

Calidad de Servicio en Internet

Jhon Jairo Padilla A., PhD.

Problemas a solucionar

1. Aplicaciones de tiempo real
2. Control de Congestión con TCP

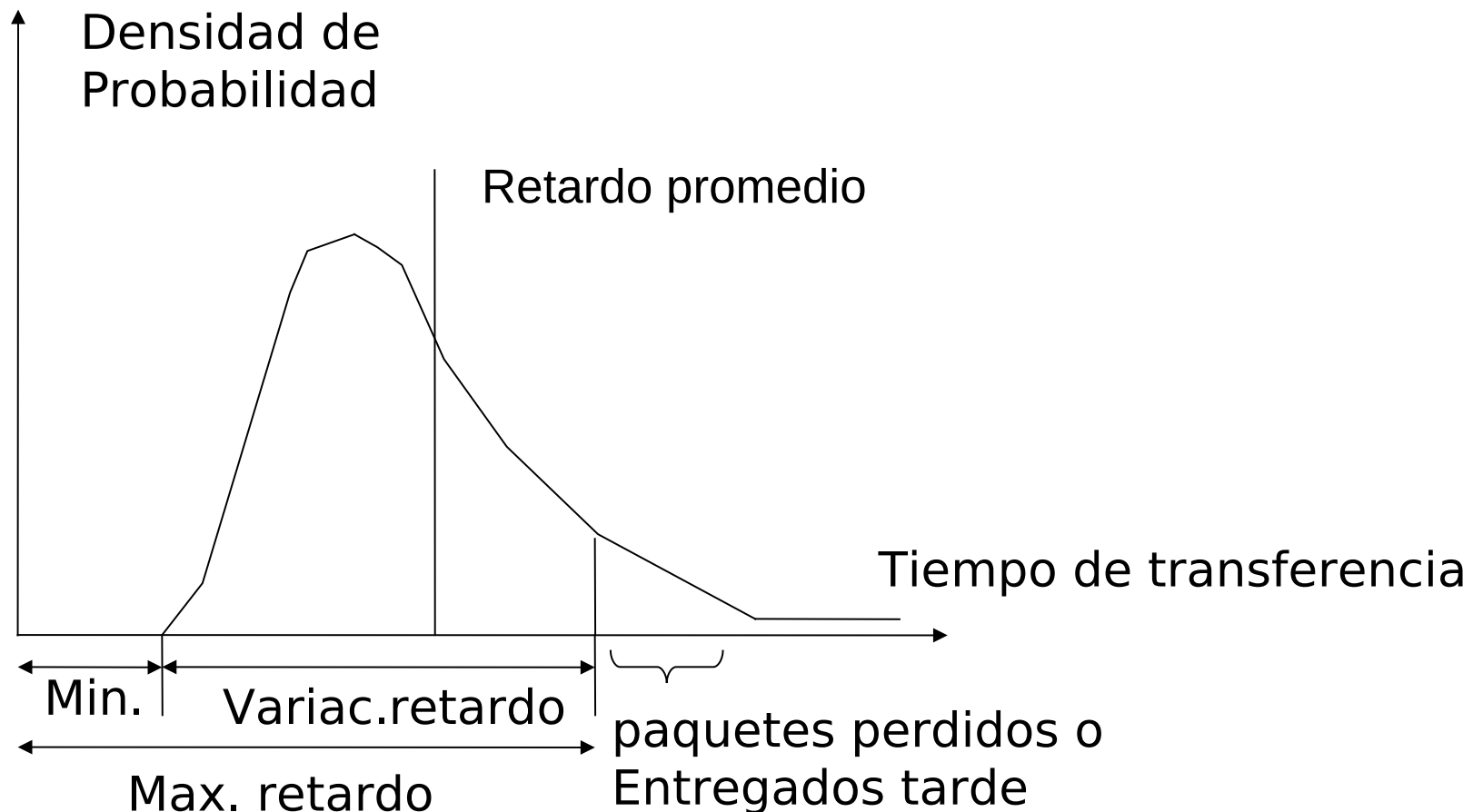
1. Aplicaciones de tiempo real

- Tienen requerimientos de retardo muy exigentes
- Si el retardo supera cierto límite, los datos del paquete ya no serán útiles
- Ejemplo: Aplicación “Audio-streaming”

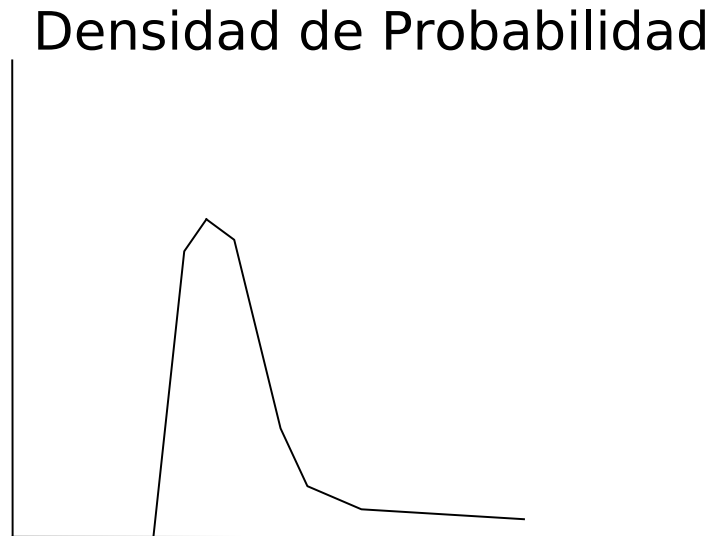
Ejemplo: Audio-streaming

- La voz es enviada en paquetes por la fuente hacia la red
- Cada paquete experimenta un retardo diferente en la red (tiempo entre paquetes varía)
- Delay jitter: variación en el retardo de los paquetes (max. Retardo – min. Retardo)
- La variación del retardo produce distorsión en la voz
- Solución común: uso de un buffer suavizador (playback point (offset de tiempo), playback applications)

Distribución del retardo y variación del retardo

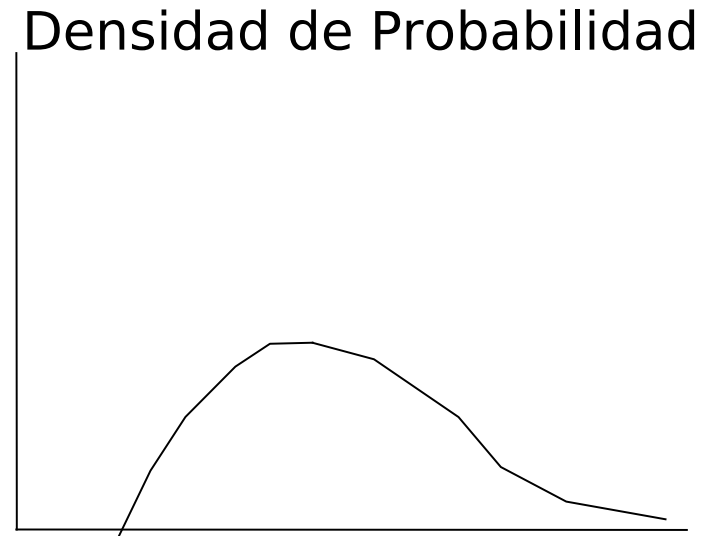


Curvas de retardo para diferentes servicios



Tiempo de retardo

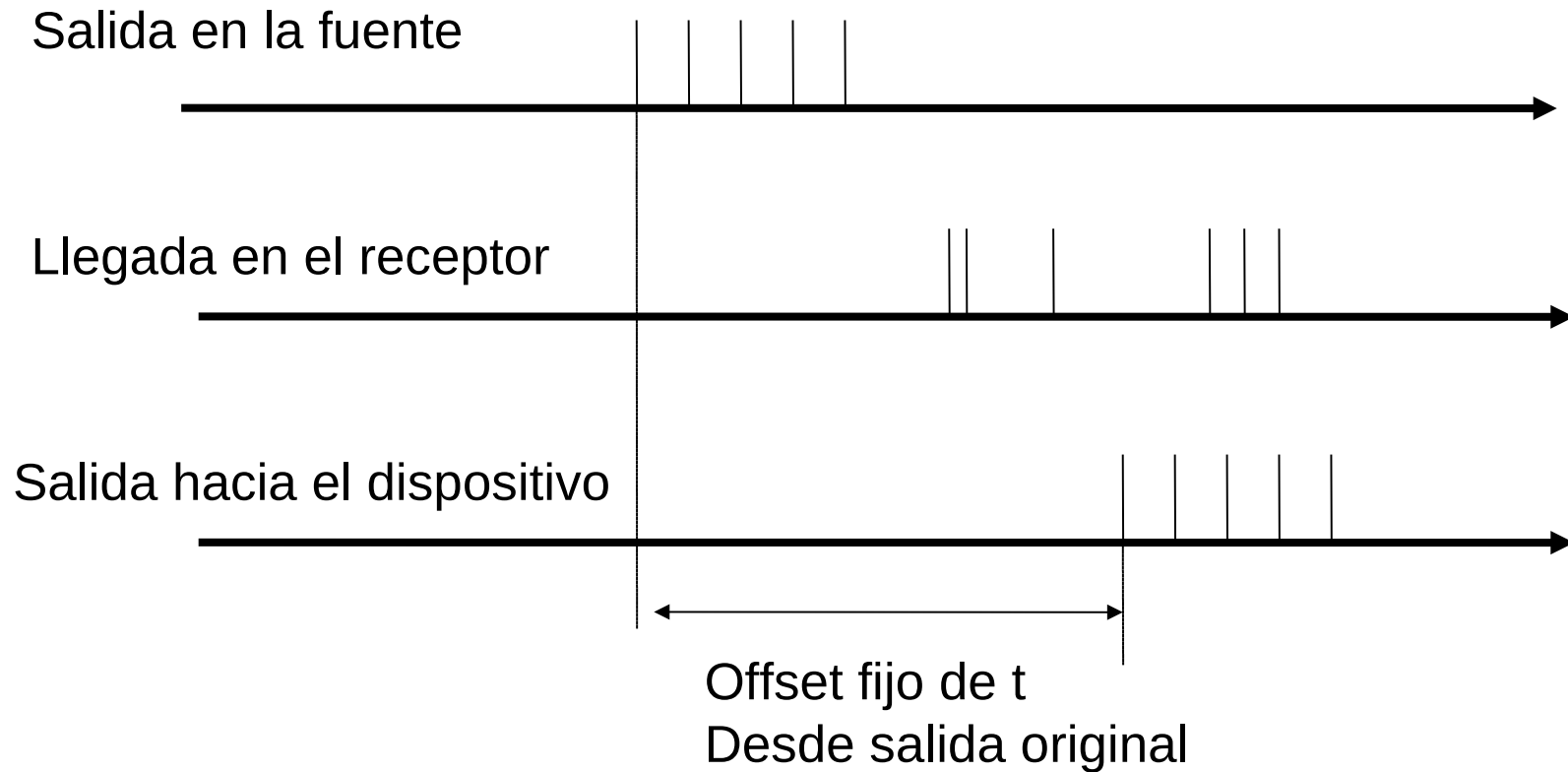
Servicios de t real



Tiempo de retardo

Servicios interactivos

Posible Solucion: Uso del buffer suavizador



Limitantes de la solución con buffer suavizador

- Los paquetes que demoran menos que el retardo máximo se almacenan y sacan en el momento adecuado (offset)
- Los paquetes que superan el tiempo de offset ya no pueden ser usados para reconstruir la señal
- Debe escogerse apropiadamente el tiempo de offset:
 - La red debe dar a conocer el máximo retardo de un paquete a la aplicación (acuerdo de servicio)
 - La aplicación debe estimarlo con base en estadísticas de paquetes anteriores

MBone

- MBone fue una red experimental multicast puesta a punto en 1993
- Se realizaron experimentos de transmisión de video (reuniones IETF, lanzamientos de naves espaciales, operaciones en pacientes)

Lecciones de MBone

- Las aplicaciones de tiempo real no trabajan bien sobre Internet (retardo variable y pérdidas por congestión)
- Muchas aplicaciones de tiempo real trabajan sobre UDP y no reaccionan ante la congestión como TCP
- Las pérdidas de paquetes grandes durante la congestión no permiten el uso de estas aplicaciones
- Ciertas aplicaciones de t real han incorporado lazos de realimentación cerrados y pueden adaptarse a condiciones cambiantes, pero trabajan en rangos limitados de cambios

Lecciones de MBone

- El mal uso del multicast puede causar grandes interrupciones a una gran porción de Internet
- Aplicaciones como video digital son capaces de generar una alta tasa de tráfico. En los 90's subió hasta saturar algunos backbones.
- La debilidad en el control explícito de tráfico dentro de la red puede causar que las aplicaciones basadas en UDP se apoderen del ancho de banda de las aplicaciones basadas en TCP cuando compiten por dicho recurso (TCP reduce su envío de paquetes durante congestión y UDP no tiene esta característica).

