

## Red "switchheada"

- Redundancia
  - Confiabilidad, disponibilidad
  - Costos
  - Pero quizás también, inestabilidad
    - Por ejemplo, un simple *ARP request* puede generar una tormenta de *broadcast* y afectar la *performance* de los switches de toda la red
    - Algo similar puede ocasionar un *unicast*
    - Precisamos una solución que evite los *loops* pero sin perder las bondades de la redundancia
  - En capa de enlace no existe el concepto de TTL
- *Spanning-Tree Protocol (STP)*: Protocolo de gestión de capa de enlace que pone a disposición la redundancia de caminos pero previene de posibles *loops* en la red de *switches* (posible origen de duplicación de mensajes)

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-1

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocolo *Spanning-Tree (STP)*

- El objetivo es que en cada instante exista un solo camino activo entre dos *switches*
  - Que existan *loops* físicos pero no lógicos
- Se define un árbol a través del cual se alcanza a todos los *switches* pero el árbol se "poda" de tal forma que algunos puertos quedan bloqueados a la espera de algún cambio topológico y los restantes puertos están en estado *forwarding*
- Algunos comentarios
  - Protocolo transparente a los usuarios
  - Radia Perlmán → IEEE 802.1D
  - "Protocolo de árbol de expansión"
  - Referencias en la bibliografía
    - Secciones 4.4 o 4.7 "del Tanenbaum"
    - Sección 5.6 "del Kurose & Ross"

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-2

---

---

---

---

---

---

---

---

## VLAN: *Virtual LAN*

- Empresa con *k* departamentos
  - 1 red LAN por departamento
    - Agrupar lógicamente usuarios de la red y recursos conectados a puertos definidos administrativamente
    - Broadcast
    - Seguridad
    - Carga
- En los 90's: *k* redes LAN independientes significaba instalar *k* hubs (como mínimo)
- Luego, se incorporaron los *switches*
- Ahora: *k* redes LAN, técnicamente puede significar simplemente instalar 1 *switch*

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-3

---

---

---

---

---

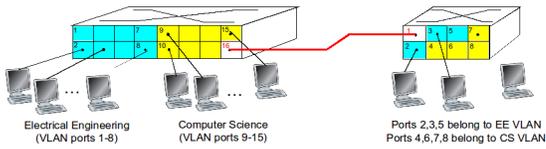
---

---

---



## VLANS sobre multiples switches



**trunk port:** transporta frames con diferentes VLANs entre diferentes switches físicos

Los frames transportados con VLAN diferentes requieren contar con la información de la VLAN a la que pertenecen (deben tener VLAN ID)

El protocolo 802.1q agrega/elimina campos adicionales para identificar VLAN ID en un trunk port

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-7

---

---

---

---

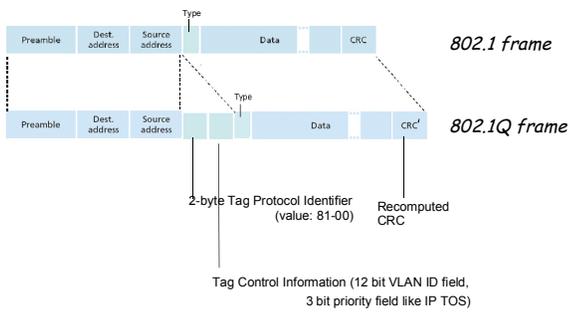
---

---

---

---

## Formato del frame 802.1Q (VLAN)



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-8

---

---

---

---

---

---

---

---

## Capa de Enlace

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento de Capa de Enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Switches de Capa de Enlace
- 5.7 PPP

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-9

---

---

---

---

---

---

---

---

## Enlace de Datos Punto a Punto

- un emisor, un receptor, un enlace: más fácil que un enlace *broadcast*:
  - no se requiere *Medium Access Control*
  - no se necesita direccionamiento MAC explícito
  - p.e., enlace discado
- protocolos *point-to-point* más populares:
  - PPP: *Point-to-Point Protocol*
  - HDLC: *High level Data Link Control*

