Ingeniería de Tráfico.

Modelos para calidad de servicio en redes IP: **DiffServ**.

- Introducción. Terminologías y definiciones.
- Funciones y políticas de control.
- PHB. Usos de los PHB.
- Conclusiones.
- Ventajas e inconvenientes.
- IntServ vs DiffServ.
- Referencias bibliográficas.
- Anexos.

DiffServ: introducción.

- **Modelo *Differentiated Services* (DiffServ o DS)**, RFC 2474 de 1998.
  - Modelo para QoS en redes IP mediante **Sx implícita** en cada paquete.
    - **No señalización explícita** mediante protocolo para ello como es el caso del modelo IntServ.
  - Basado en mecanismos de **clasificación** para luego gestionar el tráfico con QoS.
  - Basado en clases de tráfico o clases de reenvío.
    - Requiere manejo de paquetes en los *routers* por clases, no por flujos → **Escalabilidad**.
    - Cada clase con reglas específicas de reenvío (p.e: prioridad de descarte, ancho de banda asignado).
    - No define clases de servicio como IntServ → **Mayor flexibilidad de cara a nuevos servicios.**
    - No se basa en reservas → **No da garantías absolutas en cuanto a retardo y ancho de banda.**
  - Los *routers* reenvían paquetes según determinado "comportamiento por salto" (PHB o Per-Hop Behaviour).
    - Trato diferenciado paquete a paquete en cada nodo según "marca DS" que contienen.
      - Mediante reglas de clasificación, gestión de colas y planificación **NO especificadas en DiffServ**.
    - Asignación de recursos **sobre la marcha**, paquete a paquete.
      - **Por "agregado de comportamiento"**, no por flujos como en el modelo IntServ.
      - **Sin garantía de ello**.

DiffServ: terminologías y definiciones.

- Acuerdo de nivel de servicio (***SLA**, Service Level Agreement).*
  - Acuerdo entre cliente y proveedor que especifica el servicio que recibirá el cliente.
    - Estático: configurado vía administrador del dominio DS.
    - Dinámico: configurado mediante protocolo de señalización.
  - Caracteriza básicamente el funcionamiento de los nodos "frontera" de un dominio DS.
  - Comprende el **TCA** y algo más (contabilidad, facturación, seguridad, etc.).
- Acuerdo de acondicionamiento de tráfico (***TCA**, Traffic Conditioning Agreement*).
  - Conjunto de reglas de acondicionamiento que se aplican al tráfico para cumplimentar el SLA.
    - Vigilancia (medición), gestión de colas, planificación, y eventualmente marcado, conformado, descarte.
  - Basado en el perfil de tráfico acordado (SLA).
    - Parámetros *token bucket*, prioridades de descarte, demora, caudal, probabilidad de pérdida, acciones sobre el tráfico no conforme, etc.
- **SLA** y **TCA** se aplican entre cliente y proveedor.
  - Cliente: usuario final, red de una organización, otro dominio DS, servidor de señalización VoIP, etc.
  - Proveedor: dominio DS.

DiffServ: terminologías y definiciones.

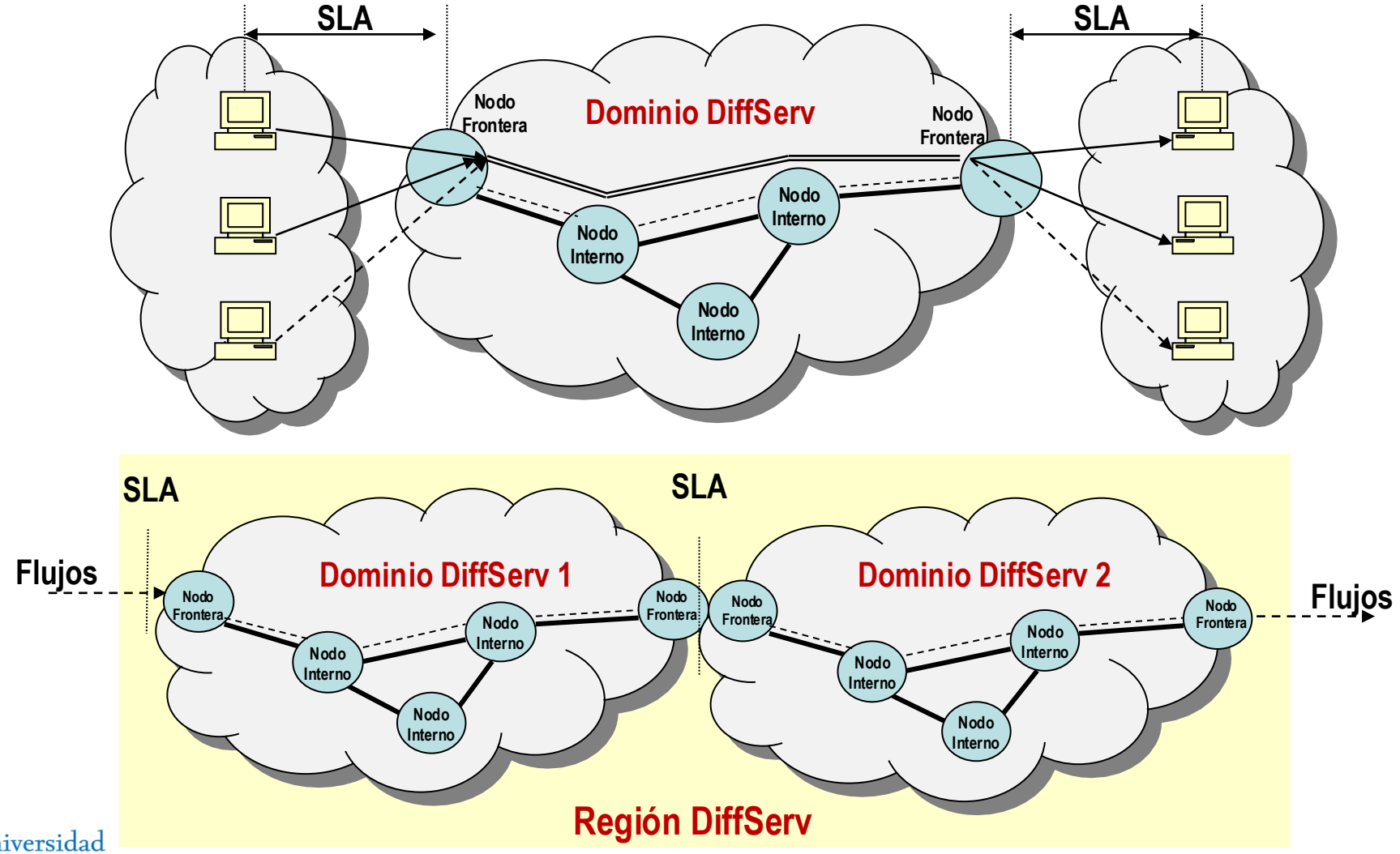
- Comportamiento por salto (***PHB***, *Per Hop Behaviour*).
  - Determina el tratamiento diferenciado de los paquetes en cada *router.*
  - Caracteriza básicamente la gestión de colas y la planificación en cada *router.*
- Agregado de comportamiento/de tráfico (***BA***, *Behaviour Aggregate*).
  - Paquetes con igual "marca" re enviados por la misma dirección (interfaz, enlace).
  - Paquetes que reciben tratamiento específico (común y diferenciado) en cada nodo según TCA.
  - Puede contener paquetes de diferentes aplicaciones y con diferentes orígenes-destinos.
  - Agrupación de "microflujos" bajo el mismo "marcado".
- Microflujo.
  - Flujo individual de paquetes entre usuarios finales.
  - Paquetes con **igual** origen – destino (dirección IP y puerto) y protocolo de transporte.

