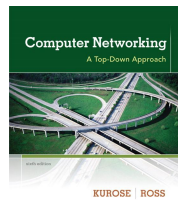


Capítulo 5 Capa de enlace



Redes de computadoras: un enfoque de arriba hacia abajo
6ª edición
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley
Marzo de 2012

Una nota sobre el uso de estas diapositivas ppt:
Nosotros/Estamos poniendo estas diapositivas a disposición de todos (profesores, estudiantes, lectores). Ellos/están en forma de PowerPoint para que veas las animaciones; y puede agregar, modificar y eliminar diapositivas (incluida esta) y contenido de diapositivas para satisfacer sus necesidades. Obviamente representan mucho trabajo de nuestra parte. A cambio de su uso, si ~~usted es profesor~~ (por ejemplo, en una clase), menciona su fuente (después de todo, ¿me gustaría que la gente usara nuestro libro?).
♦ Si publica diapositivas en un sitio web, debe tener en cuenta que están adaptadas (o tal vez sean idénticas) a nuestras diapositivas, y tenga en cuenta nuestros derechos de autor de este material.

Gracias y disfruta! JFK / KWR

©do el material tiene copyright 1996-2012
Kurose y KW Ross, todos los derechos reservados

Capa de enlace

5-1

Capítulo 5: Capa de enlace

nuestras metas:

- ♦ comprender los principios detrás de los servicios de capa de enlace:
 - detección de errores, corrección
 - compartir un canal de transmisión: acceso múltiple
 - direccionamiento de la capa de enlace
 - redes de área local: Ethernet, VLAN
- ♦ creación de instancias, implementación de varias tecnologías de capa de enlace

Capa de enlace, LANs: contorno

- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - subredes
 - VLAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

Enlace Capa

5-3

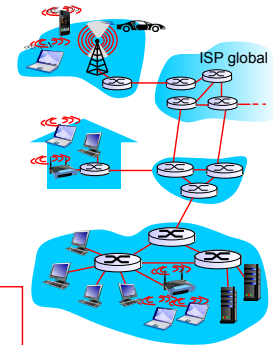
Capa de enlace: introducción

terminología:

- ♦ hosts y enrutadores: **nodos**
- ♦ canales de comunicación que conectan nodos adyacentes a lo largo de la ruta de comunicación: **Enlaces**
 - enlaces cableados
 - enlaces inalámbricos
 - LAN
- ♦ paquete de capa 2: **marco**, encapsula el datagrama

Capa de enlace de datos tiene la responsabilidad de transfiriendo datagrama desde un nodo

a físicamente adyacente nodo sobre



Enlace Capa

5-4

Capa de enlace: contexto

- ♦ datagrama transferido por diferentes protocolos de enlace a través de diferentes enlaces:
 - p. ej., Ethernet en el primer enlace, retransmisión de tramas en enlaces intermedios, 802.11 en el último enlace
- ♦ cada protocolo de enlace proporciona diferentes servicios
 - por ejemplo, puede o no proporcionar rdt a través del enlace
- analogía del transporte:**
 - ♦ viaje de Princeton a Lausana
 - limusina: Princeton a JFK
 - avión: JFK a Ginebra
 - tren: Ginebra a Lausana
 - ♦ turista = **datagrama**
 - ♦ segmento de transporte = **Enlace de comunicación**
 - ♦ modo de transporte = **protocolo de capa de enlace**
 - ♦ agente de viajes = **algoritmo de enrutamiento**

Enlace Capa

5-5

Servicios de capa de enlace

- ♦ **encuadre, acceso al enlace:**
 - encapsular el datagrama en el marco, agregar encabezado, avance
 - acceso al canal si es un medio compartido
 - "MAC" direcciones utilizadas en los encabezados de los marcos para identificar la fuente, el destino
 - diferente de la dirección IP!
- ♦ **entrega confiable entre nodos adyacentes**
 - ¡Ya aprendimos cómo hacer esto (capítulo 3)!
 - rara vez se usa en enlaces con poco error de bits (fibra, algunos pares trenzados)
 - enlaces inalámbricos: altas tasas de error
 - Q: ¿Por qué confiabilidad tanto a nivel de enlace como a nivel de extremo?