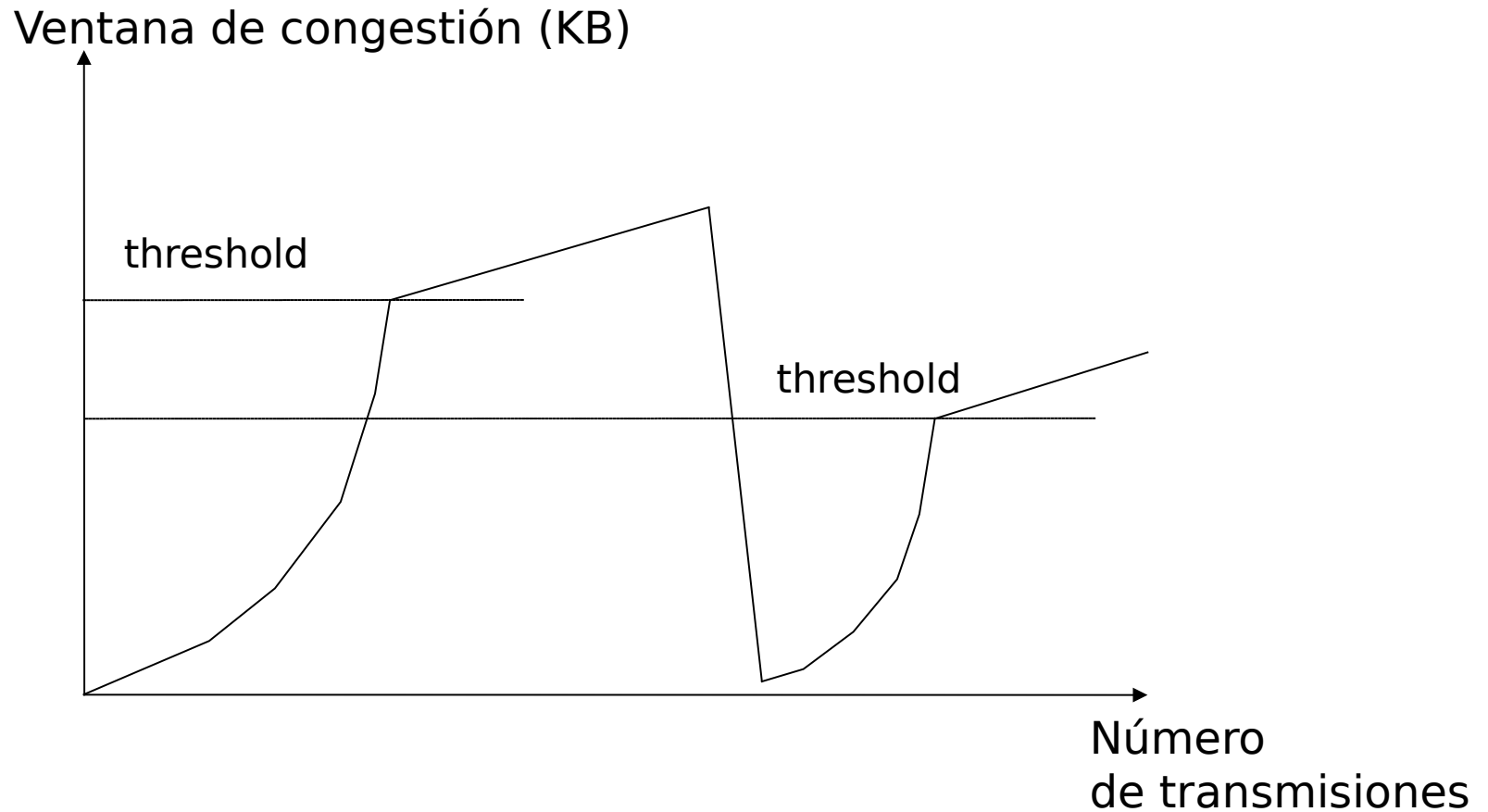
2. Control de Congestión en TCP

- Una comunicación puede volverse lenta por dos razones:
 - Por sobrecarga en la memoria del receptor
 - Por congestión en la red
- Un Receptor mantiene dos ventanas:
 - Ventana del receptor
 - Ventana del transmisor
- El transmisor envía el número de octetos menor entre los indicados por las dos ventanas:
 - Si el Rx indica “Enviar 8K”, pero la ventana de congestión dice que no se puede más de 4K, el tx enviará sólo 4K (Y viceversa).

Algoritmo de control de congestión

- Conocido como “Slow Start” (Jacobson 1988)
- Procedimiento:
 1. Al establecer una conexión, el Tx inicia la ventana de congestión al segmento máximo permitido.
 2. El Tx envía un segmento máximo
 3. Si no hay vencimiento de temporizador de confirmación, la proxima vez se duplica el valor de la ventana de congestión (crecimiento exponencial)
 4. Si hay vencimiento del temporizador o se alcanza el tamaño de la ventana del receptor o un valor “threshold”, la ventana se incrementará pero en pasos de 1 segmento (crecimiento lineal).
 5. Al ocurrir un vencimiento del temporizador, el valor de threshold se coloca el la mitad de la ventana de congestión y la ventana de congestión se reinicia en 1 segmento. Se vuelve al paso 3.

Ventana de Congestión



Evolución de las redes y el concepto de Calidad del Servicio

Jhon Jairo Padilla Aguilar, PhD.

Años 70's

- Una red con un solo servicio
- Recursos de red: fijos
- Red Invariante temporalmente (no cambia su estructura o topología)
- Tecnología de conmutación: circuitos (analógicas)
- Uso de redes digitales: Telegrafía
- Redes de difusión: Radio, TV

Años 70's

- Tipos de comunicaciones: punto-punto, punto-multipunto
- Gestión descentralizada por Servicio/Red
- Problemáticas de dimensionado: Bloqueo de la red
- Solución: Teoría de Colas (modelo voz: Poisson)
- **Calidad del servicio:**
 - Fija
 - No hay tipos de usuarios
 - Tarificación por volumen de tráfico o por tiempo

Años 80's

- Una red con múltiples servicios
- Recursos ofrecidos al usuario: invariantes en el tiempo
- Servicios basados en conmutación de circuitos (ISDN-banda estrecha)
- Servicios basados en conmutación de paquetes (IP)
- Algoritmos de encaminamiento de paquetes (Costo mínimo)
 - Pto-ptto: camino mínimo mediante teoría de grafos
 - Pto-multipunto: árbol que minimice el costo (árbol de expansión)
- Todas las soluciones usan teoría de grafos

Años 80's

- Calidad del servicio:
 - Se consideran aspectos como:
 - Recursos (BW)
 - Tiempo (Retardos)
 - Integridad (Pérdidas)
 - *Conmutación de circuitos*: ISDN-Banda estrecha, QoS fija, redes con posibilidad de bloqueo
 - *Conmutación de paquetes*: Uso de IP, QoS proporcional al número de usuarios activos que utilizan el sistema, no hay bloqueo, hay congestión.

Años 80's

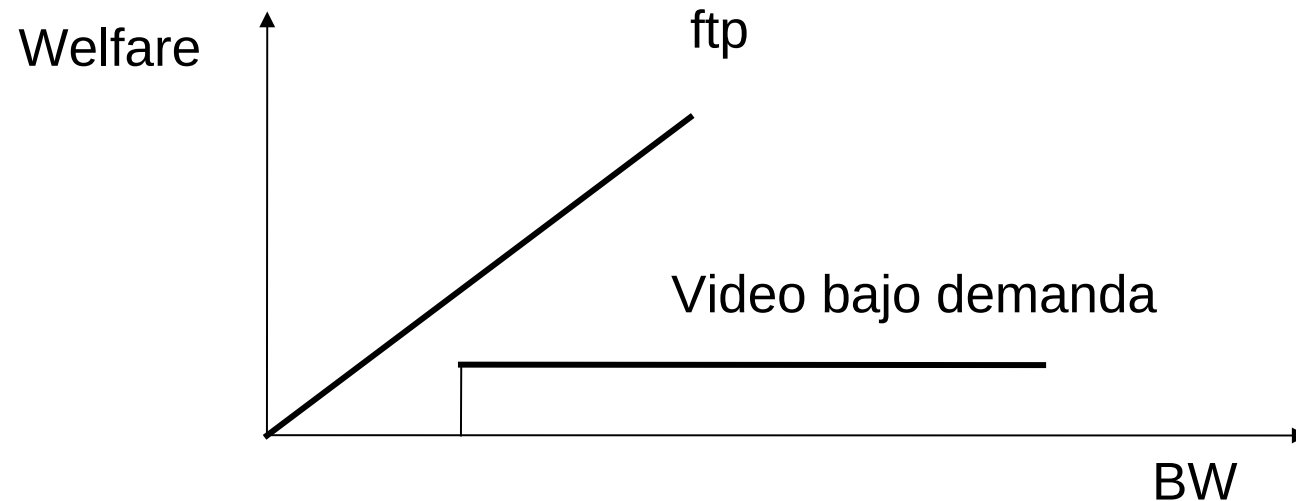
- La congestión se controla con el control reactivo de TCP (algoritmo slow-start)
- Modelos de tráfico: Poisson
- Gestión de la red:
 - Cx de circuitos: igual
 - Cx de paquetes: No hay gestión

Años 90's

- Una red con múltiples servicios con QoS
- Diferenciación de flujos y de usuarios
- Tecnología ATM tanto para conmutación de circuitos como de paquetes
- Arquitectura IP con QoS:
 - Plano de usuario (Info. De usuario)
 - Plano de señalización (Info. De Señalización)
 - Plano de gestión (Info. De operación y mantenimiento de la red)

Años 90's

- Políticas de planificación: reglas para asignación de recursos a los usuarios según los parámetros de QoS (criterios de justicia- Fairness, criterios de satisfacción- Welfare)

