

Redes de Computadores

Tema 6 – QoS y Control de Congestión

Juan Segarra, Natalia Ayuso y Jesús Alastrauey



**Departamento de
Informática e Ingeniería
de Sistemas
Universidad Zaragoza**

1. Introducción

2. Calidad de Servicio (QoS)

- 2.1. Disciplina de colas
- 2.2. Servicios diferenciados (DiffServ)
- 2.3. Servicios integrados (IntServ)

3. Control de congestión

- 3.1. Comienzo lento y prevención de congestión
- 3.2. Retransmisión rápida
- 3.3. Recuperación rápida
- 3.4. Prevención desde origen: TCP Vegas
- 3.5. Detección Explícita de Congestión
- 3.6. Detección temprana aleatoria (RED)

1. Introducción

1 Introducción



- La red tiene una serie de recursos compartidos: ancho de banda de enlaces, buffers en routers y switches
- Cuando muchos paquetes compiten en un router por un mismo enlace, la memoria del router se puede agotar y producirse pérdidas de paquetes
- Si las pérdidas de paquetes son frecuentes, se dice que la red está **congestionada**

Objetivos:

1. Repartir los recursos para que todos perciban la mayor **calidad de servicio** posible
2. Reducir la pérdida de paquetes mediante mecanismos de **control de congestión**

2. Calidad de Servicio (QoS)

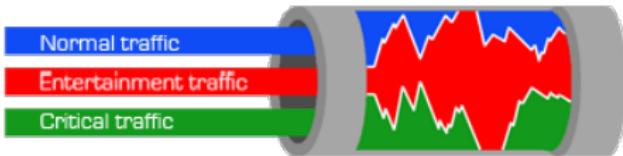
- 2.1. Disciplina de colas
- 2.2. Servicios diferenciados (DiffServ)
- 2.3. Servicios integrados (IntServ)

2 Calidad de Servicio (QoS)

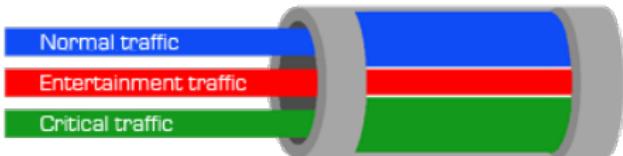


- **Calidad de servicio (QoS):** rendimiento promedio percibido por los usuarios, o más específicamente en redes, los mecanismos para proporcionar dicho rendimiento
 - Reserva de recursos
 - Clasificación de paquetes y tratamiento en contexto

Bandwidth Use without QoS control



Bandwidth Use with QoS control



2 Calidad de Servicio (QoS) (II)



La calidad percibida depende de nuestro tráfico **y del tráfico del resto del mundo**. Opciones:

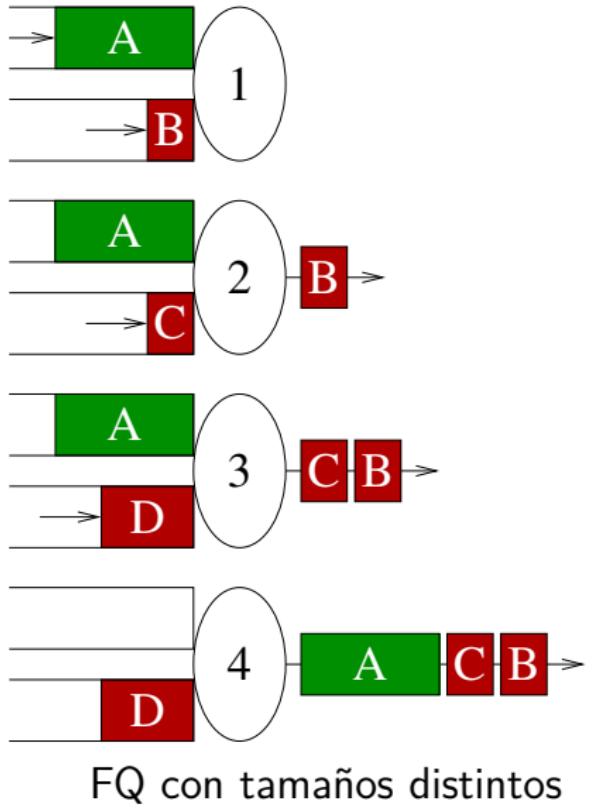
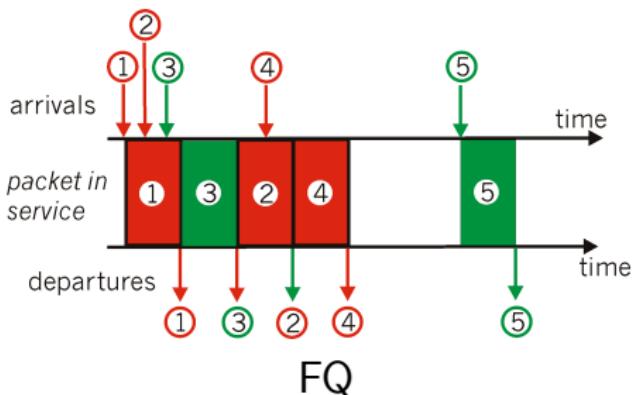
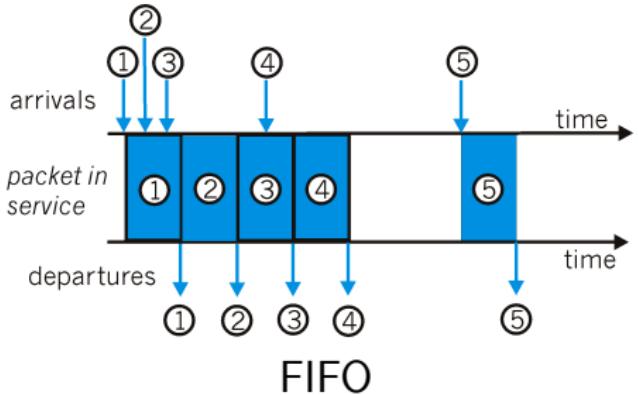
- No dar ningún tipo de calidad de servicio
 - Los paquetes son encolados y procesados por estricto orden de llegada al encaminador (**FIFO**, *First-In-First-Out*)
 - Sencillo y eficaz con poco tráfico
- Ofrecer QoS «perfecta»
 - Negociar entre red y aplicación el tráfico que se va a enviar
 - Reservar recursos de red para tratar ese tráfico
 - Denegar el uso de la red cuando no sea posible proporcionar los recursos necesarios
 - Complejo (lento), calidad independiente del resto del tráfico
- Cualquier opción intermedia entre las dos anteriores

2.1 Disciplina de colas

- FIFO: una única cola en el encaminador
 - No proporciona ningún tipo de calidad de servicio
- Colas equitativas (*Fair Queuing, FQ*)
 - Varias colas FIFO en el encaminador
 - Las colas se atienden de forma equitativa (*Round-Robin*)
 - Al llegar un paquete, se clasifica y se mete en la cola correspondiente
 - ¿Qué política se sigue para clasificar? [p. 10][p. 11]
 - Colas equitativas ponderadas (WFQ): se asigna un peso (w_i) a cada cola



2.1 Disciplina de colas (II)



2.2 Servicios diferenciados (*DiffServ*)



- Clasificar paquetes y su correspondiente asignación a colas de encaminadores por el **tipo de tráfico** que contengan, es decir, **diferenciar servicios**
- 6 bits de mayor peso de campos «ToS» (IPv4) y «TrafficClass» (IPv6):
 - Paquetes de control de red
 - Paquetes críticos
 - Paquetes prioritarios
 - Paquetes «best effort» (sin garantías)
 - etc.
- El tipo puede ser establecido por el origen, por el encaminador de entrada a un SA, etc.
- La gestión por parte del encaminador es sencilla
- No permite dar un servicio particularizado

2.3 Servicios integrados (*IntServ*)



- Clasificación de paquetes y su correspondiente asignación a colas de encaminadores por **flujo** al que pertenezcan
 - E.g. paquetes de transmisión de vídeo entre **x** y **y**
 - IPv4 debe analizar IPs y puertos
 - IPv6 incorpora «FlowLabel» para facilitar la clasificación
- Combina colas WFQ con circuitos virtuales o protocolos de **reserva de recursos**
 - La aplicación especifica a la red sus requisitos de tráfico.
La red o los garantiza o deniega el servicio
 - Gestión compleja en el encaminador: necesita mantener mucha información (una cola/circuito/reserva por flujo)