Enlace Capa

5-6

Servicios de capa de enlace (más)

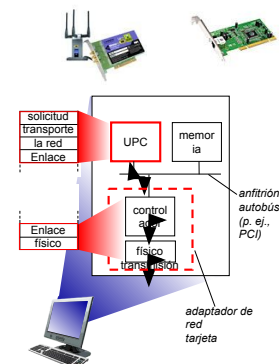
- ♦ **control de flujo:**
 - ritmo entre los nodos de envío y recepción adyacentes
- ♦ **detección de errores:**
 - errores causados por atenuación de la señal, ruido.
 - receptor detecta presencia de errores:
 - emisor de señales para retransmisión o caída de trama
- ♦ **error de corrección:**
 - el receptor identifica y corrige error (s) de bit sin recurrir a la retransmisión
- ♦ **semidúplex y dúplex completo**
 - con semidúplex, los nodos en ambos extremos del enlace pueden transmitir, pero no al mismo tiempo

Enlace Capa

5-7

¿Dónde se implementa la capa de enlace?

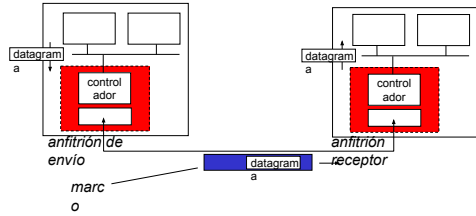
- ♦ en todos y cada uno de los anfitriones
- ♦ capa de enlace implementada en "adaptador" (también conocido como **Tarjeta de interfaz de red NIC**) o en un chip
 - Tarjeta Ethernet, tarjeta 802.11; Conjunto de chips Ethernet
 - implementa enlace, capa física
- ♦ se adjunta al host's buses del sistema
- ♦ combinación de hardware, software, firmware



Enlace Capa

5-8

Adaptadores comunicando



- ❖ lado de envío:
 - encapsula el datagrama en el marco
 - agrega bits de verificación de errores, rdt, control de flujo, etc.
- ❖ lado receptor
 - busca errores, rdt, control de flujo, etc
 - extrae el datagrama, pasa a la capa superior al recibir lado

Enlace Capa

5-9

Capa de enlace, LANs: contorno

- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección, corrección de errores
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - sbrujas
 - VLAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

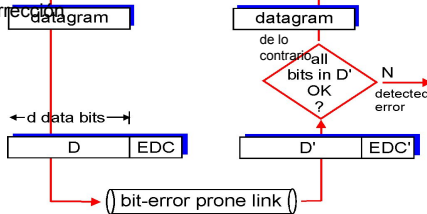
Enlace Capa

5-10

Detección de errores

EDC = Bits de detección y corrección de errores (redundancia)
D = Datos protegidos por verificación de errores, pueden incluir campos de encabezado

- ¡La detección de errores no es 100% fiable!
- el protocolo puede pasar por alto algunos errores, pero rara vez
- un campo EDC más grande produce una mejor detección y corrección



Enlace Capa

5-11

Comprobación de paridad

paridad de un solo bit:

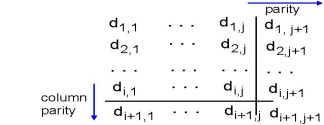
- ❖ Detectar errores de un solo bit

← d data bits → parity bit

0111000110101011 0

paridad de bits bidimensional:

- ❖ detectar y corregir errores de un solo bit



101011 101011
111100 101100 parity error
011101 011101
001010 001010
no errors parity error
correctable single bit error

Enlace Capa

5-12

Suma de comprobación de Internet (revisión)

objetivo: detectar "errores" (por ejemplo, bits invertidos) en el paquete transmitido (nota: se usa en la capa de transporte solo)

remite:

- ❖ tratar el contenido del segmento como una secuencia de enteros de 16 bits
- ❖ suma de comprobación: suma (1's suma del complemento) del contenido del segmento
- ❖ el remitente pone el valor de suma de control en el campo de suma de control UDP

receptor:

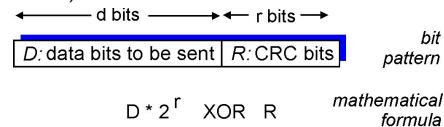
- ❖ calcular la suma de comprobación del segmento recibido
- ❖ compruebe si la suma de comprobación calculada es igual al valor del campo de suma de comprobación:
 - NO - error detectado
 - Sí, no se detectó ningún error. ¿Pero tal vez errores de todos modos?

Enlace Capa

5-13

Verificación de redundancia cíclica

- ❖ codificación de detección de errores más potente
- ❖ ver bits de datos, D , como un número binario
- ❖ elija $r + 1$ patrón de bits (generador), **GRAMO**
- ❖ objetivo: elija r bits CRC, R , tal que
 - $\langle D, R \rangle$ exactamente divisible por G (módulo 2)
 - el receptor conoce G , divide $\langle D, R \rangle$ por G . Si el resto es distinto de cero: ¡error detectado!
 - puede detectar todos los errores de ráfaga de menos de $r + 1$ bits
- ❖ ampliamente utilizado en la práctica (Ethernet, 802.11 WiFi, ATM)



Enlace Capa

5-14

Ejemplo de CRC

querer:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

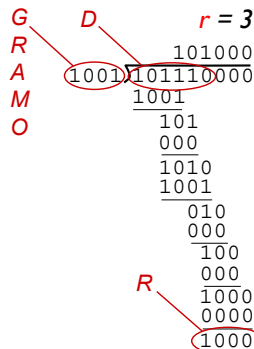
equivalentemente:

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

equivalentemente:

si dividimos $D \cdot 2^r$ por G , quiere que el resto R satisfaga:

$$R = \text{resto} \parallel \text{GRAMO}$$



Enlace Capa

5-15

Capa de enlace, LANs: contorno

- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 protocolos de acceso múltiple
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - sbrujas
 - VLAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

Enlace Capa

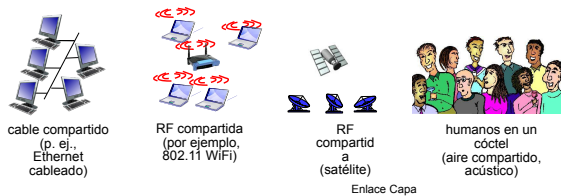
5-16

Múltiples enlaces de acceso,

protocolos

dos tipos de "Enlaces":

- ❖ punto a punto
 - PPP para acceso telefónico
 - enlace punto a punto entre conmutador Ethernet, host
- ❖ **transmisión (cable compartido o medio)**
 - Ethernet anticuado
 - HFC aguas arriba
 - LAN inalámbrica 802.11



5-17

Múltiples protocolos de acceso

- ❖ único canal de transmisión compartido
- ❖ dos o más transmisiones simultáneas por nodos: interferencia
 - **colisión** si el nodo recibe dos o más señales al mismo tiempo

protocolo de acceso múltiple

- ❖ algoritmo distribuido que determina cómo los nodos comparten el canal, es decir, determina cuándo el nodo puede transmitir
- ❖ la comunicación sobre el intercambio de canales debe usar el canal mismo.
 - sin canal fuera de banda para coordinación

Enlace Capa

5-18

Un protocolo de acceso múltiple ideal

dado: canal de transmisión de tasa R bps

desiderata:

1. cuando un nodo quiere transmitir, puede enviar a la tasa R .
2. cuando M nodos quieren transmitir, cada uno puede enviar a una tasa promedio R / M
3. totalmente descentralizado:
 - ningún nodo especial para coordinar las transmisiones
 - sin sincronización de relojes, ranuras
4. simple