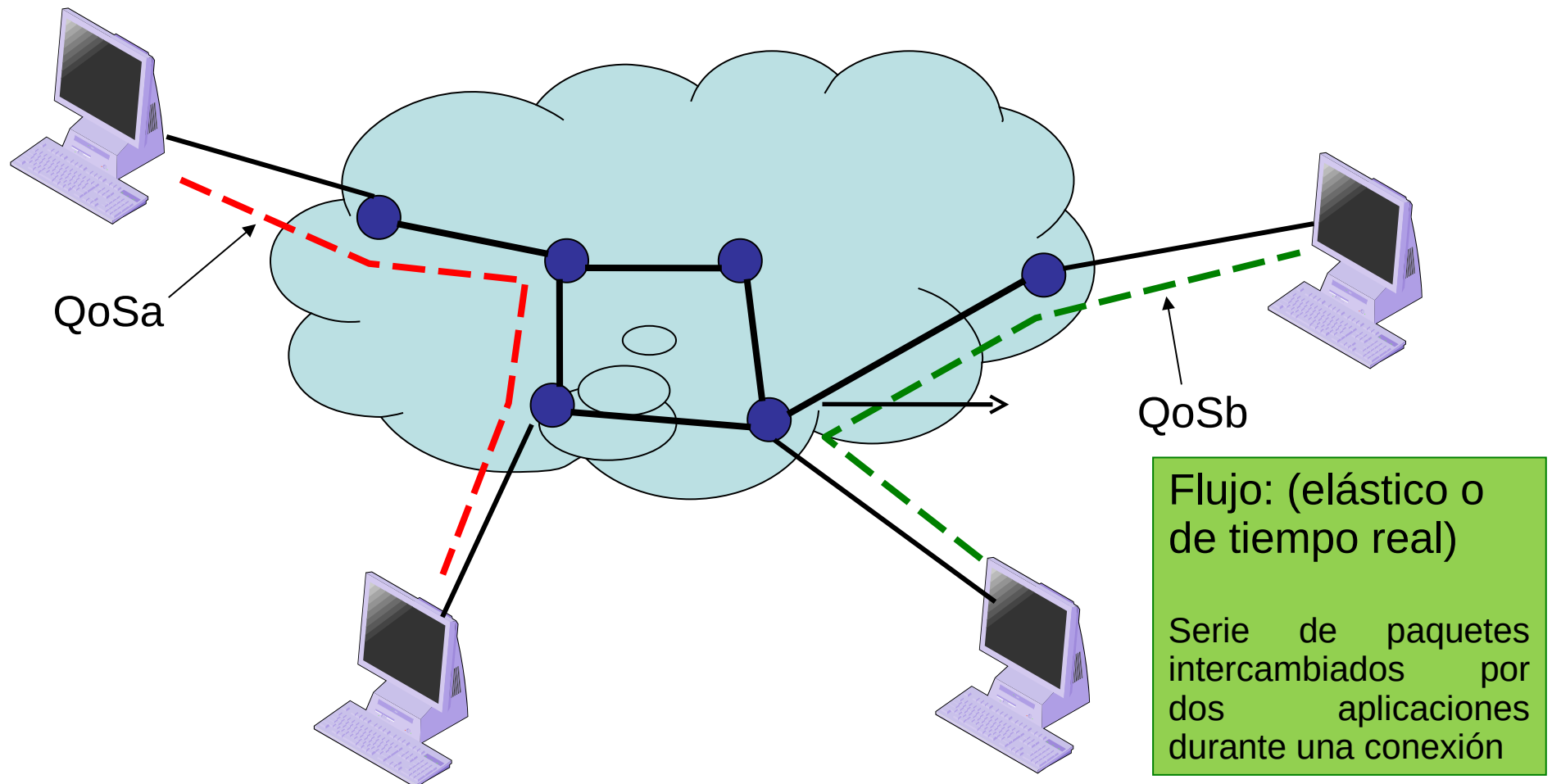


Soluciones de QoS

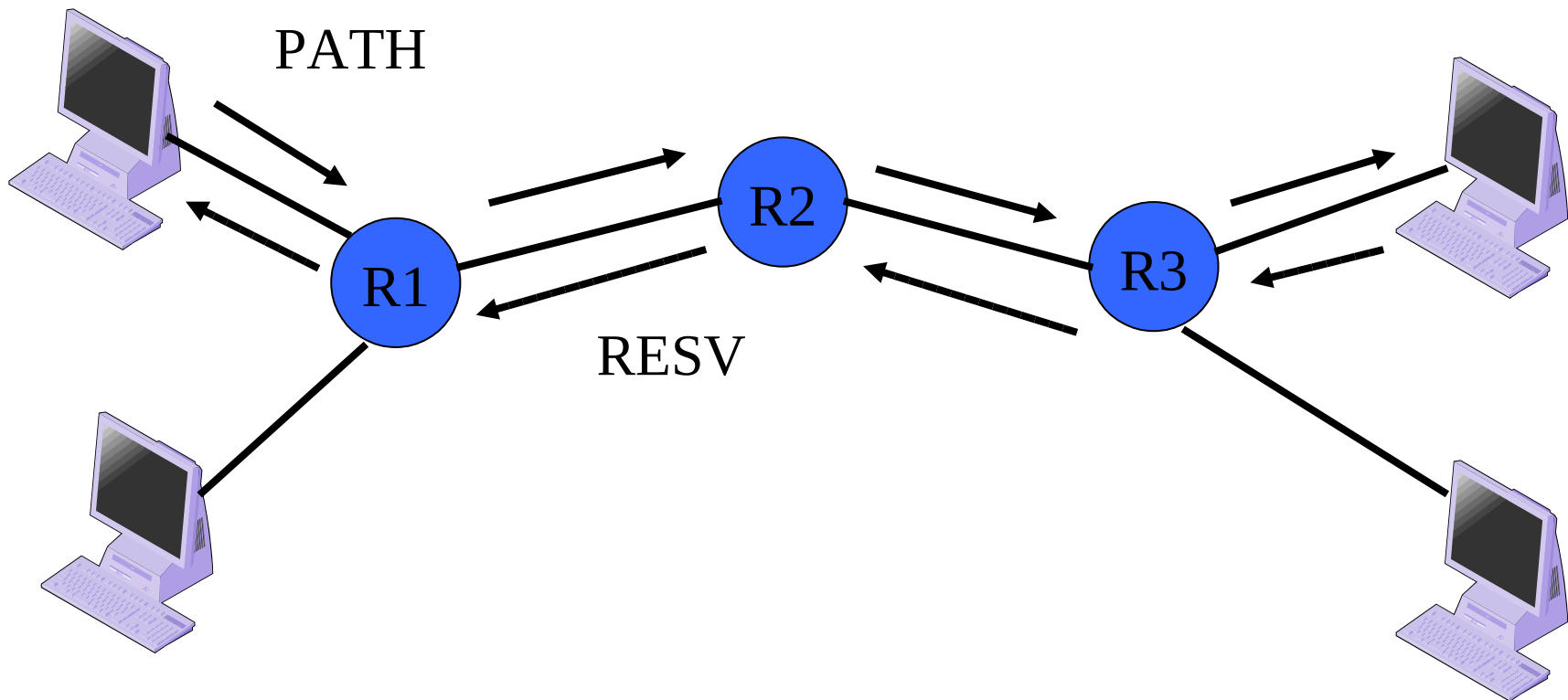
1. Arquitectura de servicios Integrados

- Hay una sola clase por usuario
- Se crea un circuito virtual por usuario y por flujo
- Se usa RSVP como protocolo de señalización para establecer el circuito virtual
- Uso de control de admisión (CAC)
- Ventajas: Sencillez en implementación
- Desventajas: #Estados = # flujos (no es escalable)

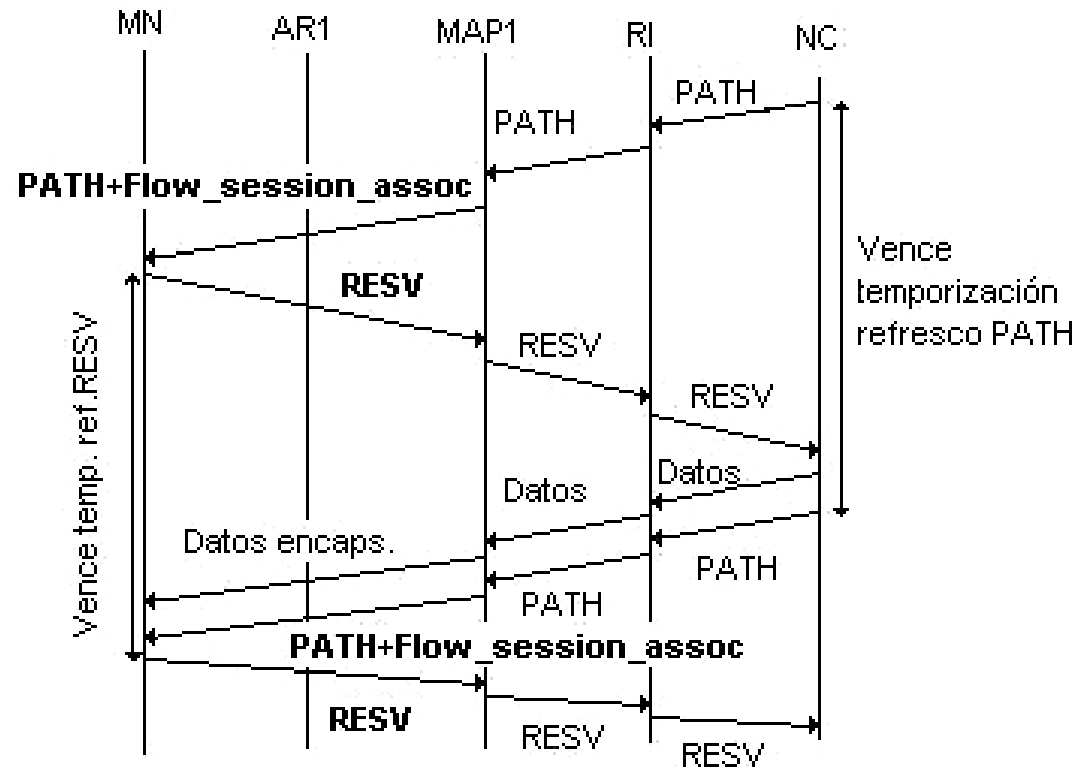
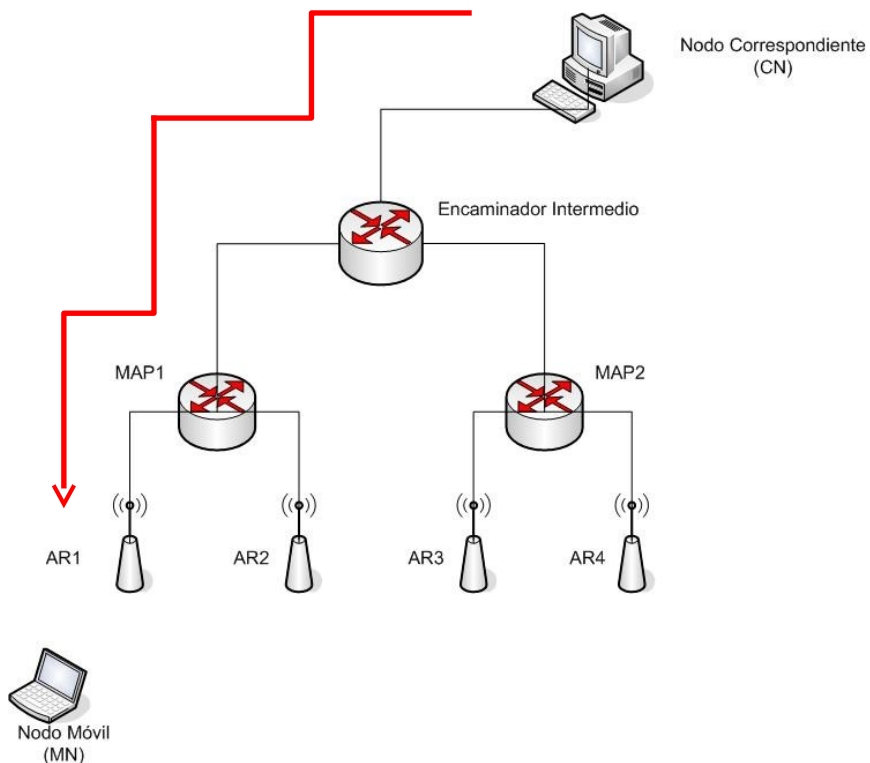
1. Arquitectura de servicios Integrados