DiffServ: terminologías y definiciones.

- DiffServ en el contexto de un dominio.
  - Cada dominio DS con interpretación del campo DS y procedimientos propios.
  - Cada dominio DS con políticas propias respecto a las clases de tráfico.
  - Necesidad de *mapping* de clases de tráfico en la frontera entre dominios DS mediante SLA.
- Dominio DS.
  - Uno o más ISP que, mediante acuerdo, proporcionan una **política DiffServ común**.
  - Conjunto de *routers* con **reglas comunes** de interpretación del valor DS de cabecera IP para proporcionar un servicio uniforme.
  - Comprende dos tipos de nodos.
    - Nodos "frontera" (entrada-salida): normalmente implementan todas las funciones DiffServ.
    - Nodos "internos": normalmente implementan sólo parte de las funciones DiffServ.
- Región DS.
  - Conjunto de dominios DS interconectados mediante SLA entre ellos.

DiffServ: terminologías y definiciones.

- Dominios y regiones DiffServ.



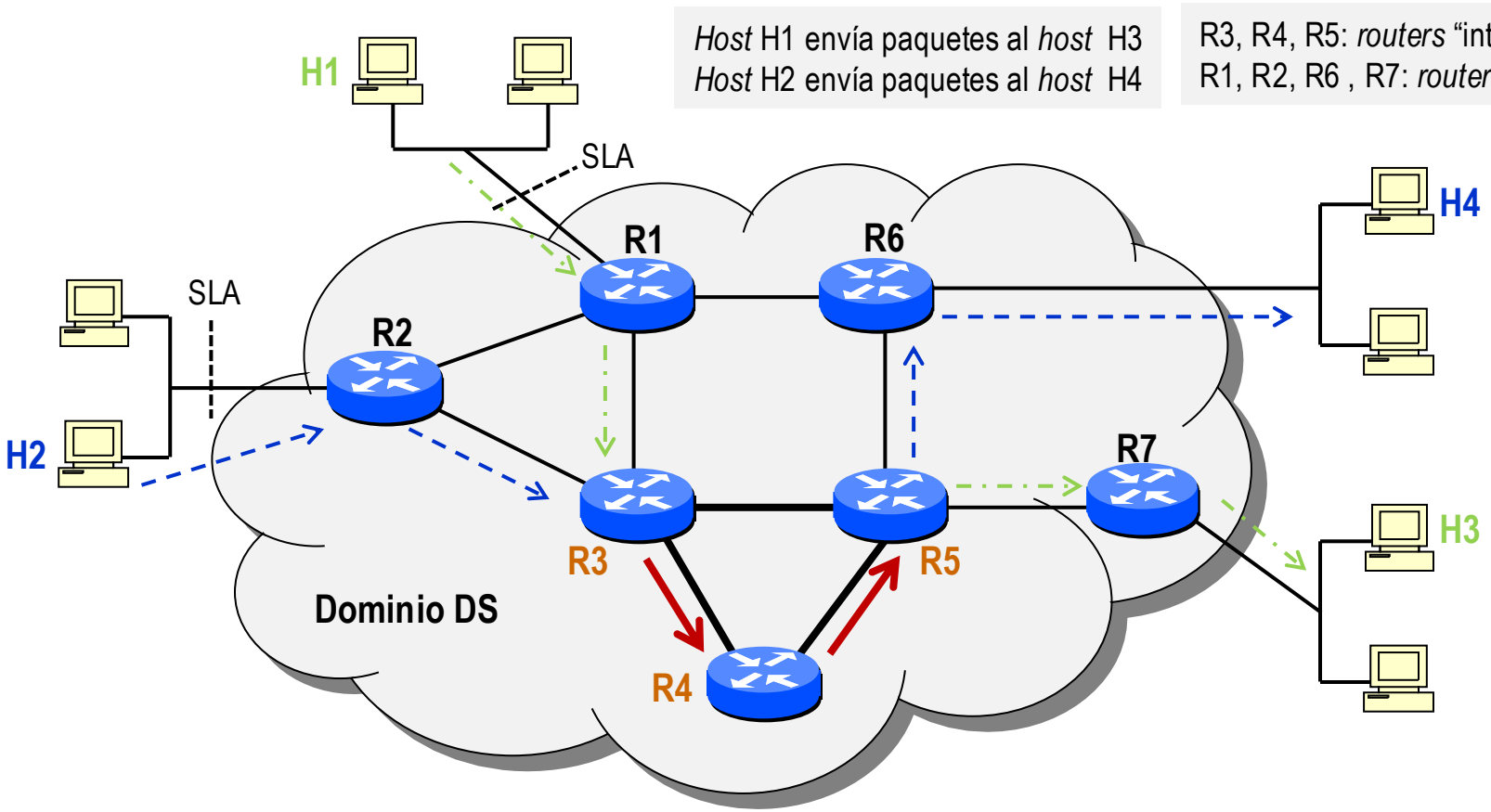
DiffServ: terminologías y definiciones.