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-10

---

---

---

---

---

---

---

---

## PPP (RFC 1547, 1661, 1962, 2153)

- **Requerimientos de diseño de PPP: RFC 1547**
  - simple
  - **entramado de paquete**: encapsulado del datagrama de capa de red en una trama de capa de enlace
  - **transparencia**: debe poder llevar cualquier patrón de bit en el campo de datos (incluso los vinculados al *framing*)
  - **multiplexación**: porta datos de capa de red de cualquier protocolo (no solamente IP) al mismo tiempo
    - posibilidad de demultiplexar
  - **detección de error** (no corrección)
  - **estado de la conexión**: detectar y señalar a la capa de red sobre falla en el *link*
  - **negociación de la dirección de la capa de red**: un *endpoint* puede configurar la dirección de red del otro
  - posibilidad de negociación de opciones
  - posibilidad de compresión de datos

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-11

---

---

---

---

---

---

---

---

## No requerimientos de PPP

- corrección/recuperación de errores
- control de flujo
- entrega de tramas en orden (secuenciamiento)
- no hay necesidad de soporte de enlaces multipunto (p.e., *polling*)

Recuperación de errores, control de flujo, re-ordenamiento de datos  
son relegados a las capas superiores

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-12

---

---

---

---

---

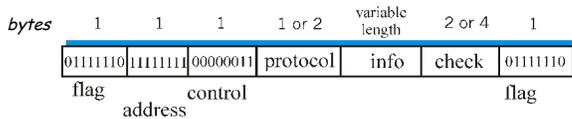
---

---

---

## Trama de Datos de PPP (RFC 1662)

- **Flag:** delimitador (*framing*); sincronización de trama
- Se pueden no enviar lo siguientes campos
  - **Address:** no hace nada; uso futuro
  - **Control:** no hace nada; uso futuro
- **Protocol:** protocolo de capa superior a quien debe ser entregada la trama (ej., LCP, NCP, IP, etc)



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-13

---

---

---

---

---

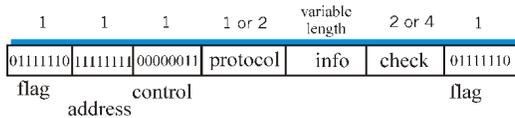
---

---

---

## Tramas de Datos de PPP

- **Info:** datos de la capa superior que son llevados; 1500 bytes máximo o negociable
- **Check:** detección de errores con *Cyclic Redundancy Check*



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-14

---

---

---

---

---

---

---

---

## Byte Stuffing ("relleno")

- No es algo exclusivo de PPP
- requerimiento de "transparencia de los datos": el campo de datos debe permitir incluir el patrón de la *flag* <01111110>
  - **P:** se recibe <01111110>, ¿es datos o *flag*?
- **Transmisor:** agrega ("stuffs") un byte de relleno <01111101> (**byte de escape**) extra **antes** de cada byte <01111110> de **datos**. Ídem si aparece el byte de escape.
- **Receptor:**
  - Reacciona a la aparición de <01111110> o <01111101> respetando lo anterior
  - un único <01111110>: *byte flag*

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-15

---

---

---

---

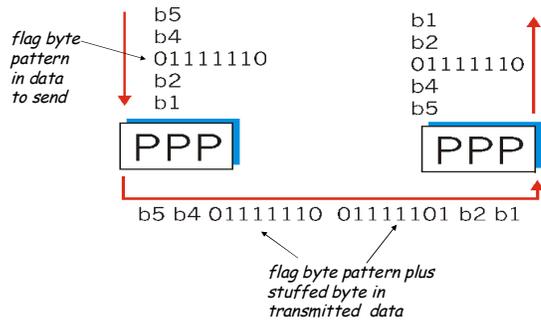
---

---

---

---

## Byte Stuffing



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-16

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocolo de Control de PPP Link Control Protocol

- antes de intercambiar datos de la capa de red, los *peers* de la capa de enlace deben configurar el enlace y algunas cosas relacionadas con la capa de red
- configurar enlace PPP
  - máx. long. de trama
  - uso o no de autenticación
    - protocolo
  - *testing* de la calidad de la línea
  - compresión de *header*

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-17

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocolos de Control de PPP Network Control Protocol