2.3 Ejemplo

- Índice de velocidades de ISP para Netflix

SPAIN



Imagen: Comunidad Movistar

2.3.1 Protocolo RSVP



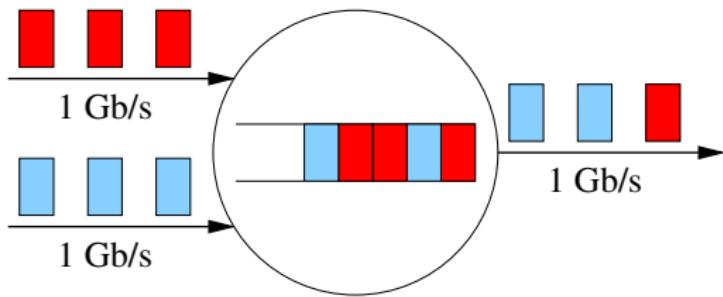
- Resource ReSerVation Protocol (RSVP)
- Diseñado para funcionar sobre IP
- Utiliza refresco periódico como alternativa a los circuitos virtuales
- Permite cambios dinámicos de configuración
- Diseñado para ofrecer multicast
 - Fusiona requerimientos de receptores
 - Puede especificar varios interlocutores
- Basado en mensajes periódicos PATH/RESV
 - PATH (origen → destino): recoge datos sobre recursos de encaminadores
 - RESV (destino → origen): reserva recursos

3. Control de congestión

- 3.1. Comienzo lento y prevención de congestión
- 3.2. Retransmisión rápida
- 3.3. Recuperación rápida
- 3.4. Prevención desde origen: TCP Vegas
- 3.5. Detección Explícita de Congestión
- 3.6. Detección temprana aleatoria (RED)

3 Control de congestión

- Congestión: pérdida frecuente de paquetes
 - Si un equipo recibe paquetes a más velocidad de la que los puede reenviar, su buffer se puede desbordar
 - Mecanismos de control de congestión para tratarla



3 Control de congestión (II)



- La tasa a la que llega el tráfico depende de todas las capas
 - Tiempos de espera aleatorios en redes locales
 - Tiempo en colas de encaminadores en capa de red
 - Velocidad efectiva de tráfico dependiente de ventana, retransmisiones, etc. en capa de transporte

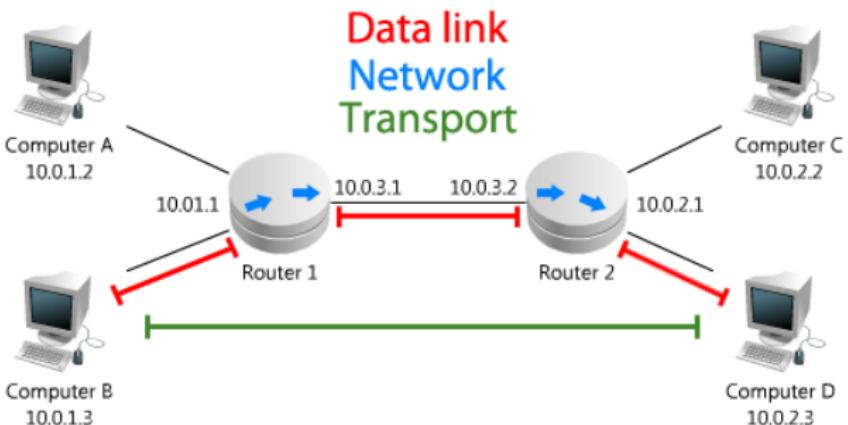


Imagen: OSI model – Layer 4: Transport (TCP and UDP with Scapy)

3 Control de congestión (III)



- ¿Cómo actúa cada capa para tratar la congestión?
 - Independientemente → peligro de entorpecerse
 - Coordinadas → se pierde la abstracción al asumir que por encima/debajo se actúa de cierta forma
- Mecanismos de control de congestión desde ...
 - TCP: Tahoe ([comienzo lento](#), [prevención de congestión](#), [retransmisión rápida](#)), Reno ([recuperación rápida](#)), Vegas, SACK, BIC/CUBIC, Compound, etc.
 - Capa de red: [ECN](#), [RED](#), etc.