- **Nodos "frontera"** (trabajo más intenso).
  - Verifican los SLA y aplican control de tráfico. Tareas fundamentales:
    - **Clasificación de tráfico** vía **MF** (*Multi Field*) o vía **DSCP** (*Differenciated Services Code Point,* marca DS).
    - **Acondicionamiento de tráfico**.
      - Vigilancia y eventual descarte.
      - Eventual marcado de paquetes (asignación de clases).
      - Retransmisión "inmediata" o retención antes de la retransmisión (conformado).
    - **Agregación de tráfico** (BA, *Behaviour Aggregate*).
      - Combinación de diferentes micro flujos según "marca" de los paquetes que requieren igual servicio/tratamiento.
      - Todo como un "agregado" sin interesar origen-destino.

- **Nodos "internos"** (trabajo menos intenso).
  - Normalmente sólo desarrollan el **PHB**, procesamiento y reenvío según "marca" DS en cabecera IP.
  - Clasifican el tráfico según los **"agregados de tráfico" (BA)**.
  - Comparten recursos entre diferentes micro flujos según los **BA** mediante determinadas políticas de "gestión de cola" y de "planificación".

DiffServ: terminologías y definiciones.

- Nodos “frontera” y nodos “internos” en un dominio DS.

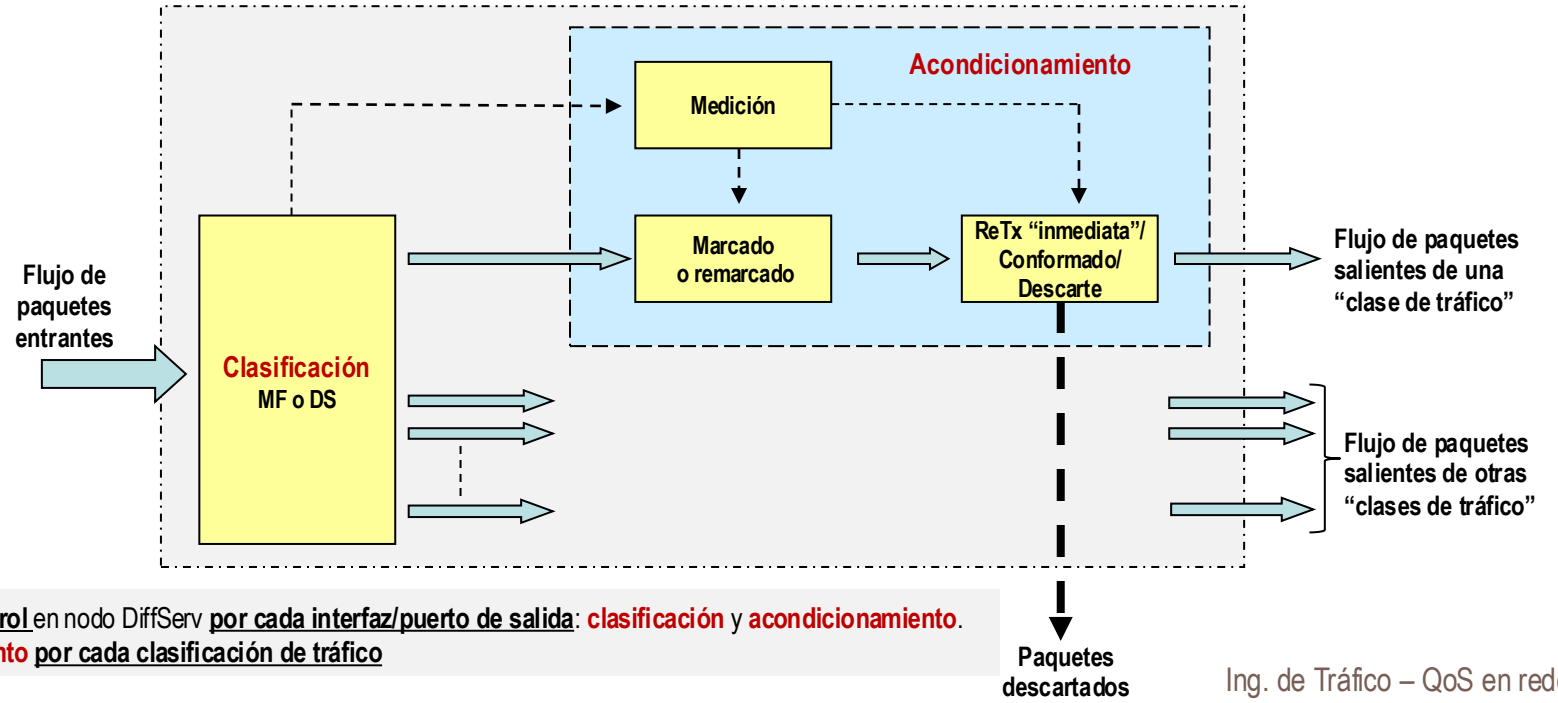


R1 y R2 desarrollan “clasificación”, “acondicionamiento” y “marcado” del campo DS con igual valor según SLA.
R3, R4 y R5 tratan los paq. como un “agregado” y aplican el PHB según marca DS, no hacen distinción entre unos y otros por su origen-destino.

DiffServ: funciones.

Funciones DiffServ.

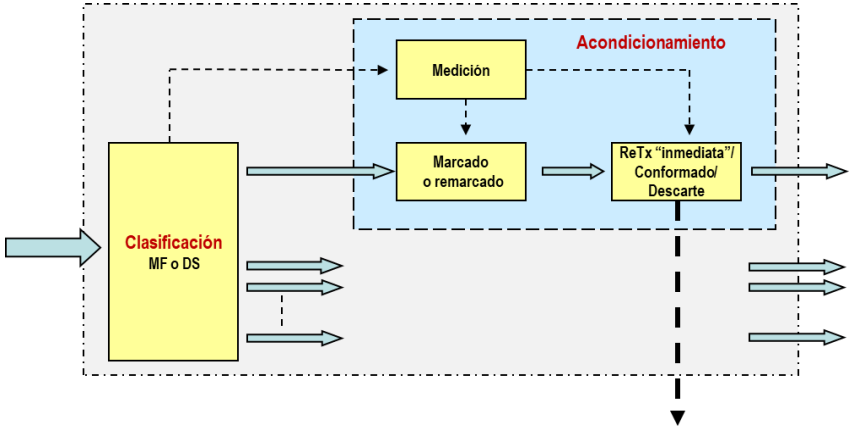
- Objetivo: materializar los "**acuerdos**" (SLA y TCA) y los "**comportamientos**" (PHB y BA).
- Se desarrollan mediante "políticas de control".
  - **Clasificación** (MF o DS) y **acondicionamiento** del tráfico según campo DS de los paquetes IP.
  - Campo DS: **redefinición** de uno de los campos de la cabecera IP.
    - Campo ToS (*Type of Service*) en IPv4 (8 bits).
    - Campo TC (*Traffic Class*) en IPv6 (8 bits).