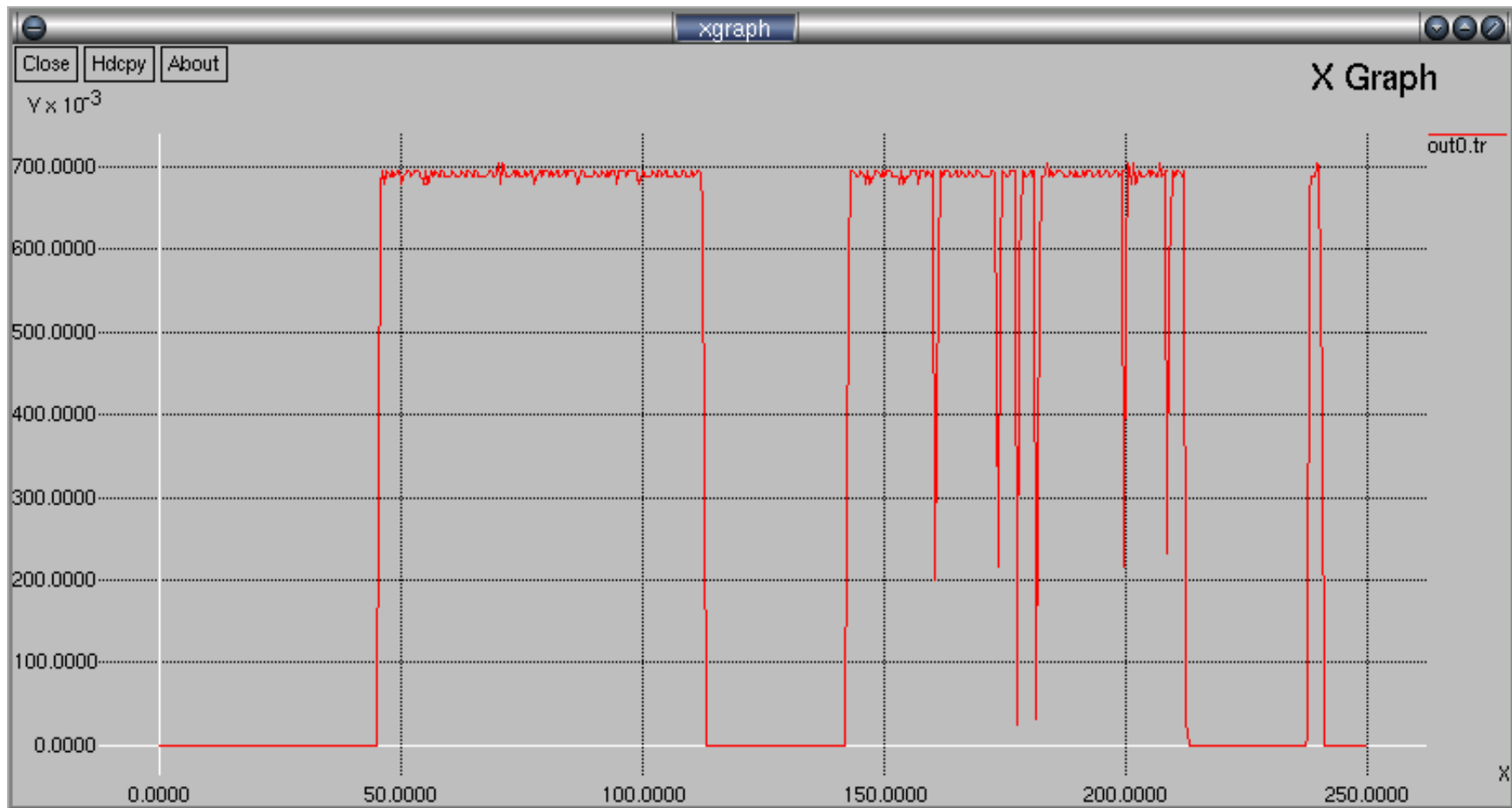
El protocolo RSVP: Reserva Punto a Punto



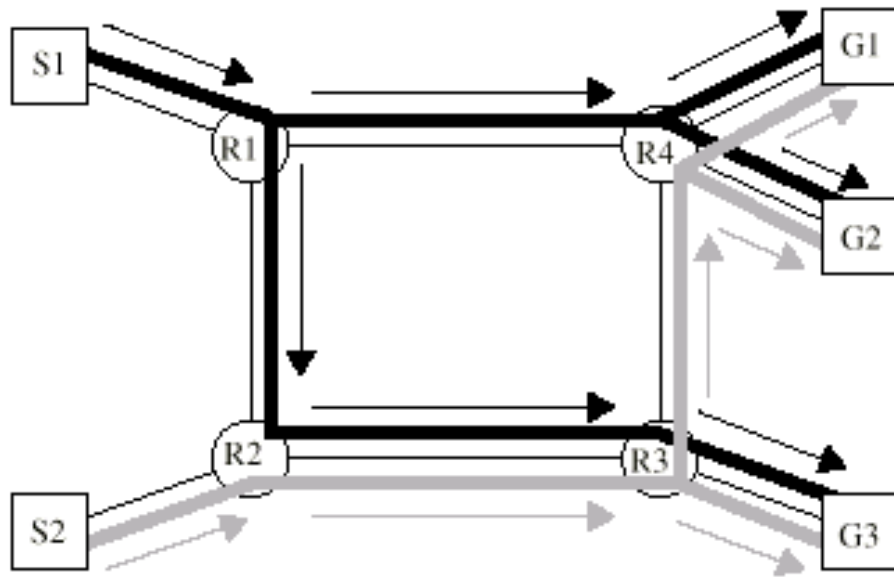
Establecimiento de la reserva



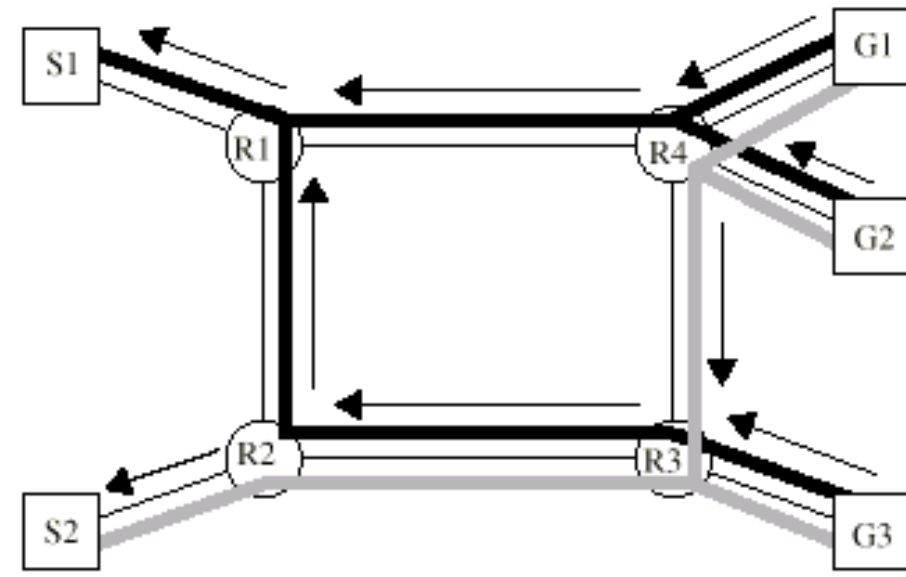
Variación del ancho de banda durante un Handoff