- configuración de aspectos de capa red
- NCP para IP: IPCP
  - asignación de dirección IP
  - asignación de direcciones de servidores DNS

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-18

---

---

---

---

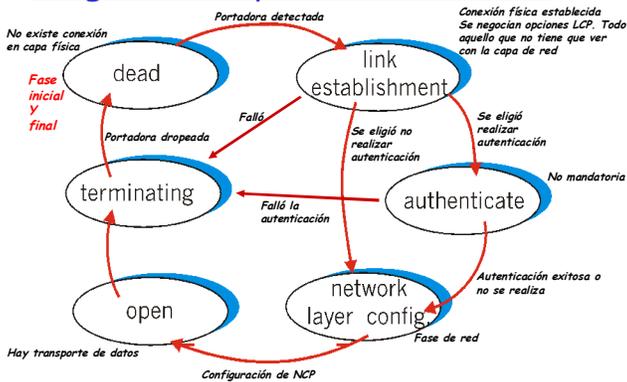
---

---

---

---

## Diagrama simplificado de fases



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-19

---

---

---

---

---

---

---

---

## Virtualización en Internet

- En la evolución del estudio de capa de enlace:
- Cable que conecta dos computadoras → múltiples computadoras conectadas por un cable compartido y ese "cable" puede ser el aire → infraestructura de switches
- Por lo tanto, hemos ido agregando "complejidad" en el canal de interconexión, pero para los hosts sigue siendo "la capa de enlace entre nodos adyacentes"
- En el caso de PPP utilizado en el acceso discdo a Internet, se virtualiza completamente la red telefónica ("es un cable")

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-20

---

---

---

---

---

---

---

---

## ATM y MPLS

- Las redes ATM y MPLS (circuitos virtuales, conmutación de paquetes, con sus formas propias de paquetes y técnicas de *forwarding*) se pueden ver como tecnologías de capa de enlace que interconectan dispositivos IP.
  - MPLS: *Multiprotocol Label Switching*
  - ATM: *Asynchronous Transfer Mode*

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-21

---

---

---

---

---

---

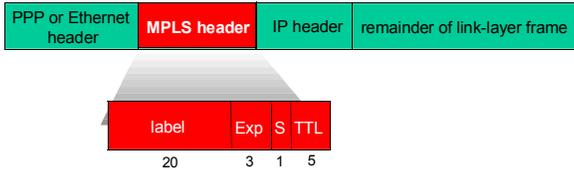
---

---

## Multiprotocol label switching (MPLS)

Principal Objetivo: mejorar la velocidad del *forwarding* en redes IP, utilizando una etiqueta de longitud fija (en lugar de la dirección IP)

Utiliza ideas tomadas de los Circuitos Virtuales (VC) pero mantiene datagramas IP con su dirección



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-22

---

---

---

---

---

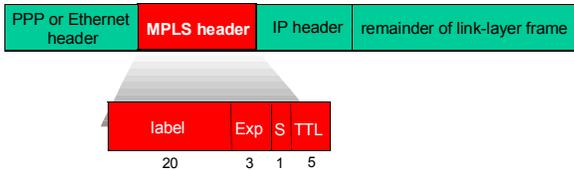
---

---

---

## Multiprotocol label switching (MPLS)

- **Label:** identifica el circuito virtual por donde es transmitido el datagrama IP
- **Exp:** utilizado para uso experimental
- **S:** como pueden anidarse etiquetas, MPLS permite que un CV virtual viaje a través de otro
  - La etiqueta final tendrá el bit S activado
- **TTL:** tiempo de vida



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-23

---

---

---

---

---

---

---

---

## MPLS routers (label-switched)

- Los routers requieren tener manejo de MPLS, para poder administrar y forwardear. Por ésto son conocidos como *label-switched router*
- Realizan el forwardeo basados únicamente en la etiqueta MPLS, sin inspeccionar la dirección IP del datagrama que transportan
- La tabla de forwardeo es diferente a la utilizada por los routers IP estandar
- Existe un protocolo de señalización especial, para el establecimiento de CV (RSVP-TE)
- Por sus capacidades es muy utilizado en soluciones de ingeniería de tráfico
- Se necesita que convivan con routers que manejan solamente IP