Políticas de control en nodo DiffServ por cada interfaz/puerto de salida: clasificación y acondicionamiento.
Acondicionamiento por cada clasificación de tráfico

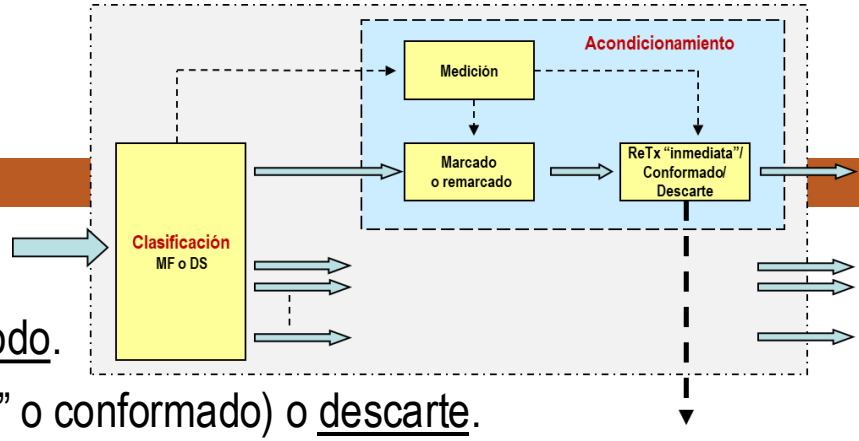
DiffServ: políticas de control.

- **Clasificación**: a partir de uno o más campos de cabecera IP.
  - Clasificación MF (*multi-field*) para nodos "**frontera**".
    - Más complejo y más retardo.
    - Mediante (uno o varios):
      - Dirección IP origen y/o destino; puerto origen y/o destino.
      - Protocolo de transporte.
      - Campo TOS (IPv4) o TC (IPv6).
      - Campo DS, etc.



  - Clasificación BA (*Behaviour Aggregate*) para nodos "**internos**".
    - Menos complejo y menos retardo.
    - Mediante campo DS.
  - La especificación DiffServ no establece cómo se obtienen/desarrollan las reglas de clasificación.
    - Mediante configuración manual (no especificada).
    - Mediante protocolo de señalización (no especificado).
    - Consecuencia: se han desarrollado diferentes reglas-algoritmos de clasificación.

DiffServ: políticas de control.



- **Acondicionamiento**.
  - TCA que aplica cada nodo DS, es en esencia el PHB del nodo.
  - Comprende medición, marcado y retransmisión ("inmediata" o conformado) o descarte.
  - Se desarrolla por cada tipo-clasificación de tráfico.
  - Medición: determina si los paquetes se ajustan o no al perfil de tráfico acordado-configurado.
    - Observa propiedades temporales del flujo seleccionado por la función "clasificación".
    - Compara el flujo entrante con el perfil acordado (p.e, mediante *token bucket*).
    - Notifica a los procedimientos "marcado" y "retransmisión/conformado/descarte" según corresponda.
    - **La especificación DS no establece qué hacer después de la "medición",** lo determina la política del dominio.
      - Ya sea (re) marcar, retransmitir de "inmediato", retardar o descartar.
  - Marcado: establece o modifica el valor DS de cabecera IP.
    - Nodo frontera: establece (marca) o modifica (remarca), típicamente con algoritmo trTCM.
    - Nodo interno: usualmente NO desarrolla marcado/remarcado.
  - Retransmisión inmediata, conformado o descarte.
    - Retransmisión "inmediata": "encolado" de paquetes conformes para planificación.
    - Conformado (adaptación): retardo de paquetes para hacerlos conforme al perfil acordado.
    - Descarte: eliminación de algunos paquetes para forzar cumplimiento del perfil acordado (típico RED y WRED).

DiffServ: políticas de control.

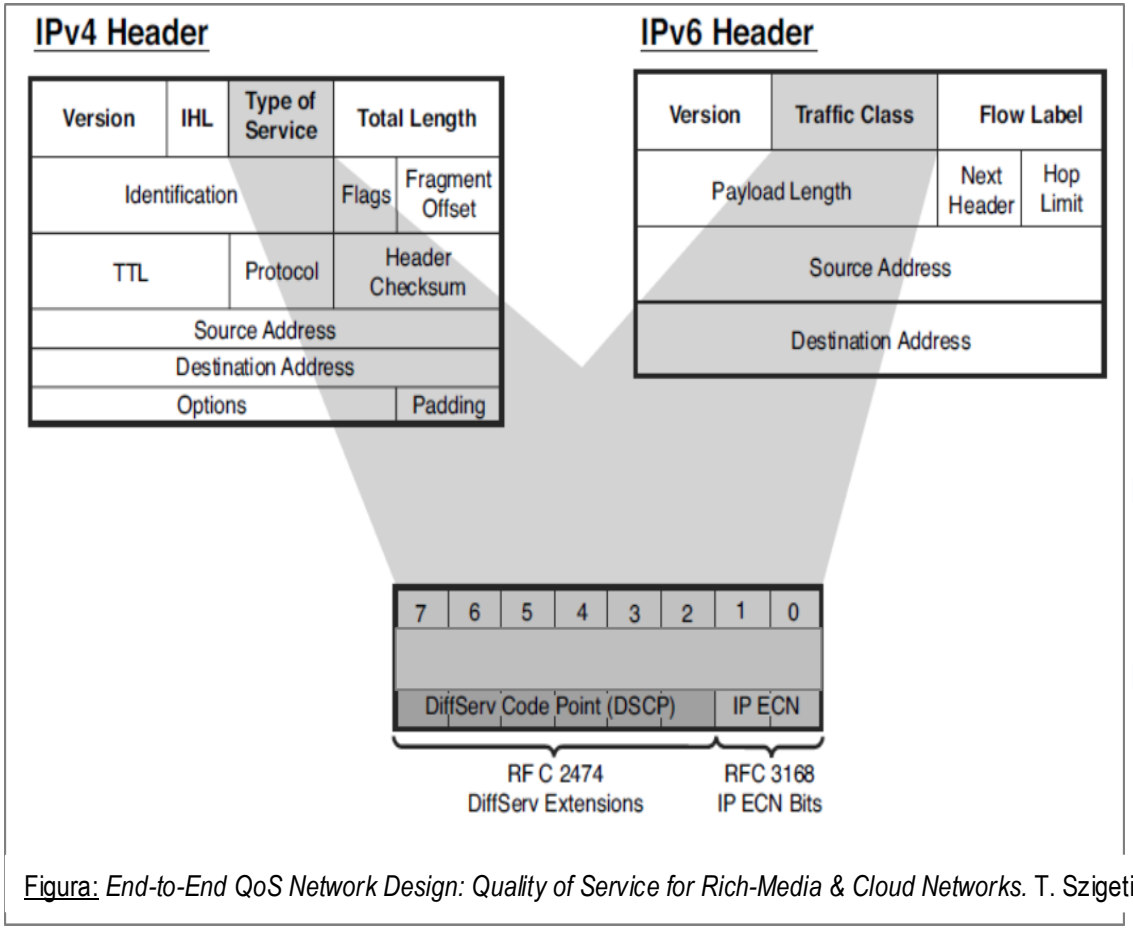
- Políticas de control DiffServ (**a manera de resumen**).
  - Especifican:
    - Arquitecturas de red flexibles que permiten adaptarse a la evolución de los servicios.
    - Los componentes funcionales de estas arquitecturas: clasificación y acondicionamiento.
  - Proporcionan:
    - Un contexto para la **clasificación** y el **acondicionamiento** de los flujos de paquetes IP.
  - No establecen:
    - Políticas de servicio.
    - Políticas de clasificación y acondicionamiento.
    - Las decisiones de marcar, reenviar, retardar o descartar paquetes.
  - Las determina la administración de un dominio DiffServ a partir de los acuerdos SLA y TCA.