El protocolo RSVP: Reserva Punto-Multipunto

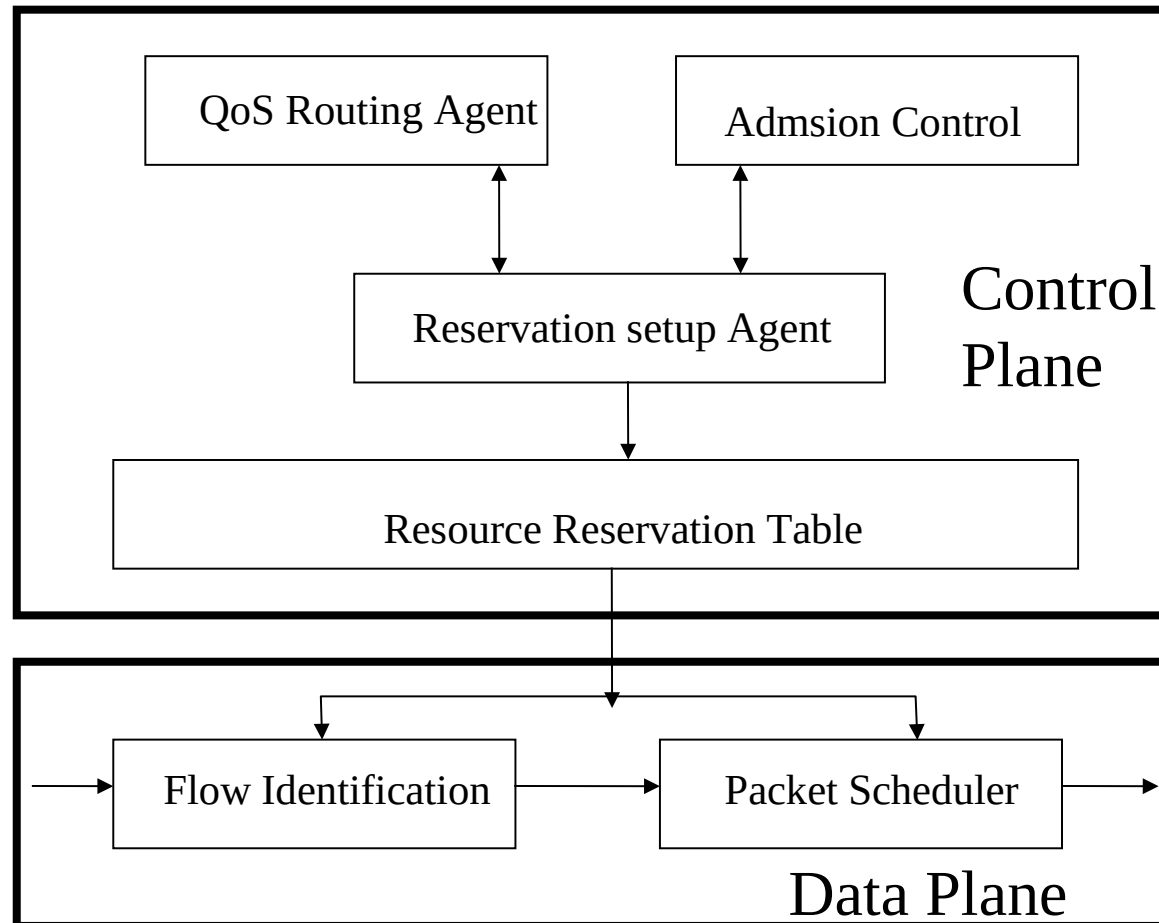


(a) Data distribution to a multicast group

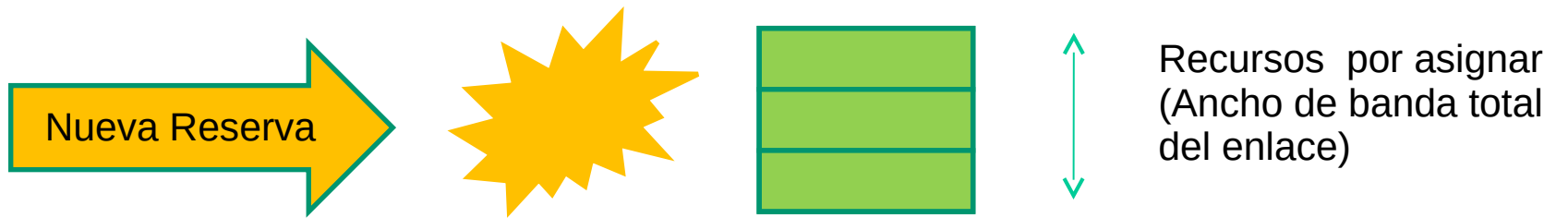


(b) Merged Resv Messages

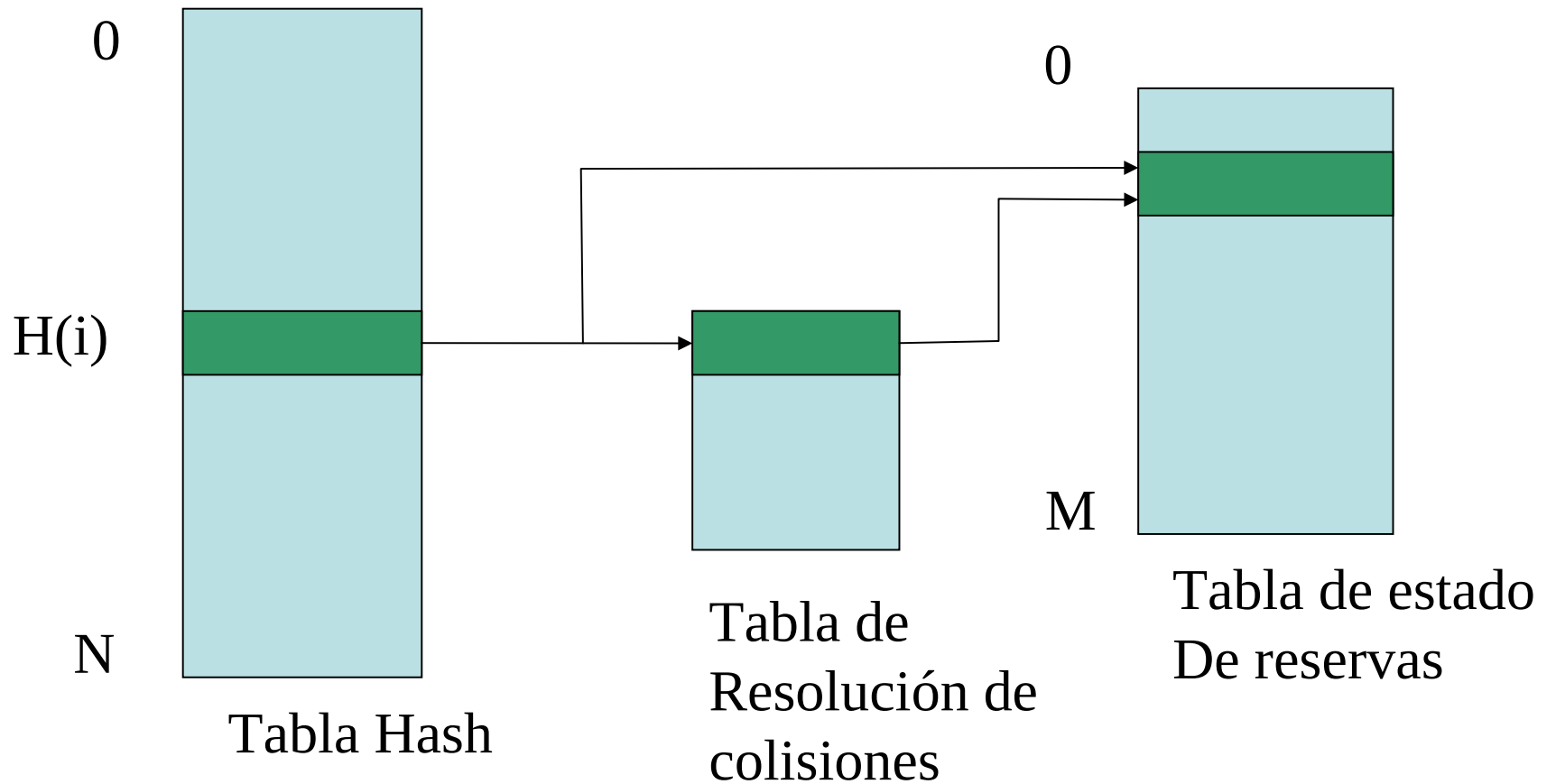
Componentes de un Router IntServ



Control de Admisión



Identificación de flujos



Un flujo se identifica por la quintupla (se diferencia por aplicación)

Identificación de flujos

Tabla de Reservas

#Estado Reserva	Enlace saliente	Fuente	Enlace entrante	Salto previo	Recursos Reservados	Tiempo refresco	Estado Solicitud
7	L2	H1	L1	H1	B	1000	Solicitada
8							
9	L2	H4	L6	R2	B	500	Reservada

Tabla hash

Etiqueta de flujo	colisión	#Estado de Reserva
5000	No	7
5025	Si	Nulo

Tabla de resolución de colisiones

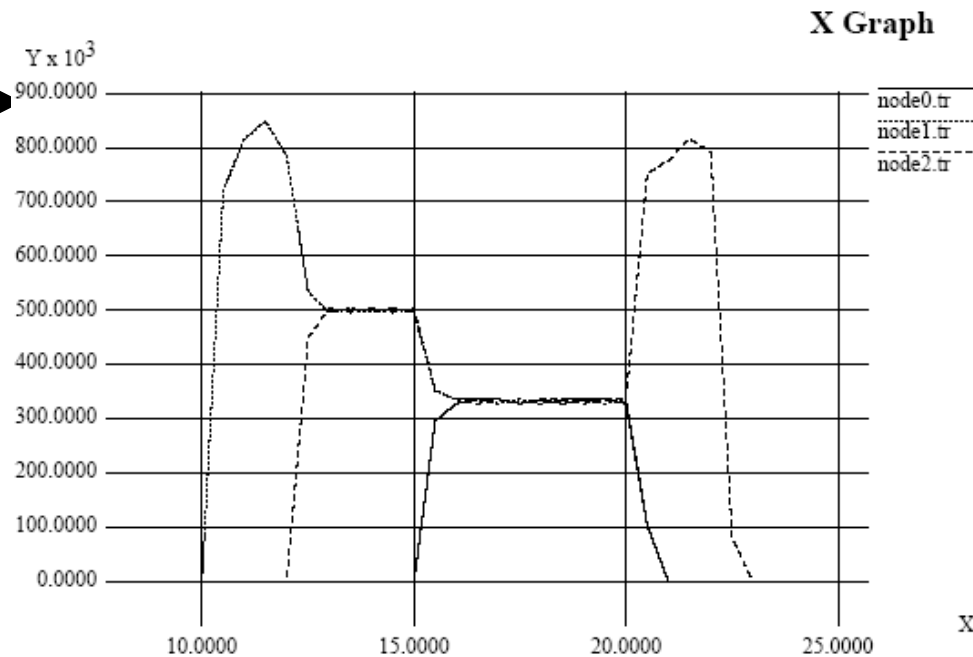
Etiqueta de flujo	Quíntupla	#Estado de Reserva
5025	O1,D1,po1,pd1 ,pID1	9
5025	O2,D2,po2,pd2, pID2	8

Planificación de paquetes

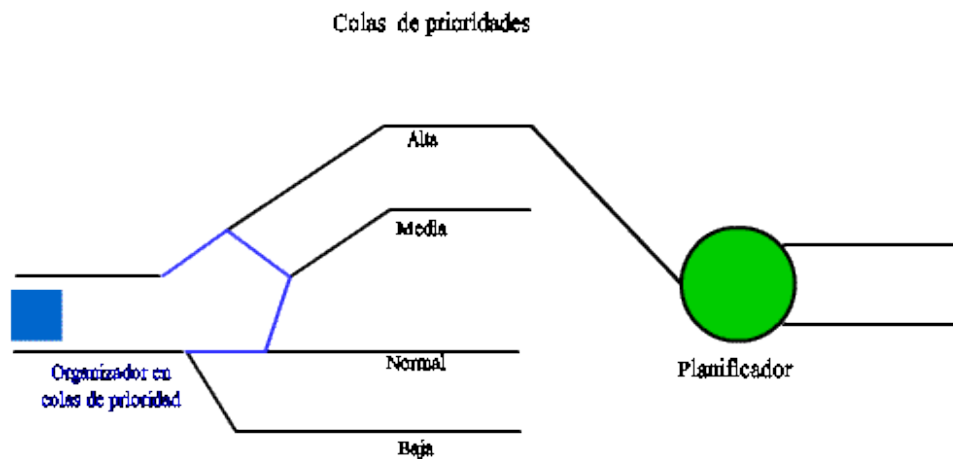
Modelo de fluidos



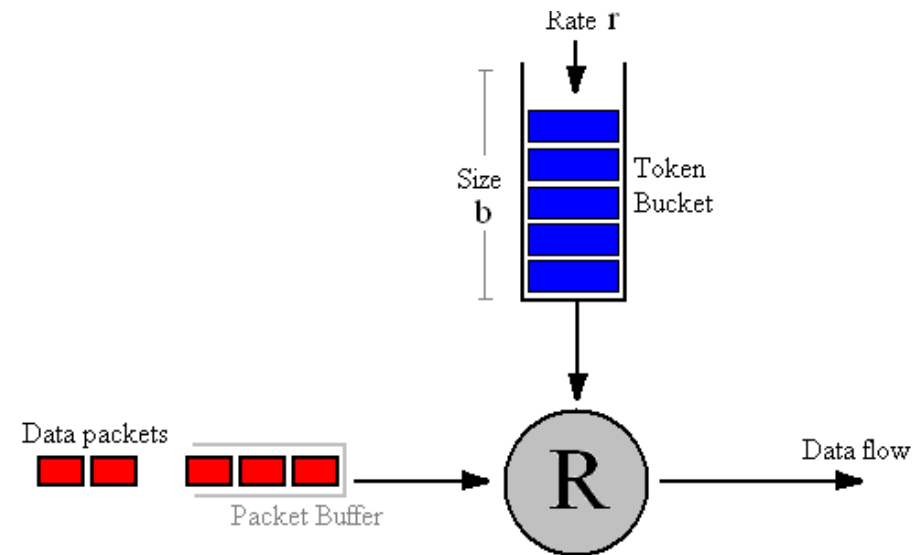
Modelo Paquetizado



Algunos Planificadores



Priority Queueing



GPS

$$R_i = \frac{\phi_i}{\sum_{j=1}^V \phi_j} R$$

2. Arquitectura de servicios Diferenciados

- Se crea un conjunto reducido de clases
- Hay grupos de usuarios
- Pocas clases (AF, EF, BF) manejadas por prioridades
- Ventaja: Escalable
- Requiere:
 - Control de admisión (CAC)
 - Control de Policía (UPC, uso de parámetros)
 - Manejo de troncales con QoS mediante MPLS

Forwarding Classes

- El tráfico en DiffServ se divide en unas pocas clases de re-transmisión (*forwarding classes*):
 - AF (Assured Forwarding)
 - EF (Express Forwarding)
 - BF (Best Effort Forwarding)
- Una clase de re-transmisión representa un tratamiento de re-transmisión predefinido en términos de:
 - Pérdidas de paquetes
 - Asignación de ancho de banda
- El tipo de clase de re-transmisión se codifica en un campo de la cabecera del paquete IP.

Tratamientos de retransmisión (Forwarding Classes)

- En DiffServ se definen tratamientos de re-transmisión y no servicios End-to-End.
- Los servicios pueden ser contruidos combinando clases de re-transmisión y control de admisión.
- En IntServ se definen servicios (garantizado, carga controlada). El tratamiento de los paquetes no es parte de los estándares.

Confusión

- Suele confundirse el concepto de Servicio y el de Tratamiento de retransmisión
- *Tratamiento de retransmisión:* Se refiere a comportamientos de algoritmos implementados en los nodos.
- *Servicio:* Se refiere al desempeño total que un tráfico de un cliente tiene.
- Los tratamientos de retransmisión son la base para construir servicios.

Ejemplo

- Un tratamiento de retransmisión es el denominado *express forwarding*.
- *Express forwarding* es el tratamiento de los paquetes con prioridades (paquetes con prioridad alta se retransmiten primero que los de prioridad baja).
- Supongamos un servicio denominado *no-loss service*. Este garantiza a los clientes que no hay pérdidas de paquetes.