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-24

---

---

---

---

---

---

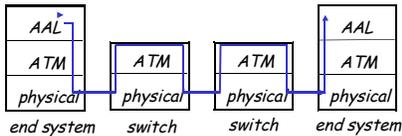
---

---



## ATM Adaptation Layer (AAL)

- ATM **Adaptation Layer (AAL)**: "adapta" las capas superiores (IP o aplicaciones ATM nativas) a la capa ATM de abajo
- AAL está presente **solamente** en los **end systems**, no en los **switches**
- Los PDUs de la capa AAL son fragmentados en múltiples celdas ATM



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

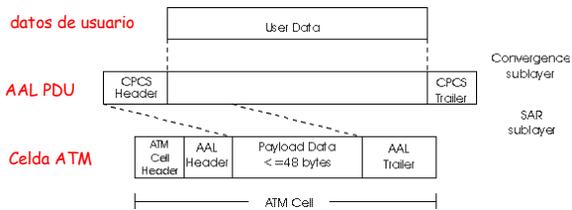
---

---

## ATM Adaptation Layer (AAL), más...

Diferentes "sabores" de capas AAL, dependiendo de la clase de servicio ATM:

- **AAL1**: para servicios CBR (*Constant Bit Rate*), p.e. E1, T1
- **AAL2**: para servicios VBR (*Variable Bit Rate*), p.e., MPEG video
- **AAL5**: para datos (p.e., datagramas IP)



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-29

---

---

---

---

---

---

---

---

---

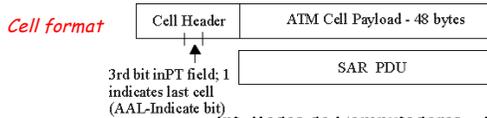
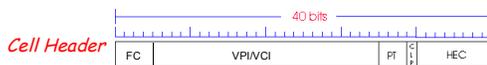
---

---

---

## Capa ATM: celda ATM

- Encabezado de 5 bytes
- Carga útil de 48 bytes
  - ¿Por qué?: payload pequeño -> corto retardo de creación de la celda; para voz digitalizada
  - semisuma de 32 y 64



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Encabezado de la celda ATM

- **FC:** Control de flujo
  - Sólo se utiliza en el borde de la red
- **VPI/VCI:** *Virtual Path ID / Virtual Channel ID*
  - Uno por cada VC
  - 24 bits
  - VPI: camino; 8 bits
  - VCI: un VC; 16 bits
  - cambia de *link* a *link* a través de la red (*label switching*)
- **PT:** *Payload Type* (p.e. celda de gestión, celda de datos)
- **CLP:** *Cell Loss Priority bit*
  - CLP = 1 implica celda de baja prioridad, puede ser descartada si hay congestión
- **HEC:** *Header Error Checksum*
  - Cyclic Redundancy Check
  - Detección y algunas correcciones



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Capa ATM: Circuitos Virtuales

- **transporte VC:** celdas llevadas en VC desde el origen al destino
  - establecimiento de llamada
  - cada paquete lleva identificador de VC (no ID de destino)
  - *cada switch* en el camino entre el origen y el destino mantiene el "estado" para cada conexión que pasa por él
  - enlace, recursos de conmutación (ancho de banda, *buffers*) pueden ser reservados al VC: para tener una comportamiento *circuit-like*
- **Permanent VCs (PVCs)**
  - conexiones larga vida; estáticas
  - Establecimiento: *provisioning*
  - típicamente: encaminado "permanente" entre *routers* IP
- **Switched VCs (SVC):**
  - establecidos dinámicamente
  - *signaling* entre el *host* y el switch ATM
  - Protocolo de señalización PNNI (*Private Network to Network Interface*)
  - VPI/VCI para control

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## ATM VCs

- **Ventajas de ATM VC:**
  - *Performance* de QoS garantizada para la conexión mapeada al VC (ancho de banda, retardo, *jitter*)
- **Desventajas de ATM VC:**
  - un PVC entre cada pareja origen/destino: no escala
  - SVC introduce la latencia del establecimiento de la llamada, *overhead* de procesamiento para conexiones de corta vida