DiffServ: PHB.

- **PHB, *Per Hop Behavior.***
  - Elemento base para proveer determinado servicio a nivel de nodo DiffServ.
  - Establece cómo las clases de tráfico comparten recursos y prioridades según marca DS.
  - Comportamiento que experimenta un "agregado de tráfico" (BA) en un nodo DS en cuanto a:
    - Retransmisión "inmediata", conformado o descarte.
  - El PHB es la finalidad, los medios para ello son:
    - El valor del campo DSCP (marca DS) de cada paquete.
    - La asignación de recursos (*buffer* y AB) mediante **procedimientos no especificados en DiffServ**.
    - Gestión activa de colas (p.e, RED y sus variantes).
    - Planificación de paquetes (p.e, WFQ y sus variantes).

DiffServ: PHB.

- Campo de servicios diferenciados (campo DS).
  - A partir de redefinir un campo de la cabecera IP: ToS (IPv4) y TC (IPv6).



- **DSCP**, ***D**ifferenciated **S**ervices **C**ode **P**oint.*
  - Valor para indicar el **PHB** para cada paquete.
  - 6 bits, en principio hasta 64 clases de servicio. Rangos especificados:
    - XXXXX0 uso estándar.
    - XXXX11 uso local o experimental.
    - XXXX01 uso local o experimental, como estándar si se agota el primer rango.
- También es posible asociar diferentes valores DSCP a un **mismo PHB** → **Política común**, igual tratamiento para diferentes valores DSCP.
- Campo "IP ECN" no usado en DiffServ.
  - ECN, *Explicit Congestion Notification.*

Figura: *End-to-End QoS Network Design: Quality of Service for Rich-Media & Cloud Networks.* T. Szigeti, R. Barton, C. Hattingh, K. Briley Jr. Second Edition © 2014 Cisco Systems, Inc.

DiffServ: PHB.

- PHB normalizados.
  - PHB por defecto: **DE PHB**
    - ***DE****fault PHB*, RFC 2474.
  - PHB reenvío asegurado: **AF PHB**
    - ***A****ssured* ***F****orwarding PHB*, RFC 2597.
  - PHB reenvío expedito: **EF PHB**
    - ***E****xpedited* ***F****orwarding PHB*, RFC 2598.
  - PHB selector de clase.
    - *Class selector PHB*, RFC 2474. Ver anexos.
  - PHB para tráfico de voz.
    - *Voice Admit PHB*, RFC 5865.
  - PHB para tráfico de control de red.
    - *Network control traffic PHB*, RFC 2597.

PHB fundamentales

Otros PHB

DiffServ: PHB.

- PHB por defecto (**DE PHB**)
  - Para servicio sin ninguna prioridad, equivalente al servicio *best effort*.
  - No da garantía alguna.
  - Compatible con el campo ToS de IPv4.
  - Debe estar disponible con recursos asignados en todo nodo DS para evitar la inanición de esta clase.
  - Valor DSCP:
    - Normalmente 000000.
    - También posible:
      - Cuatro primeros bits = 0000.
      - Dos bits restantes para diferentes prioridades en la clase *best effort*.

DiffServ: PHB.

- PHB reenvío asegurado (**AF PHB**).
  - Equivale al servicio "carga controlada" de IntServ.
  - Objetivo: proporcionar diferentes niveles QoS.
  - Especifica cuatro clases de tráfico según importancia y prob. de descarte de paquetes.
    - Paquetes **más** importantes/prioritarios tienen **menor** probabilidad de descarte.
    - En una clase, si hay congestión, se descartan primero los paquetes menos importantes/prioritarios.
    - Para ninguna clase especifica ancho de banda ni retardo, sino que:
      - Clase 1 distinta de clase 2, clase 2 distinta de clase 3, y así sucesivamente…
  - Cada clase con diferente nivel de rendimiento.
    - Asignación de recursos según clase y demanda previsible de tráfico por clase.
    - Normalmente: clases identificadas con mayor valor numérico tienen mayor asignación de recursos.
  - Tráfico AF debe ser "acondicionado" para ingresar a un dominio DiffServ según SLA.
    - Sin "desordenar" paquetes de un flujo y sin "agregar/combinar" dos ó más clases.

DiffServ: PHB.

- PHB de reenvío asegurado (**AF PHB**) (II).
  - En principio:
    - N clases, cada una con determinada cantidad mínima de recursos.
    - M niveles de prioridad de descarte por cada clase.
  - Valores DSCP.
    - Especificadas 12 posibles combinaciones.
    - N = 4 → cuatro clases.
    - M = 3 → tres niveles de prioridad de descarte por clase.
    - Aceptados:
      - Hasta cuatro clases (N ≤ 4).
      - Dos o tres niveles de prioridad de descarte (M = 2 o 3).