3 Control de congestión en TCP

1474

- Ventana de emisión demasiado:
 - Pequeña: no utiliza el ancho de banda disponible
 - Grande: puede congestionar la red, cuyo efecto es más perjudicial que usar una ventana pequeña
- Originalmente la tasa de emisión estaba limitada solamente por el control de flujo (ventana anunciada por el receptor)
 - Paquetes descartados por encaminadores → emisores retransmiten → congestión de la red
 - 1986, colapso por congestión de la red NSF:
32 Kbps → 40 bps
- Solución: algoritmos de control de congestión desarrollados por Van Jacobson
 - Nodos ajustan su tasa de emisión basándose en eventos de la red (pérdidas ...)

3 Control de congestión en TCP (II)



- RFC 5681 (TCP-Reno) describe 4 algoritmos
 - Comienzo lento, *slow start* (SS)
 - Prevención de congestión, *congestion avoidance* (CA)
 - Retransmisión rápida, *fast retransmit*
 - Recuperación rápida, *fast recovery*
- Desarrollados en [Jac88] y [Jac90]
- Asumen que las pérdidas de paquetes son debidas a congestión

[Jac88] Jacobson, V., **Congestion Avoidance and Control**, Computer Communication Review, vol. 18, no. 4, pp. 314-329, Aug. 1988.

<https://ee.lbl.gov/papers/congavoid.pdf>

[Jac90] Jacobson, V., **Modified TCP Congestion Avoidance Algorithm**, end2end-interest mailing list, April 30, 1990.

<ftp://ftp.isi.edu/end2end/end2end-interest-1990.mail>

3.1 Slow Start + Congestion Avoidance



- Cuando se establece una conexión TCP, los extremos no conocen ni su ancho de banda (BW) ni su latencia (RTT)

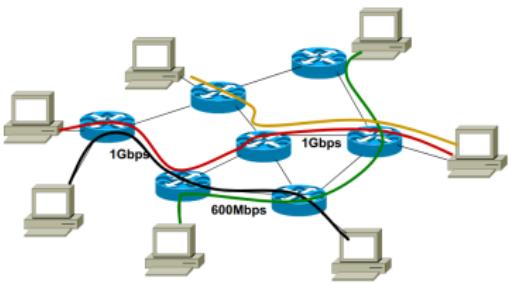


Imagen: [Sylvia Ratnasamy](#). TCP: Congestion Control. CS 168, Univ. Berkeley.

- Si el emisor envía demasiados segmentos, puede congestionar la red y provocar pérdidas
- El emisor ajusta dinámicamente su ventana de emisión
 - Comienza enviando ventanas de pocos segmentos
 - Si no hay pérdidas, incrementa el tamaño de la ventana
 - Si hay pérdidas, reduce el tamaño de la ventana

3.1 Slow Start + Congestion Avoidance (II)



- Velocidad de incremento de la ventana
 - Exponencial: fase descubrimiento de BW
→ comienzo lento
 - Lineal: fase ajuste por las variaciones del BW
→ prevención de congestión