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Capa ATM

**Servicio:** transportar celdas a través de la red ATM

- análogo a la capa de red IP
- servicios muy diferentes a los de la capa de red IP

- CBR: *Constant Bit Rate*
  - Velocidad constante fija y retardo máximo
  - Reserva de recursos
- VBR: *Variable Bit Rate*
  - Aplicaciones sensibles al tiempo (retardo y jitter)
  - Velocidad pico y promedio
  - Pueden haber ráfagas
  - Reserva de recursos
- ABR: *Available Bit Rate*
  - Velocidad pico y mínima de celdas
  - Reserva de recursos
- UBR: *Unspecified Bit Rate*
  - Retardos variables y ciertas tasas de pérdidas
  - No hay reserva de recursos ni toma en cuenta la congestión

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-34

---

---

---

---

---

---

---

---

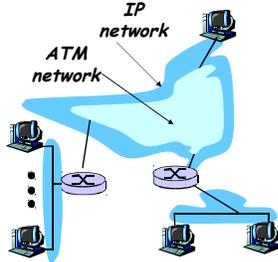
## ATM: ¿capa de red o capa de enlace?

**Visión:** transporte *end-to-end*: "ATM desde el desktop al desktop"

- ATM es una tecnología de red

**Realidad:** utilizado para conectar los routers del *backbone* IP

- "IP over ATM"
- ATM como una capa de enlace *switched*, conectando routers IP



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-35

---

---

---

---

---

---

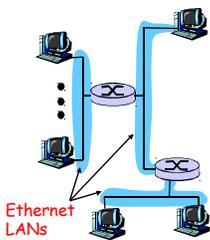
---

---

## IP sobre ATM

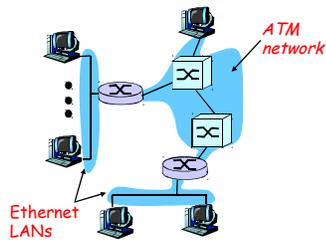
**IP Clásico**

- 3 "redes" (p.e., segmentos LAN)
- direcciones MAC (802.3) e IP



**IP sobre ATM**

- reemplaza "red" (p.e., segmento LAN) con red ATM
- direcciones ATM e IP



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-36

---

---

---

---

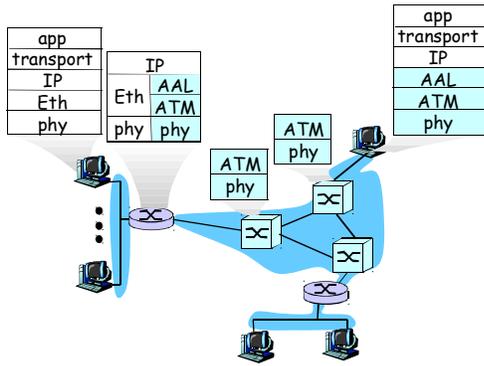
---

---

---

---

## IP sobre ATM



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-37

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Viaje de datagrama en red IP sobre ATM

- **en el host origen:**
  - La capa IP mapea entre las direcciones destino IP y ATM (utilizando ARP)
  - Pasa los datagramas a AAL5
  - AAL5 encapsula los datos, segmenta en celdas y las pasa a la capa ATM
- **red ATM:** mueve celdas a través de VC hacia el destino
- **en el host destino:**
  - AAL5 re-ensambla las celdas en el datagrama original
  - si CRC OK, el datagrama es pasado a IP

Int. Redes de Computadores – Capa de 5-38

---

---

---

---

---

---

---

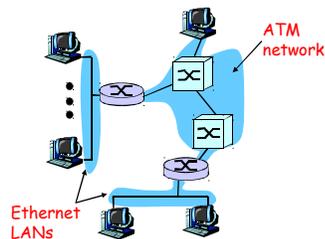
---

---

---

## IP sobre ATM

- datagramas IP dentro de PDUs de ATM AAL5
- de direcciones IP a direcciones ATM
  - igual que de direcciones IP a direcciones MAC 802.3
  - protocolo ATMARP (RFC 2225)



Int. Redes de Computadores – Capa de 5-39

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---