DiffServ: PHB.

- PHB reenvío asegurado (**AF PHB**) (III).
  - Valor DSCP = **nnnmm0**
  - Clase (**bits nnn**).
    - Para seleccionar recursos, determinada cola con su correspondiente tasa de servicio acordada.
  - Prioridad de descarte o precedencia (**bits mm**).
    - Determina el "peso" para descarte en las colas.
    - Normalmente mediante gestión de cola RED (*Random Early Discarding*) o WRED (*Weighted RED*).

Clase (nnn)	**Prioridad de descarte (mm)**
100: clase 4 (mejor servicio) 011: clase 3 010: clase 2 001: clase 1 (peor servicio)	11: alta (importancia menor) 10: media (importancia media) 01: baja (importancia mayor)

Códigos DSCP recomendados para AF PHB

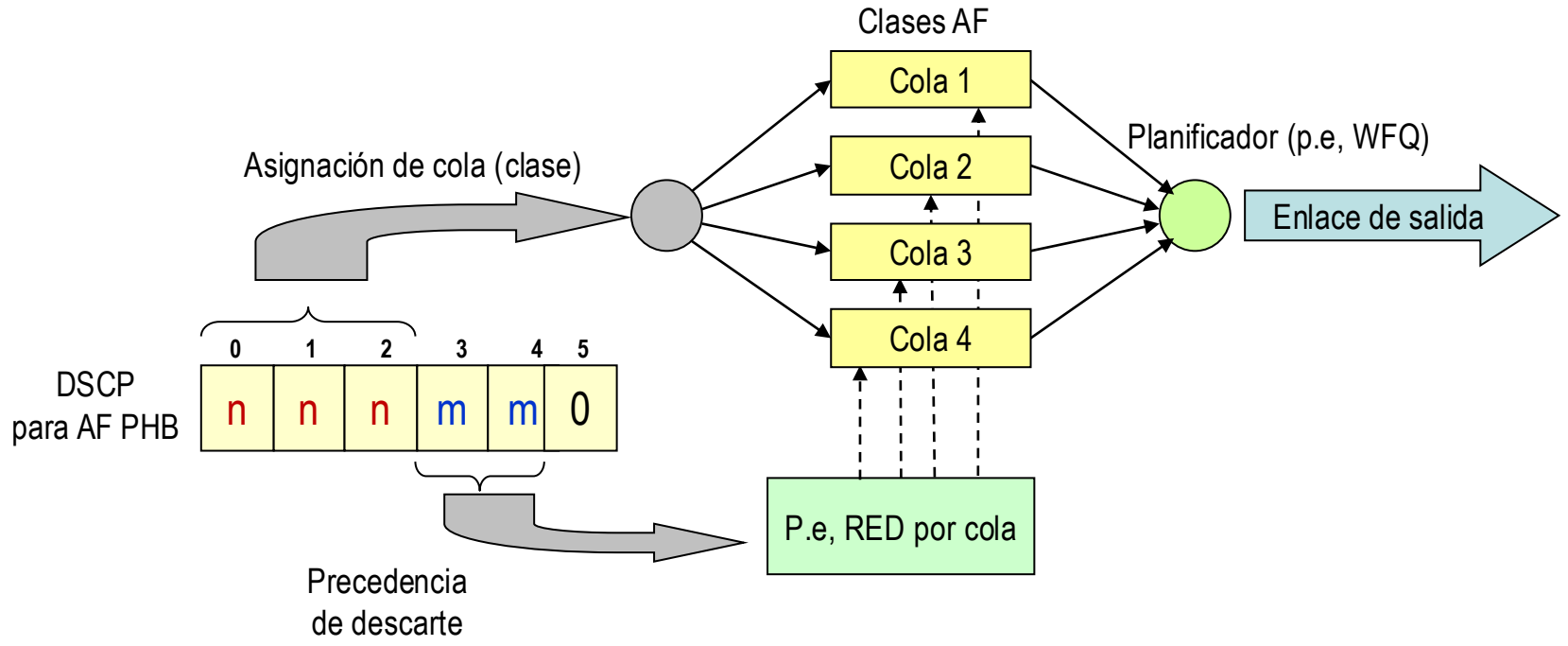
Prioridad de descarte	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
1 - Baja	001010	010010	011010	100010
2 - Media	001100	010100	011100	100100
3 - Alta	001110	010110	011110	100110

Mejor servicio

Peor servicio

DiffServ: PHB.

PHB reenvío asegurado (**AF PHB**) (IV).



- A cada clase se le garantiza determinada cantidad mínima de recursos, capacidad en *buffers* y ancho de banda.
- Variando la cantidad de recursos asignados por clase se proporcionan diferentes niveles QoS.

El cliente-usuario contrata al ISP-DS determinado caudal para cierta clase.
El ISP-DS "vigila" el tráfico de usuario, si excede el caudal contratado → Descarte de paq. **según bits de precedencia**.

Si bien **no hay garantía absoluta**, el cliente-usuario espera que:

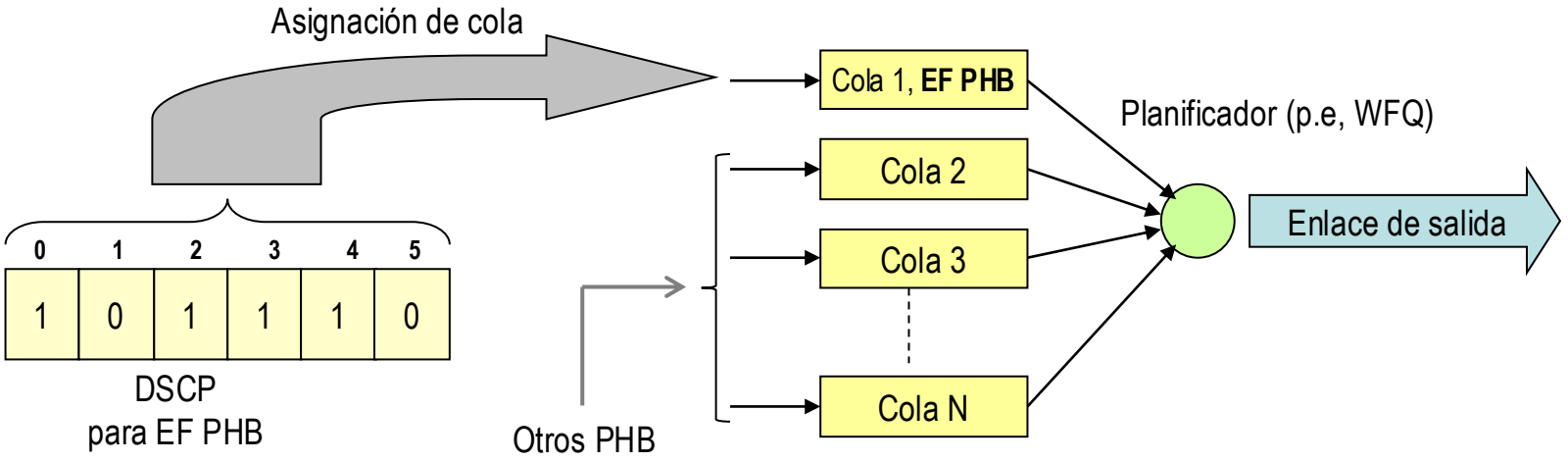
- Paquetes cumplidores se entreguen con alta probabilidad.
- Paquetes no cumplidores se entreguen si la red no está muy cargada.