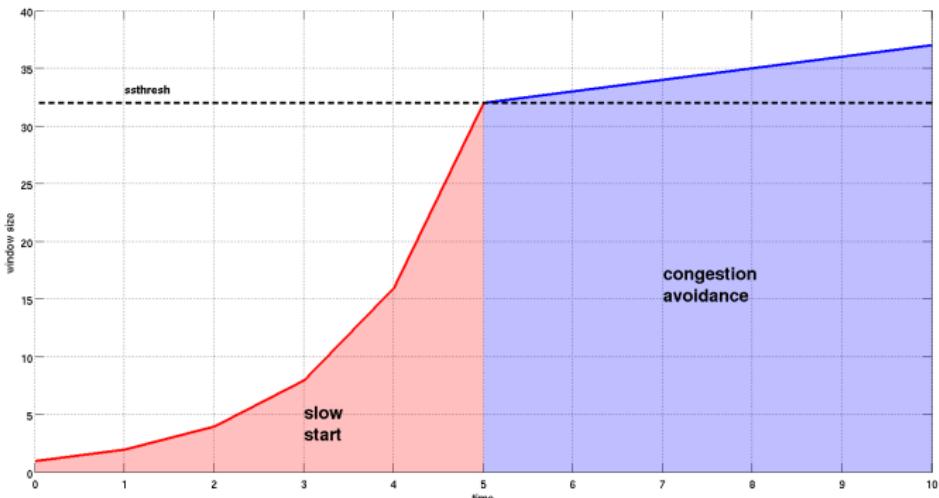


Imagen: elaboración propia

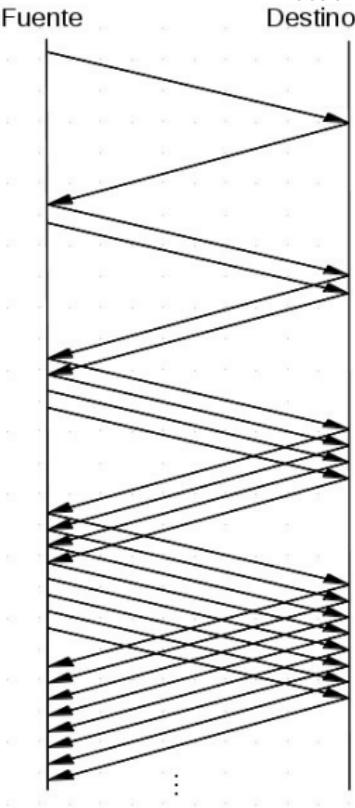
3.1 SS + CA: implementación



- Variables por conexión TCP
- Ventana de congestión, $cwnd$
 - Bytes que pueden enviarse sin desbordar routers
 - Calculada por emisor
- Ventana de recepción, $rwnd$
 - Bytes que pueden enviarse sin desbordar al receptor
 - Comunicada por receptor a emisor en cada ACK
- Umbral comienzo lento, $ssthresh$
 - Determina si la emisión es controlada por el algoritmo de comienzo lento ($cwnd < ssthresh$) o el de prevención de congestión ($cwnd \geq ssthresh$)
 - Calculado por emisor
- Transmisión de datos limitada por $\min(cwnd, rwnd)$
- Eventos: ACK, dupACK (ACK duplicado), RTO

3.1 Comienzo lento

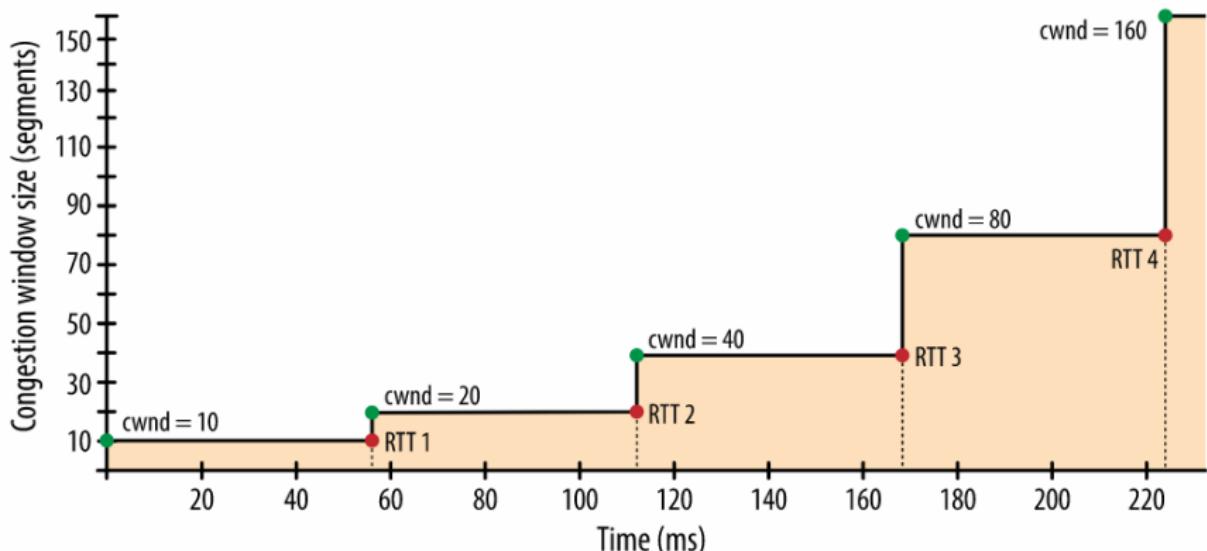
- Objetivo: estimar BW
- Inicializar *cwnd* a número reducido de segmentos: *IW*, *initial congestion window*:
 - Enero-1997: $IW = 1$, RFC 2001
 - Abril-1999: $IW = 4$, RFC 2581
 - Abril-2013: $IW = 10$, RFC 6928
 - Large-Scale Scanning of TCP's Initial Window
- Aumentar *cwnd* de forma rápida
 - Cada ACK: $cwnd = cwnd + 1$
 \rightarrow cada RTT: $cwnd = 2 * cwnd$



