Populares de TCP



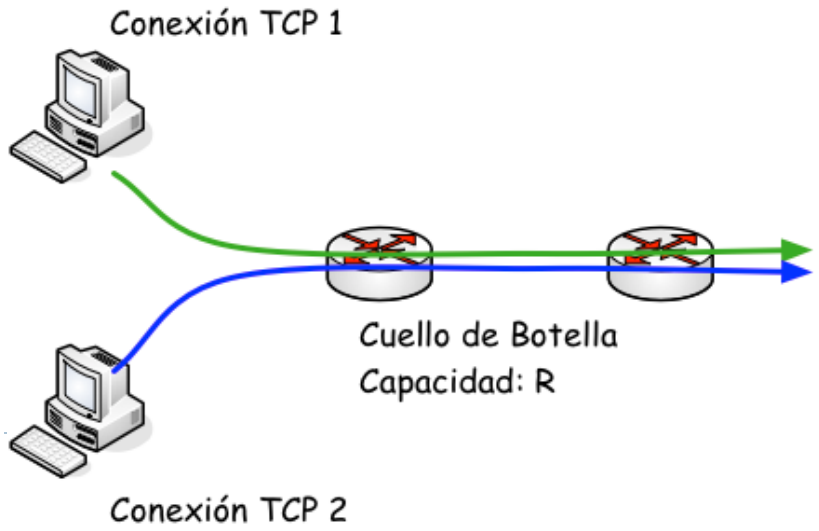
Rendimiento de TCP

- ¿Cuál es el rendimiento promedio de TCP en función del tamaño de la ventan y del RTT?
  - Hay que ignorar slow start
- Si el tamaño de la ventana es W:
  - Cuando la ventana se ha abierto hasta W, el rendimiento es W/RTT
  - Cuando hay una perdida la ventana será W/2 y la tasa de rendimiento W/(2RTT)
  - Rendimiento promedio:

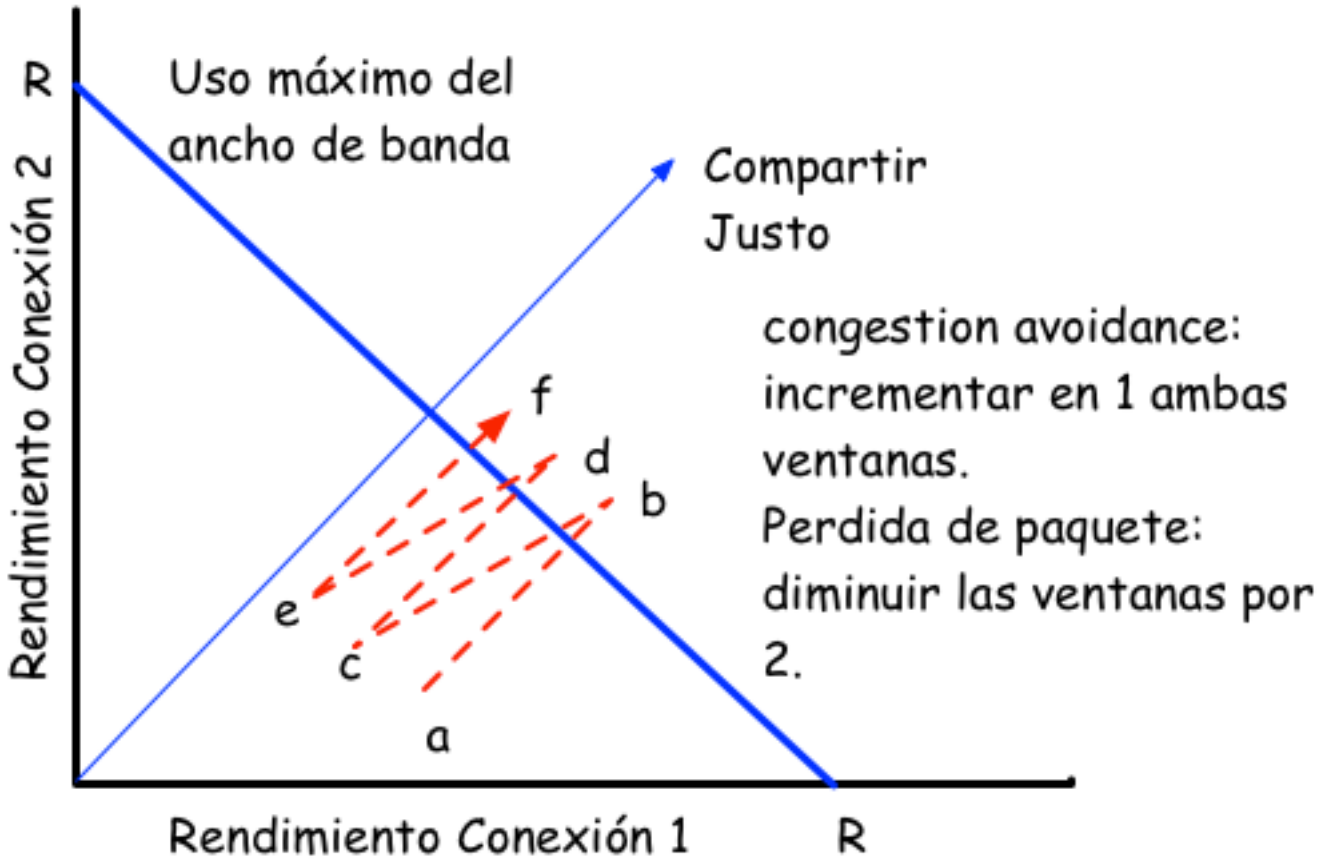
$$\frac{W/RTT + W/2RTT}{2} = 0.75W/RTT$$

Justicia en el uso del Ancho de Banda

- Considere K conexiones TCP cada una con un camino de extremo a extremo diferente, con un cuello de botella en común
- Tasa de transmisión del cuello de botella es R
- Se dice que hay justicia si para cada conexión se tiene un Ancho de Banda de R/K
  - Se logra gracias al algoritmo AIMD



¿Cómo funciona la justicia en el uso del ancho de banda?



Más sobre Justicia

- Justicia y UDP
  - Aplicaciones multimedia casi no usan UDP
  - No les conviene la tasa de emisión impedida por el control de congestión
  - Se prefiere enviar audio/video a tasa constante y tolerar pérdidas de paquete
  - ¡Pueden impedir el paso de trafico TCP!
- Conexiones TCP paralelas:
  - Nada impide que una aplicación abra más de una conexión, p.e., los navegadores.
    - Suponga un enlace que recibe 9 conexiones TCP.
    - Si una aplicación establece 1 conexión TCP: tasa = R/10
    - Si una aplicación establece 9 conexiones TCP: tasa = R/2