DiffServ: PHB.

- PHB reenvío expedito-inmediato (**EF PHB**).
  - DSCP: **101110**
  - Objetivos:
    - Proveer un único nivel QoS equivalente al "servicio garantizado" de IntServ.
    - Proveer baja demora de cola, ninguna o bajas pérdidas y caudal mínimo asegurado.
  - Requiere:
    - Acondicionamiento del tráfico no cumplidor a la entrada del dominio DS mediante "vigilancia" y/o "conformado".
      - Eliminar tráfico si es necesario, no se especifica cómo.
    - Establecer valores máximos para las pérdidas, el retardo y el *jitter*.
    - Garantizar ancho de banda mínimo por nodo según tasa de servicio mínima acordada (**R**).
    - Aislamiento entre clases/agregados de tráfico (BA).
      - Para garantizar los recursos y la capacidad especificada para cada clase.
      - Independientemente de la intensidad de tráfico y del grado de congestión de otras clases.
    - Servir los paquetes rápidamente, lo que implica **en cada nodo**:
      - Configurar la tasa de servicio EF para transmitir **tráfico EF agregado (EF-BA).**
      - Garantizar el reenvío de paquetes EF de tamaño **L** a intervalos **L/R** → Demora de cola debe ser **≤ L/R**.
      - Garantizar que la "tasa de llegada EF-BA" **sea menor** que la "tasa de salida EF-BA" mínima configurada.
      - Garantizar la tasa de servicio EF independientemente del tráfico no EF.

DiffServ: PHB.

- PHB reenvío expedito (**EF PHB**) (II).



Cola 1: cola para tráfico EF, cola de máxima prioridad tipo FIFO con *token bucket* para evitar inanición de otras clases. **Típicamente** el tráfico EF se suele limitar a un valor ≤ 30 % de la capacidad del enlace/interfaz de salida

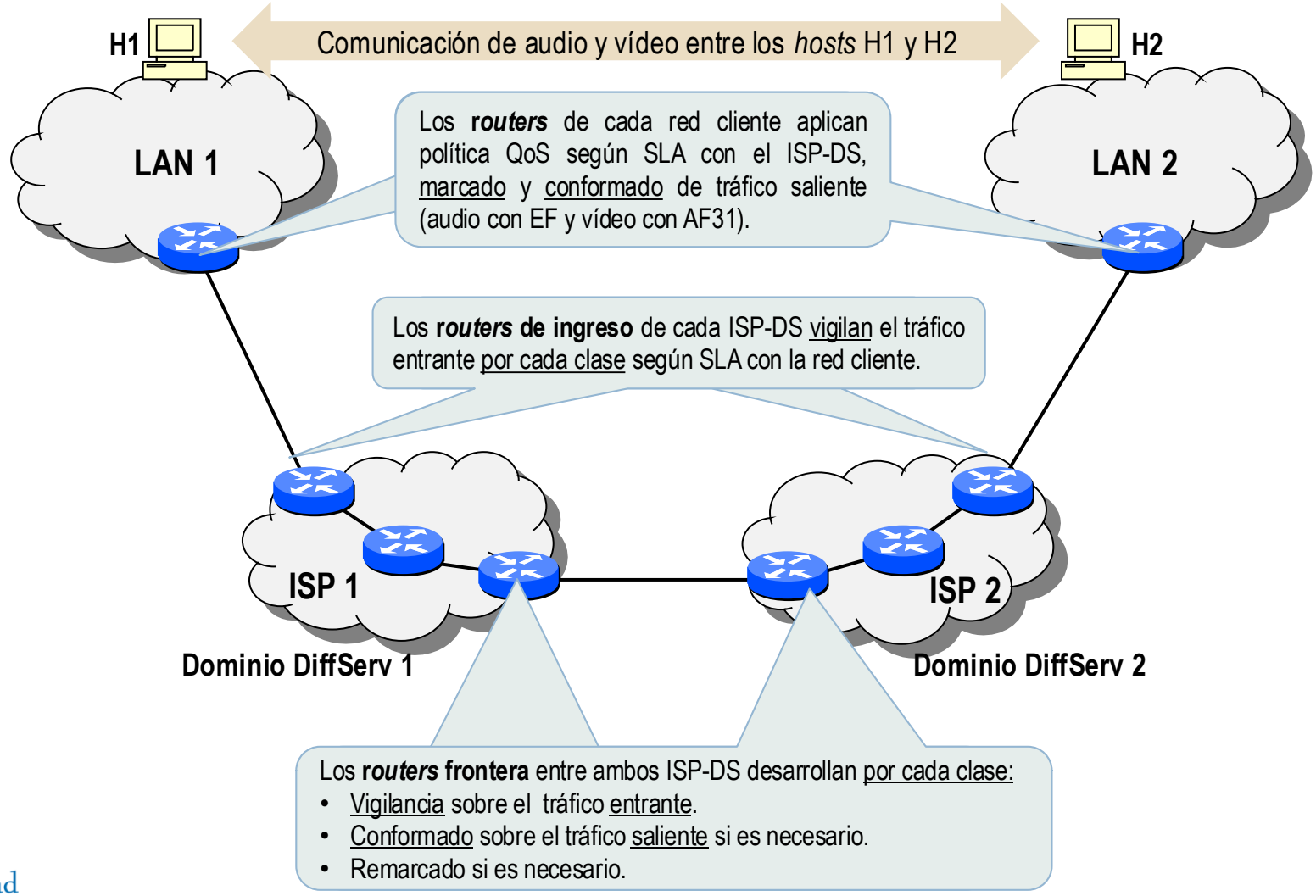
Todo el tráfico EF agregado (EF-BA) que llegue al nodo va a la cola de máxima prioridad.
En teoría en los nodos DS no debe haber pérdidas de paquetes EF, las colas PHB-EF deben estar vacías o poco llenas.