3.1 Comienzo lento: ejemplo



- Contexto:
 - $IW = 10 \text{ segmentos}$, $RTT = 56 \text{ ms}$
- Evolución temporal de $cwnd$



Fuente: High Performance Browser Networking: Building Blocks of TCP

3.1 Comienzo lento: ejercicio



☞ Dado un enlace TCP de las siguientes características:

- $rwnd = 64 \text{ KiB}$, $IW = 1 \text{ segmento}$, $RTT = 56 \text{ ms}$,
 $MSS = 1460 \text{ B}$

Calcula el tiempo necesario para que la ventana de congestión ($cwnd$) alcance el valor de la ventana anunciada de recepción ($rwnd$). Repetir el cálculo con $IW = 4$ y $IW = 10 \text{ segmentos}$

3.1 Prevención de congestión



1474

- Objetivo: ajustar ventana de congestión según las variaciones del BW
- Si no hay pérdidas, aumentar $cwnd$ de forma lineal
 - Cada ACK: $cwnd = cwnd + 1/cwnd$
→ cada RTT: $cwnd = cwnd + 1$
- Si hay pérdidas (vence RTO), reinicializar $cwnd$
 - $cwnd = IW$

3.1 SS+CA: cambio de fase



- ¿Cuándo se cambia de comienzo lento a prevención de congestión? Cuando el valor de la ventana de congestión, $cwnd$, alcanza el umbral de comienzo lento, *slow start threshold* ($ssthresh$)
- Evolución de $ssthresh$
 - Se inicializa a valor elevado
 - En caso de pérdida (RTO) → $ssthresh = cwnd/2$

3.1 SS + CA: recapitulando



- Inicializar variables
 - $ssthresh = \infty$
 - $cwnd = IW = 1/4/10$ segmentos,
según RFC 2001/RFC 2581/RFC 6928
- Inicio lento
 - Cada ACK: $cwnd = cwnd + 1$ → cada RTT: $cwnd = 2 * cwnd$
- Si vence temporizador (RTO)
 - $ssthresh = cwnd/2$
 - Reinicializar $cwnd \rightarrow cwnd = IW$
 - Comienzo lento mientras $cwnd < ssthresh$
 - Cuando $cwnd \geq ssthresh \rightarrow$ prevención de congestión,
cada ACK: $cwnd = cwnd + 1/cwnd$
→ cada RTT: $cwnd = cwnd + 1$