Ejemplo

Servicio	Tratamiento de retransmisión usado
No-loss service	Express forwarding (alta prioridad) + control de admisión (limita el número de paquetes de alta prioridad)
No-loss service	FCFS queuing + una red con recursos suficientes para atender todas las demandas de tráfico

Servicios vs. tratamientos

- No necesariamente hay una correspondencia 1 a 1.
- Un servicio cambia en el tiempo dependiendo de las demandas del mercado.
- Un tratamiento de retransmisión se implementa en los nodos y no es fácilmente cambiabile.
- Los tratamientos de retransmisión envuelven acciones limitadas: marcado, recorte, reordenamiento.

Per-Hop Behaviors (PHBs)

- En DiffServ se le llama PHB al tratamiento de retransmisión externamente observable en un nodo.
- Cada PHB se codifica con un valor de 6 bits llamado DSCP (Differentiated Services code point).
- Todos los paquetes con el mismo codepoint pertenecen a un *agregado de comportamiento (behavior aggregate)*, y todos ellos reciben el mismo tratamiento.

DiffServ en IPv4

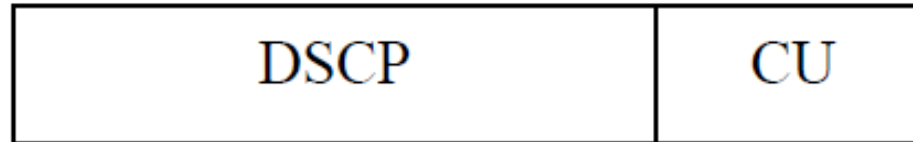
Campo TOS (Type of Service) de IPv4

Precedencia	D	T	R	0	0
-------------	---	---	---	---	---

Definición del campo *IP TOS*.

Bit	Descripción
0-2	Precedencia
3	0 = Retardo Normal 1 = Retardo Bajo
4	0 = Tasa de Transferencia Normal 1 = Tasa de Transferencia Alta
5	0 = Confiabilidad Normal 1 = Confiabilidad Alta
6-7	Reservado para uso futuro

Campo DSCP de DiffServ



- El estándar de *Servicios Diferenciados* redefine el campo existente *IP TOS* para indicar los *Comportamientos de Re-Transmisión*.
- El nuevo campo, denominado *DS (Differentiated Services)*, vuelve obsoletas las definiciones existentes del octeto *TOS* y también el octeto *Clase de Tráfico de IPv6*.
- Los primeros 6 bits del campo *DS* son usados como un *DSCP (Differentiated Services Code Point)*, es decir, un valor que se utiliza para codificar el *PHB* con que debe tratarse un paquete en cada nodo *DiffServ*.
- Los restantes dos bits (campo *CU*) no están siendo utilizados actualmente.

Per-Hop Behaviors (PHBs)

- Los PHBs son usados como bloques constitutivos para brindar asignación de servicios para diferentes servicios.
- Los servicios E2E pueden ser construidos combinando diferentes PHBs con acondicionamiento de tráfico y suministro de la red.
- Un PHB podría, por ejemplo, garantizar un mínimo de BW para un agregado de comportamiento.

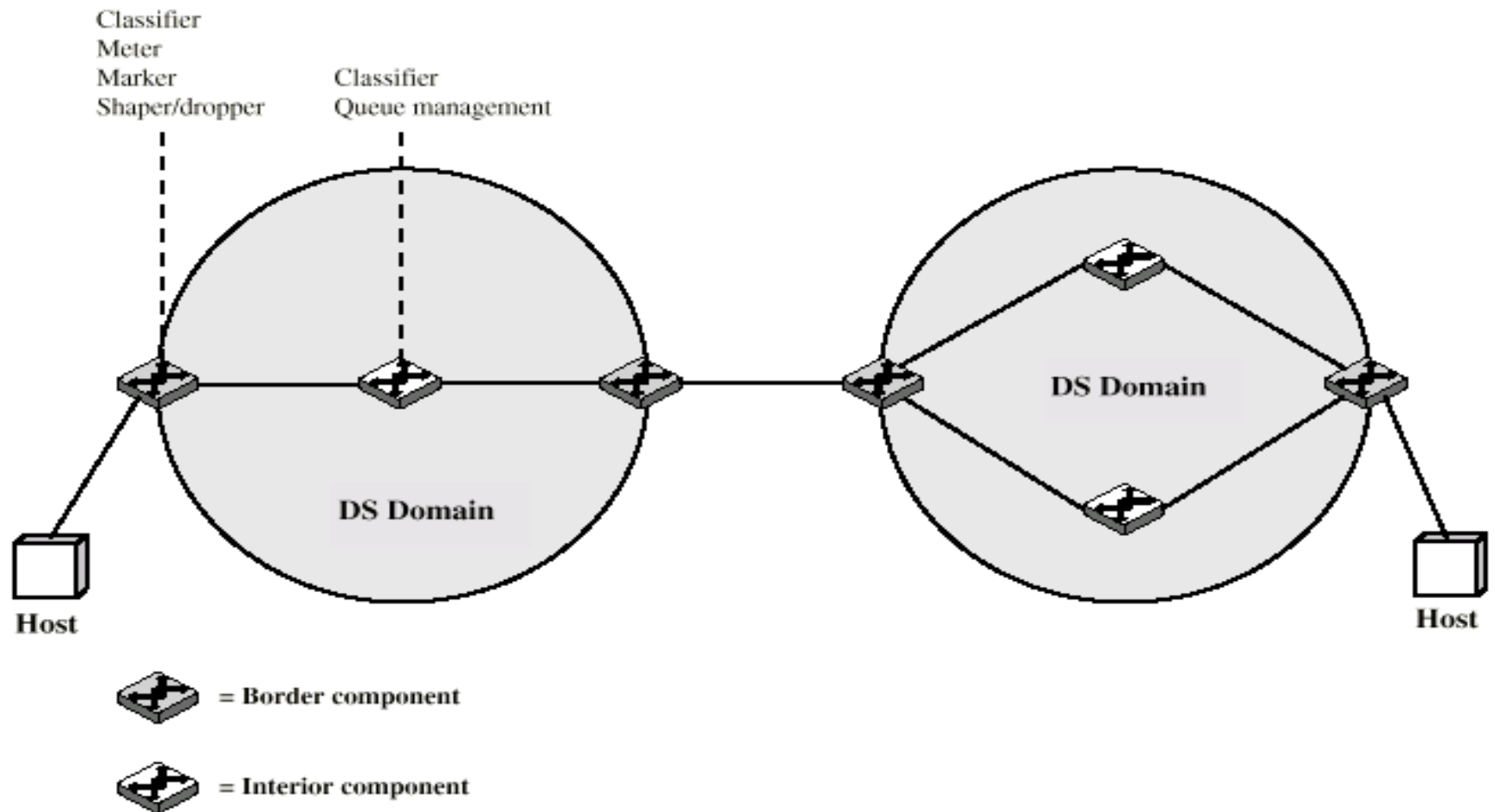
Per-Hop Behaviors (PHBs)

- Un PHB se implementa típicamente mediante la gestión de un buffer y la planificación de paquetes.
- Para un PHB particular, pueden usarse una variedad de mecanismos para obtener el mismo tratamiento de retransmisión.

Grupo PHB

- Un conjunto de PHBs podría formar un *grupo PHB*.
- Un grupo PHB es un conjunto de PHBs que comparten una restricción común (p.ej. probabilidad de pérdida o ancho de banda).
- Si en un mismo dominio DS existen varios grupos PHB, es necesario especificar la relación entre ellos.

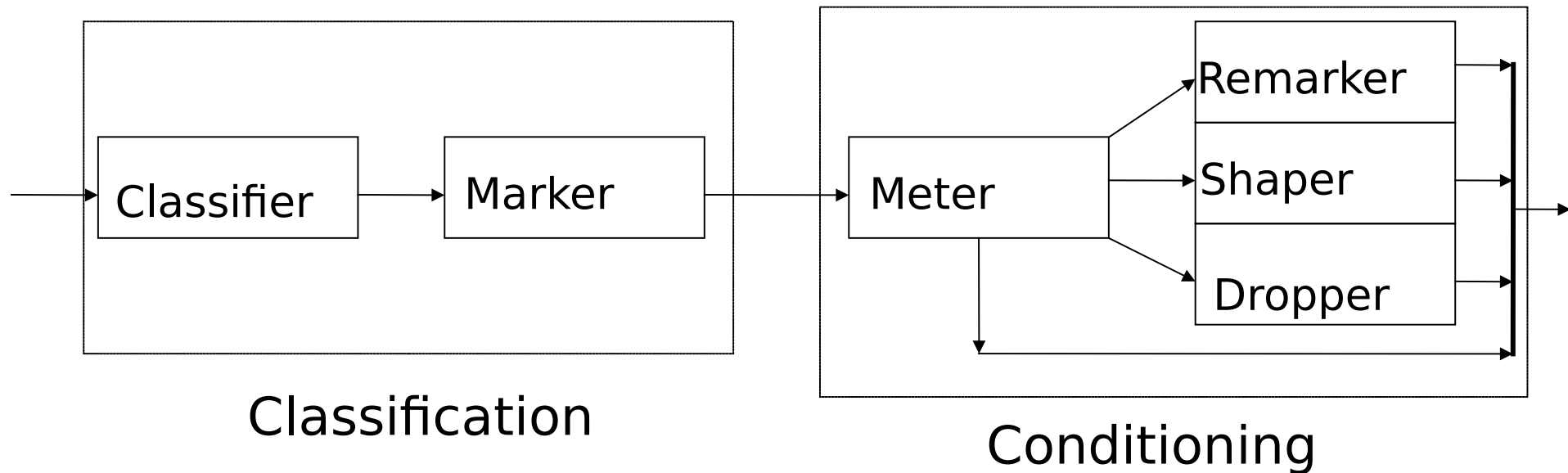
Arquitectura de una red DiffServ



Nodos Frontera y Nodos Interiores

- Funciones nodos frontera:
 - Mapeo de los paquetes a una de las clases de retransmisión soportadas en la red.
 - Asegurar que el tráfico está conforme al SLA para ese cliente específico.
- Una vez los paquetes pasan los nodos frontera hacia el interior de la red, la asignación de recursos en los Nodos Interiores es hecha con base en las clases de retransmisión.