DiffServ: PHB.

- **Usos de los PHB.**
  - **Clase EF** para aplicaciones no elásticas, tienen restricciones de demora y de tasa.
  - **Clase AF** para aplicaciones elásticas, diferenciando niveles de calidad en cuanto a:
    - Importancia: determina la probabilidad de reenvío (clase).
    - Precedencia: determina la probabilidad de descarte (prioridad).
- Respecto al "acondicionamiento":
  - Para EF medición de tráfico y descarte de paquetes no "cumplidores".
  - Para AF en principio cualquier acción para controlar el tráfico.
    - Conformado, descarte o remarcado para cambio de precedencia y/o de clase.
- Respecto al "remarcado":
  - Tráfico EF **no admite** "re-marcado".
  - Tráfico AF admite "remarcado" "hacia abajo", no "hacia arriba".
    - Hacia una clase AF de menor categoría (menos recursos) y/o mayor probabilidad de descarte.
    - P.e: de AF41 a AF 43; de AF 41 a AF 31.
- Respecto al "desorden":
  - Clases EF y AF **no admiten** "desorden" de los paquetes de un flujo.

DiffServ: PHB.

- Ejemplo de utilización combinada de clases EF y AF.



DiffServ: conclusiones.

- **Conclusiones respecto a DiffServ.**
  - Divide el tráfico en un número reducido de clases de reenvío (clases de tráfico).
  - Asigna recursos y gestiona el tráfico en dominios DS según clases de reenvío.
    - En la frontera clasificación y acondicionamiento del tráfico (mayor complejidad).
    - En el interior/núcleo reenvío basado sólo en el valor DSCP (menor complejidad y mayor rapidez).
  - PHB estandarizados como elementos básicos sobre los cuales construir servicios.
    - Nº reducido de clases de tráfico (fundamentalmente clases AFxy y EF).
    - Rendimiento por clase de reenvío basado en los PHB.
  - Prestaciones mediante:
    - Control de admisión, provisión de recursos sobre la marcha y priorización del tráfico.
  - **Sx QoS implícita paq. a paq**, sobre la marcha, no con antelación al envío de datos.

DiffServ: conclusiones.

- **DiffServ respecto a IntServ:**
  - **Mayor escalabilidad**.
    - El procesamiento fundamental se desplaza del núcleo a la frontera de red.
    - No requiere: reserva de recursos, señalización explícita (protocolo de Sx), *soft-states.*
    - Los *routers* no gestionan estados de reserva (*soft states*) ni protocolos para ello.
  - **Mayor flexibilidad en relación con los servicios**.
    - Servicio “por clases”, no “por flujo” como IntServ.
    - Soluciona la limitada variedad de tipos de servicio definidos en IntServ.
    - Permite definir diferentes clases de servicio según requerimientos de las aplicaciones.
    - En principio las aplicaciones pueden definir el tipo de servicio paquete a paquete.
  - *Routers* más rápidos y menos complejos.
  - Mayor rendimiento en ambientes de escaso ancho de banda.
  - Mayor disponibilidad comercial, más extendido e implementado por muchos ISP.

DiffServ: conclusiones.

- Inconvenientes del modelo DiffServ.
  - Da menos garantía que IntServ.
    - **Garantía basada en factores estadísticos.**
    - No hace acopio-reserva de recursos con antelación a la transferencia de datos como IntServ.
  - Requiere acuerdos-cooperación entre ISP para un servicio DS uniforme extremo a extremo.
    - No basta que los ISP involucrados implementen DiffServ cada uno a su "aire".
  - Políticas de control *end to end* no resuelto a nivel de Internet, sólo a nivel de dominio DS.
    - Cada dominio DS con sus propias políticas QoS.
  - Necesidad de coordinar perfiles de tráfico y *mapping* de clases de tráfico entre dominios DS.
    - Diversas propuestas desarrolladas para cooperación entre dominios DS, entre otras:
      - Gestores de ancho de banda (Bandwidth Brokers, BB).
      - DiffServ sobre MPLS.
  - Además, DiffServ requiere políticas y procedimientos de autenticación complejos.

DiffServ: comparativa.

- IntServ *versus* DiffServ.

	Ventajas	Inconvenientes
IntServ: reserva recursos para uso exclusivo.	Los paquetes no tienen que estar marcados para saber cómo deben ser tratados en cada *router*, la información para ello la tiene cada *router* que implementa el modelo en los denominados *soft-states*, garantía de reserva.	Cada *router* requiere mantener información de estado relativa a cada flujo (*soft-state*). Requiere protocolo de señalización para establecer y mantener las reservas.
DiffServ: asigna prioridades a unos paquetes respecto a otros.	Los *routers* no requieren mantener información de estado (*soft-state*) No requiere señalización explícita para QoS.	Los paquetes deben ser marcados con la prioridad que le corresponda. Garantía basada en factores **estadísticos**, da menos garantía que la reserva de recursos.

IntServ y DiffServ proveen diferenciación QoS apreciable cuando el tráfico es grande. Si la red está poco cargada la diferencia entre ***best effort***, **IntServ** y **DiffServ** es muy poca, casi no se aprecia ➔ **Hay que evitar es la congestión en la red**.

DiffServ: referencias bibliográficas.

- "Quality of service in IP network".
  - G. Armitage. Macmillan Technical Publishing. 2000.
- “Redes e Internet de alta velocidad. Rendimiento y calidad de servicio”.
  - W. Stallings. Pearson Educación. 2003.
- “QoS Control in High-Speed Networks”.
  - Chao – Guo. 2002.
- “End-to-End QoS Network Design: quality of services in LANs, WANs and VPNs”.
  - T. Szgeti, C. Hattingh. Cisco Press 2005.
- “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 headers.
  - RFC 2474, diciembre 1998.
- “An Architecture for Differentiated Services”.
  - RFC 2475, diciembre 1998
- “Assured Forwarding PHB Group”.
  - RFC 2597, junio 1999.
- “An Expedited Forwarding PHB”.
  - RFC 2598, junio 1999.