3.1 SS + CA: ejemplo

- Evolución temporal de la ventana de congestión

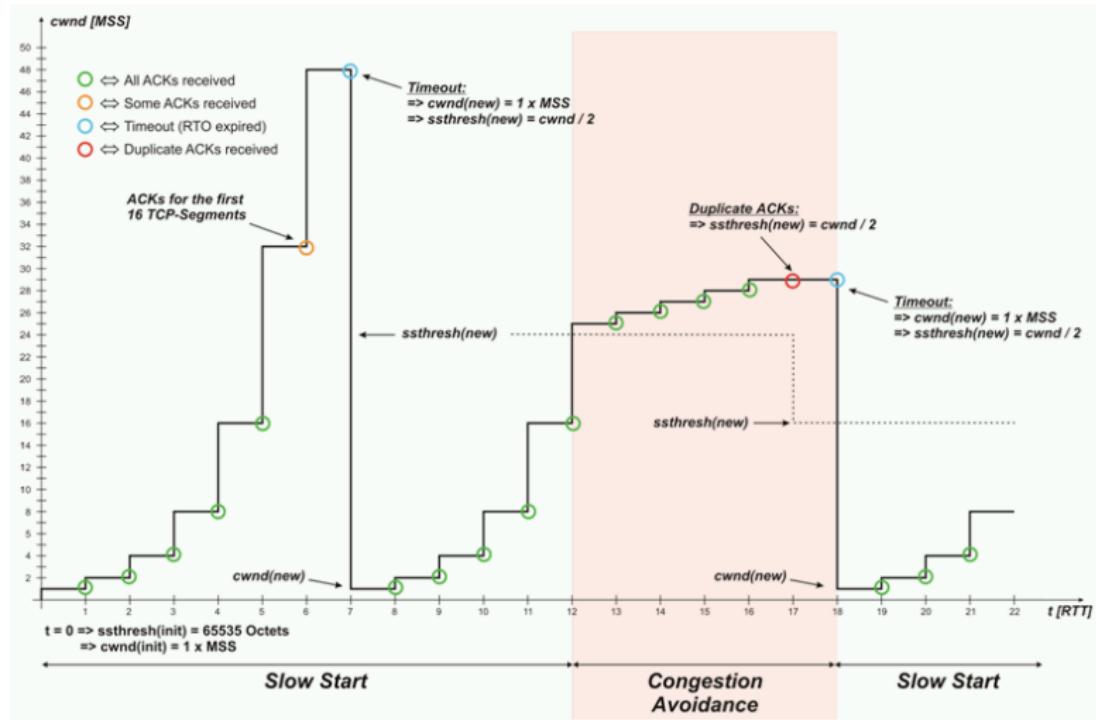
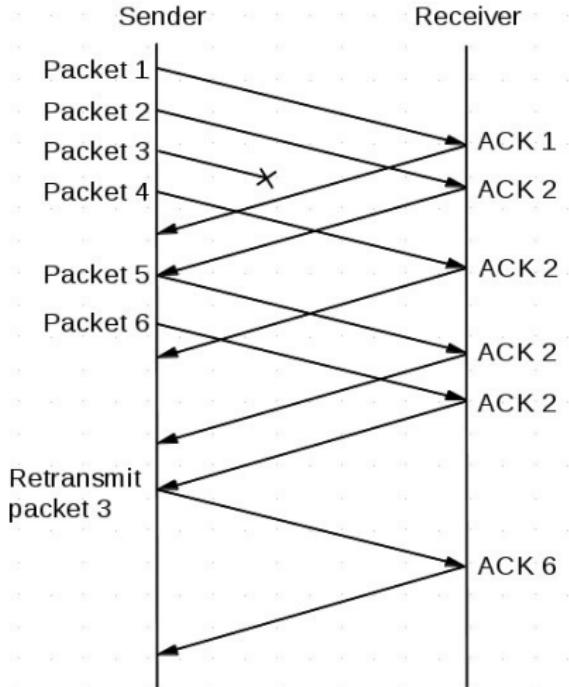


Imagen: INACON Protocol Help

3.2 Retransmisión rápida



- Objetivo: anticipar detección de pérdida de segmentos
- El receptor envía dupACK cuando recibe un segmento fuera de orden
- El emisor retransmite el segmento perdido cuando haya recibido 3 dupACKs, sin esperar a que venza RTO
- TCP Tahoe: emisor vuelve a comienzo lento
- TCP Reno: emisor evita comienzo lento → recuperación rápida



3.3 Recuperación rápida

- Tras recibir 3 dupACKs: retransmisión + paso a modo prevención de congestión
 - $ssthresh = cwnd/2$, $cwnd = ssthresh + 3$
 - Por cada dupACK adicional: $cwnd = cwnd + 1$
- Tras recibir ACK: fin de recuperación rápida
 - $cwnd = ssthresh$