Componentes de un nodo frontera



Componentes de un Nodo Frontera

Elemento	Función
Clasificador	Divide el flujo de paquetes entrante en múltiples grupos basándose en reglas predefinidas
Medidor (Meter)	Compara el flujo de tráfico de un cliente con su perfil de tráfico. Los paquetes que cumplen el perfil se dejan ingresar directo a la red. Los paquetes que no cumplen deben pasar por el acondicionamiento (marking, shaping, dropping)
Marcador (Marker)	Fija el campo DSCP (codepoint) a un valor particular. Así se incluye el paquete en una clase de retransmisión. Los paquetes marcados como no conformes podrían ser desechados por la red ante congestión.
Recortador (Shaper)	Un recortador no permite que el paquete pase hacia la red hasta que cumpla con el perfil de tráfico (retarda los paquetes)
Desechador (Dropper)	Desecha los paquetes no cumplientes con el perfil de tráfico

Clasificador

- **Función:** Divide el flujo de paquetes entrante en múltiples grupos basándose en reglas predefinidas.
- Hay dos tipos:
 - BA (Behavior Aggregate)
 - MF (Multifield)

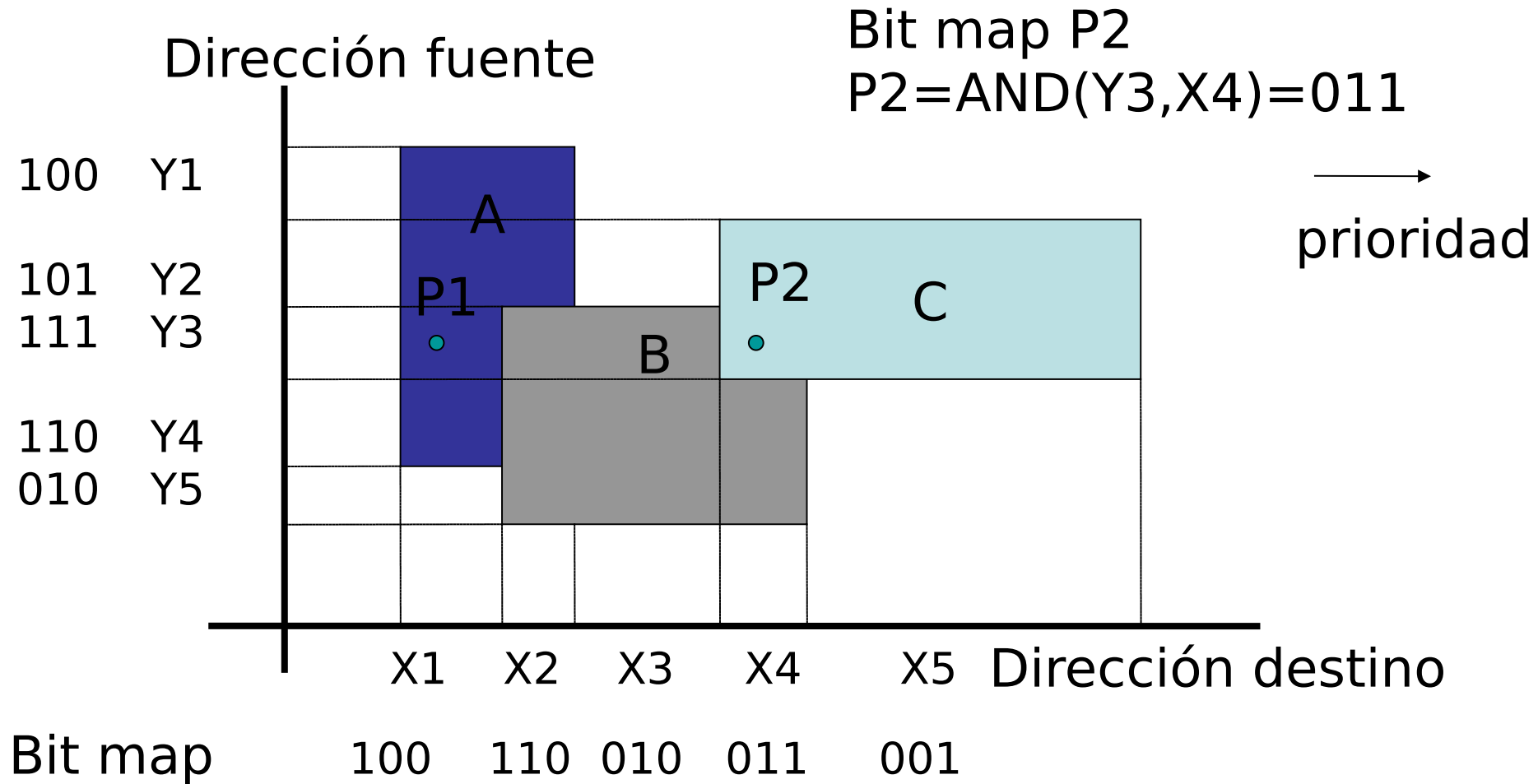
Clasificador BA

- Es el más simple
- Selecciona los paquetes basándose únicamente en el codepoint (DSCP).
- Para que esto funcione se requiere que los paquetes sean marcados (puesto el codepoint en un valor) antes de ingresar al clasificador.
- Dónde se marcan los paquetes?
 - Son marcados por la fuente
 - O Son marcados por el router de primer salto en la LAN
 - También podría hacerlo el mismo ISP

Clasificador MF

- Usa una combinación de uno o más campos de la quintupla (dir.dest., dir. Orig., pto orig, pto dest, id.protoc) en la cabecera del paquete para hacer la clasificación.
- Casos:
 - Marca paquetes con base en los tipos de aplicación (puertos).
Ej: Telnet, FTP.
 - Marca paquetes con base en direcciones particulares de origen, destino o prefijos de red.
- Es más versátil pero es más complejo que el BA ya que es un problema multidimensional, mientras que el BA sólo clasifica por un parámetro (codepoint).

Clasificación MF



Acondicionador de tráfico

- Realiza funciones de policía de tráfico para asegurar el TCA entre clientes e ISP.
- Consiste de 4 elementos:
 - Medidor (Meter)
 - Marcador (Marker)
 - Recortador (Shaper)
 - Desechador (Dropper)

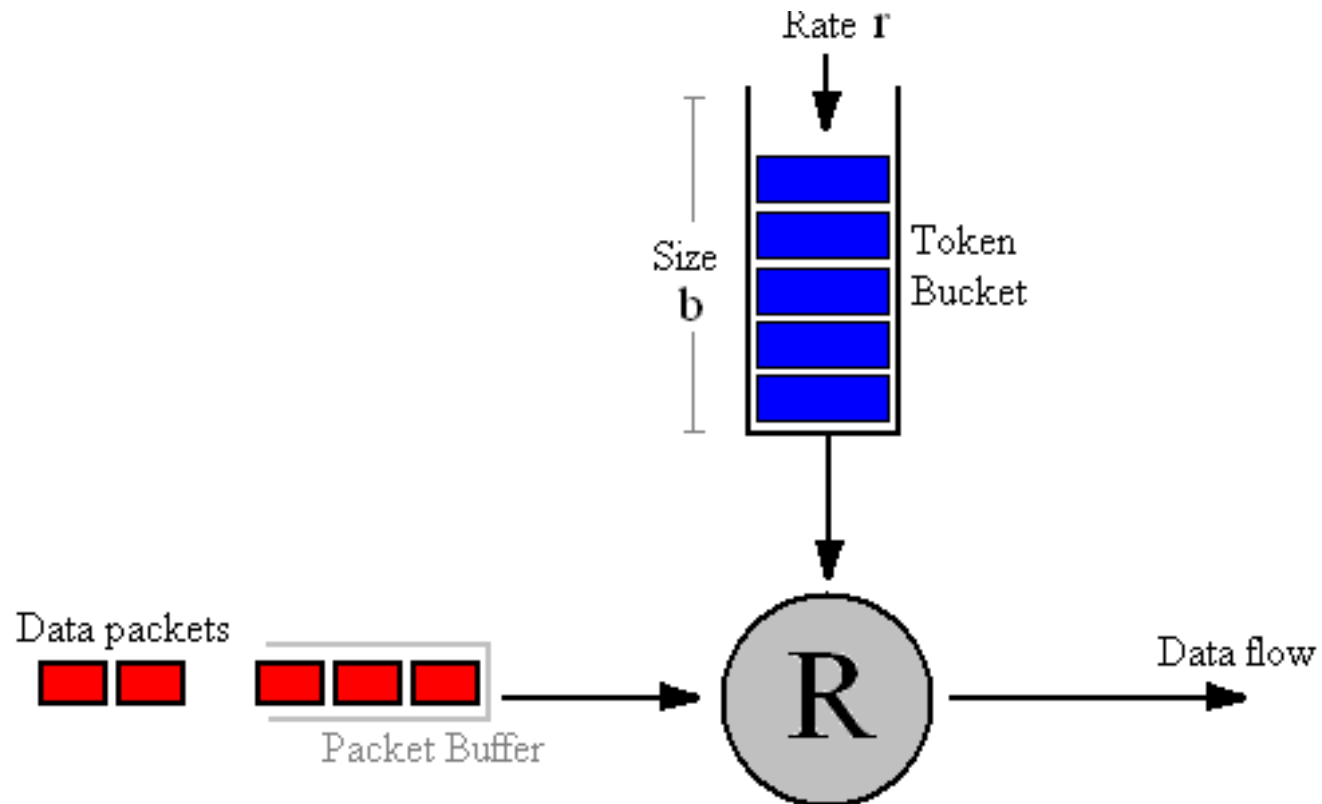


Acciones sólo
para paquetes
no conformes

Medidor (Meter)

- Compara el flujo de tráfico de un cliente con su perfil de tráfico.
- Los paquetes que cumplen el perfil se dejan ingresar directo a la red.
- Los paquetes que no cumplen deben pasar por el acondicionamiento (marking, shaping, dropping).
- La mayoría de medidores son implementados con Token Bucket, ya que los perfiles son descritos en los términos de este algoritmo.

Medición de tráfico con Token Bucket



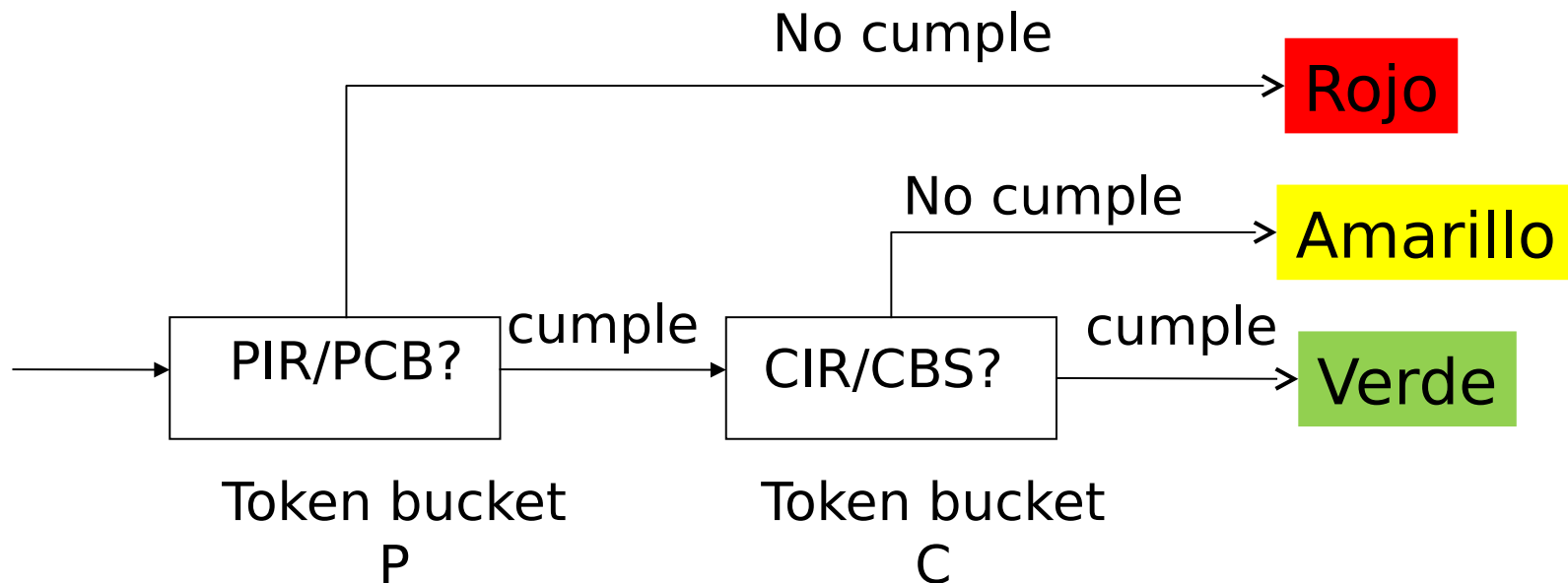
Marcador

- Fija el campo DSCP (codepoint) a un valor particular. Así se incluye el paquete en una clase de retransmisión.
- Podrían marcar paquetes no marcados o re-marcar paquetes ya marcados.
- También marcan paquetes no conformes con un valor especial de codepoint para indicar su no-conformidad.
- Los paquetes marcados como no conformes podrían ser desechados por la red ante congestión.