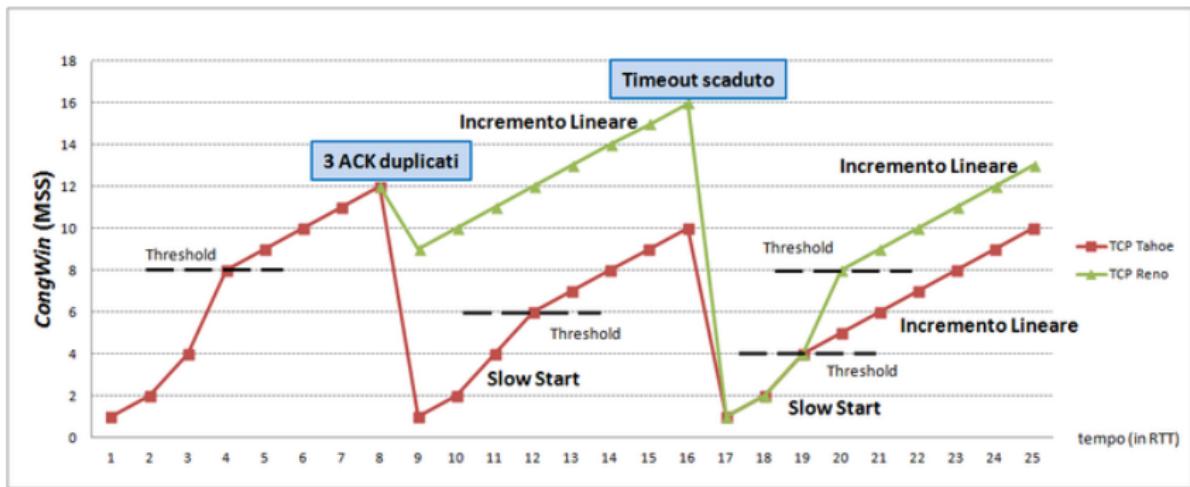


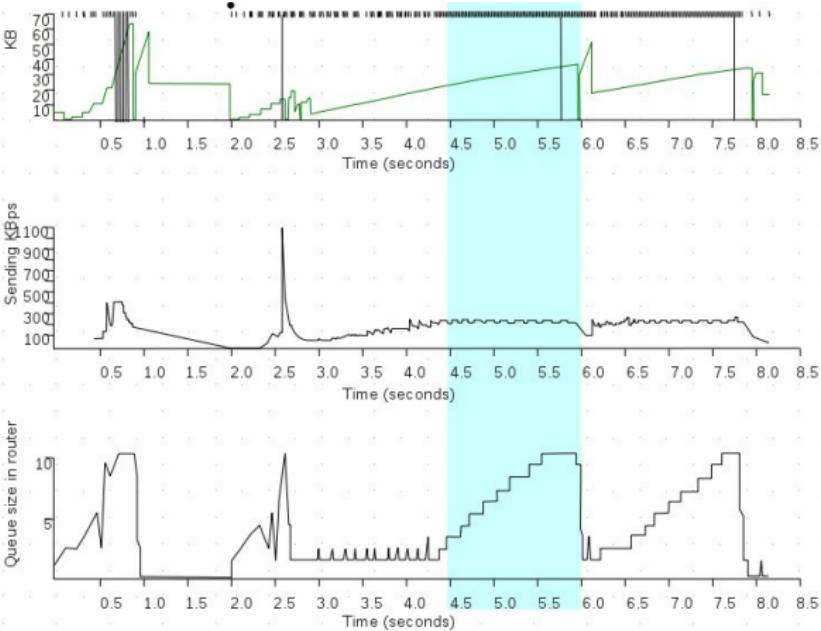
Imagen: Wikipedia: Controllo della congestione in TCP

3.4 Prevención desde origen: TCP Vegas



- Control de congestión basado en retardo, no en pérdidas
- Emisor monitoriza RTT para detectar crecimiento de las colas en los encaminadores → proximidad de congestión

- Si aumenta RTT → crece ocupación de las colas → *cwnd* — — cada RTT
- Si no aumenta RTT → *cwnd* + + cada RTT



3.5 Detección Explícita de Congestión



- Detección en capa de red; control en capa de transporte
- Encaminador monitoriza la ocupación media de cola
 - Marca **bit de congestión** en la cabecera del paquete si *ocup_media_colas > umbral*
- Destino reenvía a origen el valor del bit
- Origen ajusta su tasa de envío en base a los bits marcados de la última ventana
 - $< 50\%$ → incr. ventana en 1 paq.
 - $\geq 50\%$ → decr. ventana en 0.875
- RFC 3168: The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP
 - 2 bits en ToS (IPv4) y TraficClass (IPv6) para notificar ECN activo y marcar congestión hacia destino
 - 3 bits en flags TCP para notificar congestión a origen y avisar a receptor sobre reducción de ventana de congestión

3.6 Detección temprana aleatoria (RED)



- *Random Early Detection* (RED), RFC 2309
- Detección y control de congestión en capa de red
- Notifica descartando paquetes (coopera con TCP)
- Encaminador monitoriza ocupación media de la cola a la llegada de cada paquete
 - Si $OcupMedia > UmbralMax$, descarta paquete
 - Si $OcupMedia > UmbralMin$, descarta paquete con una probabilidad P
 - Con cada paquete no descartado, incrementa P
- La probabilidad de descarte en un flujo es proporcional a su cantidad de tráfico
- Posibilidad de «castigar» a quienes no regulan congestión