Marcador

- ¿Cuándo se re-marcan los paquetes?
 - Cuando hay cambio de dominio DS y en el nuevo dominio son paquetes no conformes.
 - Cuando hay cambio de dominio DS y hay diferentes codepoints en el nuevo dominio.
- Casos de cambio de PHB:
 - *Degradación de PHB*: El nuevo PHB es peor que el anterior (caso más común)
 - *Promoción de PHB*: El nuevo PHB es mejor que el anterior

Marcado de paquetes con Dual token algorithm



Recortador (Shaper)

- **Función:** Retarda los paquetes no-conformes hasta que cumplen con el perfil de tráfico.
- Un marcador sólo marca los paquetes pero los deja seguir a la red.
- Un recortador no permite que el paquete pase hacia la red hasta que cumpla con el perfil de tráfico.
- Puede requerirse un recortador al cambiar de dominio DS. El nodo de egreso debería recortar el tráfico para que cumpla con el perfil de tráfico apropiado para el siguiente dominio DS.

Desechador (Dropper)

- Desecha los paquetes no cumplientes con el perfil de tráfico
- Es más fácil de implementar que un shaper, pues no requiere un buffer mientras que el shaper sí.

SLA: Service Level Agreement

- En DiffServ los servicios se definen entre el cliente y el proveedor de servicios con un SLA (Service Level Agreement)
- Partes de un SLA:
 - TCA (Traffic conditioning Agreement)
 - Disponibilidad
 - Seguridad
 - Monitoreo
 - Auditoría
 - Contabilidad
 - Precio
 - Cobro

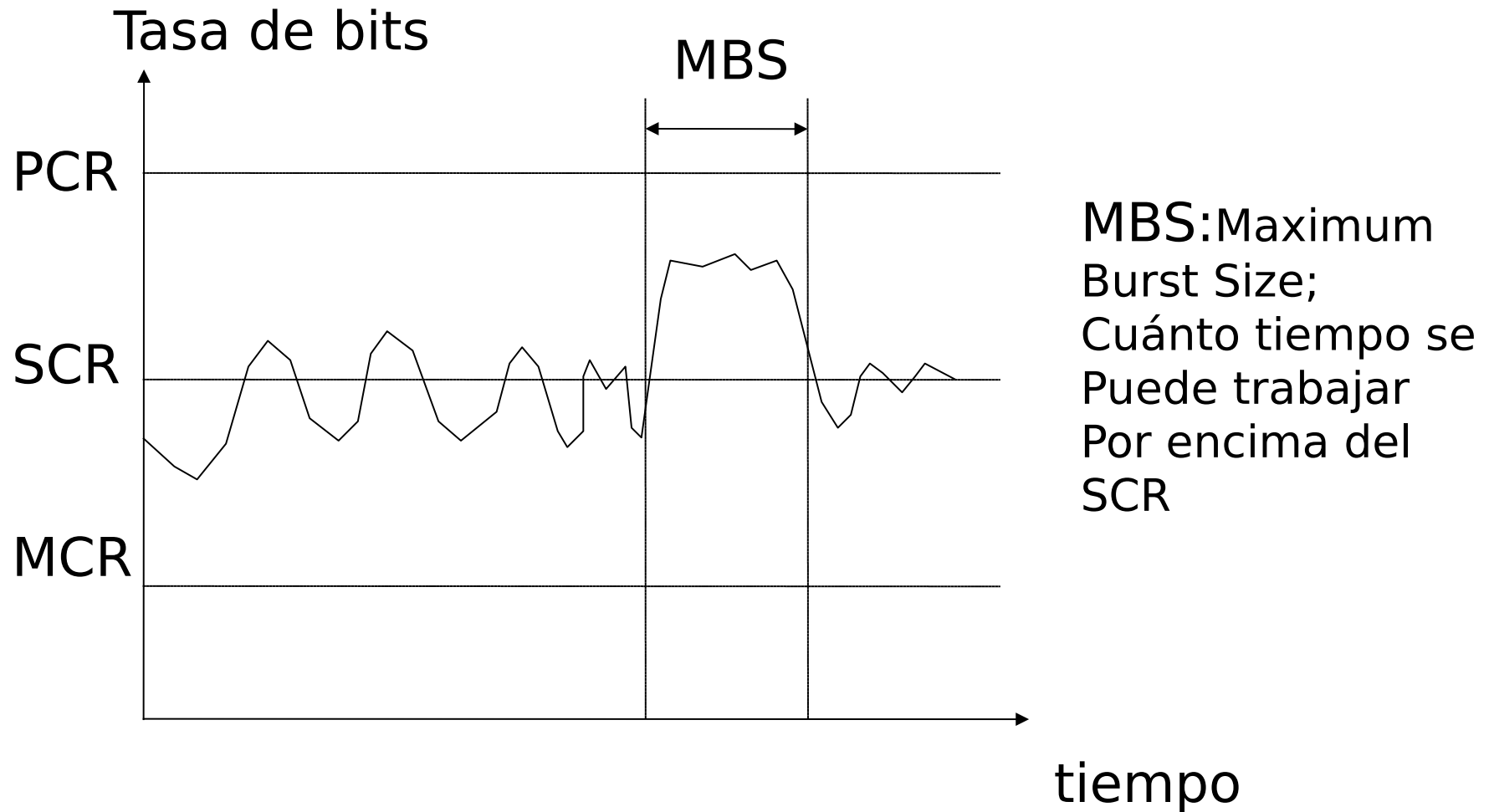
TCA

- Detalla parámetros de servicio para perfiles de tráfico y control de policía.
- Puede incluir:
 - Perfiles de tráfico, tales como parámetros del token bucket (difieren para c/clase)
 - Métricas de desempeño (throughput, retardo, prioridades)
 - Acciones para paquetes no-conformes
 - Servicios de marcación de paquetes y recorte suministrados por el proveedor.

Parámetros de QoS

Parámetro	Siglas	Significado
Tasa celdas pico	PCR	Tasa máxima a la que se enviarán las celdas
Tasa celdas sostenida	SCR	Tasa de celdas promedio a largo plazo
Tasa celdas mín.	MCR	Tasa celdas mínima aceptable
Tolerancia de variac. De retardo celdas	CVDT	Fluctuación de retardo máxima aceptable en las celdas
Tasa perdida celdas	CLR	Fracción de celdas que se pierden o entregan muy tarde
Retardo transf.celda	CTD	Tiempo que lleva la entrega (medio, máximo)
Variac.retardo celda	CDV	Variación tiempo de entrega de celdas
Tasa errores celdas	CER	Fracción celdas entregadas sin error

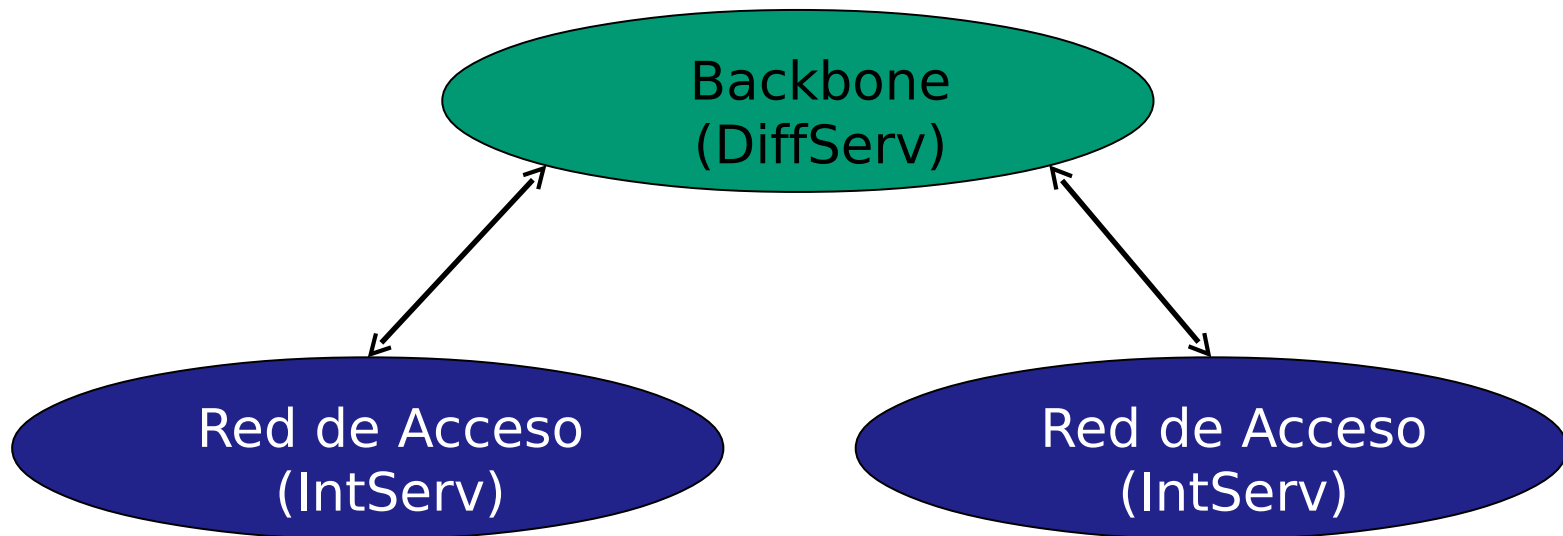
Parámetros de QoS



Concluyendo

Característica	Servicios Integrados	Servicios Diferenciados
Adaptación a caract. Usuarios (granularidad)	Fina	Burda (sólo 3 tipos de Forwarding Classes)
Escalabilidad	No es escalable (número moderado de usuarios)	Escalable (número de usuarios muy alto)
Tipos de Redes	Redes de Acceso (LAN, MAN)	Backbone de Internet, WAN

Redes Heterogéneas en QoS

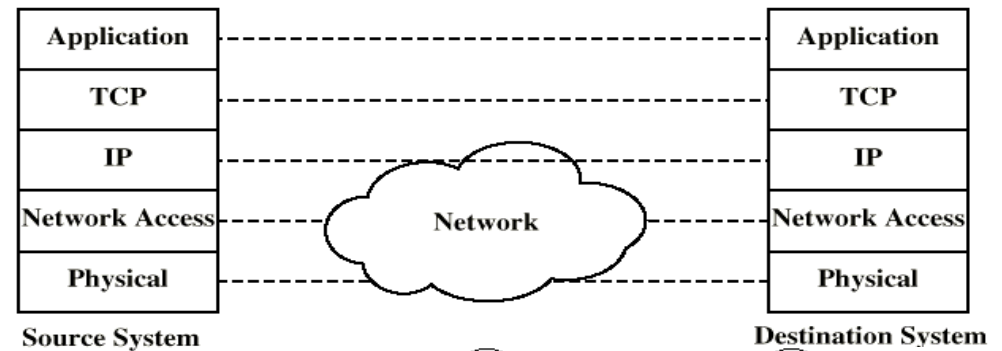
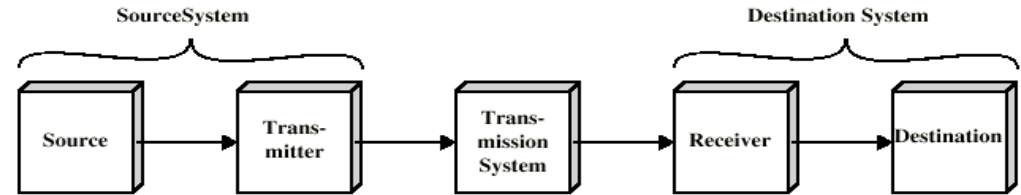


Características de IPv6 para QoS

Versión	Clase de Tráfico	Etiqueta de Flujo	
Longitud de la carga útil		Cabecera Siguiete	Límite de Saltos
Dirección de Orígen			
Dirección de Destino			

Tendencias complementarias

- Cross Layer



- MPLS e ingeniería de tráfico