Enlace Capa

5-19

Protocolos MAC: taxonomía

tres amplias clases:

- ❖ **partición de canales**
 - dividir el canal en más pequeño "piezas" (franjas horarias, frecuencia, código)
 - asignar pieza a nodo para uso exclusivo
- ❖ **acceso aleatorio**
 - canal no dividido, permitir colisiones
 - "recuperar" de colisiones
- ❖ **"Escogiendo turnos"**
 - los nodos se turnan, pero los nodos con más para enviar pueden tomar turnos más largos

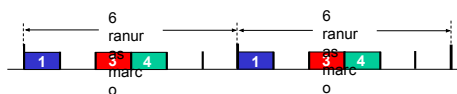
Enlace Capa

5-20

Protocolos MAC de partición de canales: TDMA

TDMA: acceso múltiple por división de tiempo

- ❖ acceso al canal en "rondas"
- ❖ cada estación obtiene un intervalo de longitud fija (longitud = tiempo de transp. pkt) en cada ronda
- ❖ las tragamonedas no utilizadas quedan inactivas
- ❖ ejemplo: LAN de 6 estaciones, 1,3,4 tienen paquete, ranuras 2,5,6 inactivas



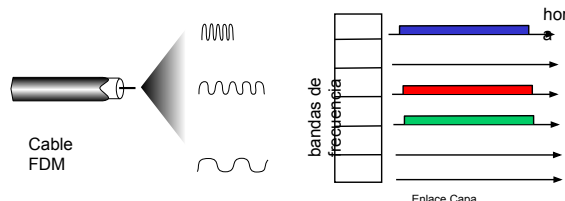
Enlace Capa

5-21

Protocolos MAC de partición de canales: FDMA

FDMA: acceso múltiple por división de frecuencia

- ❖ espectro de canales dividido en bandas de frecuencia
- ❖ a cada estación se le asignó una banda de frecuencia fija
- ❖ el tiempo de transmisión no utilizado en las bandas de frecuencia queda inactivo
- ❖ ejemplo: LAN de 6 estaciones, 1,3,4 tienen pkt, bandas de frecuencia 2,5,6 inactivas



Enlace Capa

5-22

Protocolos de acceso aleatorio

- ❖ cuando el nodo tiene un paquete para enviar
 - transmitir a velocidad de datos de canal completa R .
 - No *a priori* coordinación entre nodos
- ❖ dos o más nodos transmisores → "colisión",
- ❖ **protocolo MAC de acceso aleatorio** especifica:
 - como detectar colisiones
 - cómo recuperarse de colisiones (por ejemplo, a través de retransmisiones retrasadas)
- ❖ ejemplos de protocolos MAC de acceso aleatorio:
 - ALOHA ranurado
 - ALOHA
 - CSMA, CSMA / CD, CSMA / CA

Enlace Capa

5-23

Ranurado ALOHA

supuestos:

- ❖ todos los marcos del mismo tamaño
- ❖ tiempo dividido en ranuras de igual tamaño (tiempo para transmitir 1 fotograma)
- ❖ los nodos comienzan a transmitir solo el comienzo de la ranura
- ❖ los nodos están sincronizados
- ❖ si 2 o más nodos transmiten en la ranura, todos los nodos detectan colisión

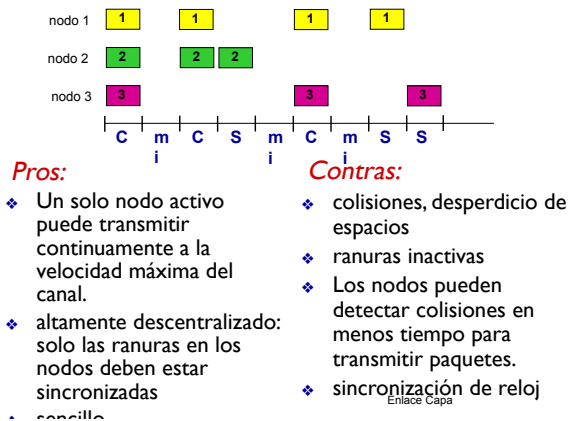
operación:

- ❖ cuando el nodo obtiene una trama nueva, transmite en la siguiente ranura
 - **si no hay colisión:** el nodo puede enviar una nueva trama en la siguiente ranura
 - **si colisión:** El nodo retransmite la trama en cada ranura subsiguiente con el problema. p hasta el éxito

Enlace Capa

5-24

Ranurado ALOHA



5-25

Ranurado ALOHA: eficiencia

eficiencia: largo plazo fracción de tramos exitosos (muchos nodos, todos con muchos marcos para enviar)

- suponer: n nodos con muchas tramas para enviar, cada uno transmite en la ranura con probabilidad p
- problema de que un nodo dado tiene éxito en una ranura = $p \cdot (1-p)^{N-1}$
- prob que alguna el nodo tiene éxito = $Np \cdot (1-p)^{N-1}$

- eficiencia máxima: encuentre p^* que maximice $Np \cdot (1-p)^{N-1}$
- para muchos nodos, tome el límite de $Np \cdot (1-p)^{N-1}$ cuando N va al infinito, da:

$$\text{eficiencia máxima} = 1/e =$$

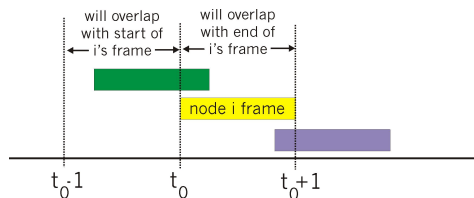
¡no mejor: canal utilizado para útil transmisiones 37% ¡de tiempo!

Enlace Capa

5-26

Puro (sin ranuras) ALOHA

- Aloha sin ranura: más simple, sin sincronización
- cuando llega el marco por primera vez
 - transmitir inmediatamente
- aumenta la probabilidad de colisión:
 - marco enviado en t_0 colisiona con otras tramas enviadas en $[t_0-1, t_0+1]$



Enlace Capa

5-27

Puro ALOHA eficiencia

P (éxito por nodo dado) = P (el nodo transmite) · P (ningún otro nodo transmite en $[t_0-1, t_0]$) · P (ningún otro nodo transmite en $[t_0, t_0+1]$)

$$= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1}$$

$$= p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

... eligiendo p óptimo y luego dejando $n \rightarrow \infty$

$$= 1 / (2e) = .18$$

incluso peor que Aloha ranurado!

Enlace Capa

5-28

CSMA (acceso múltiple con detección de portadora)

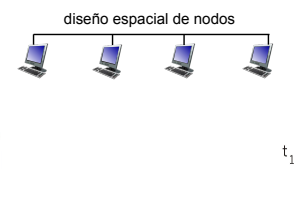
- CSMA:** escuchar antes de transmitir:
- si el canal se detecta inactivo: transmitir cuadro completo
 - si el canal se detecta ocupado, diferir la transmisión
 - analogía humana: don't interrupt a los demás!

Enlace Capa

5-29

Colisiones CSMA

- colisiones **lata** todavía ocurren: El retardo de propagación significa que es posible que dos nodos no se escuchen entre sí's transmisión
- colisión: Se pierde todo el tiempo de transmisión de paquetes.
 - La distancia y el retardo de propagación juegan un papel en la determinación de la probabilidad de colisión.



Enlace Capa

5-30

CSMA / CD (detección de colisiones)

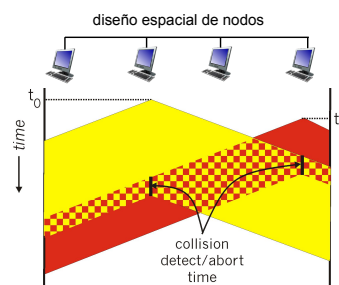
CSMA / CD: detección de portador, aplazamiento como en CSMA

- colisiones **detectado** en poco tiempo
- Transmisiones colisionadas abortadas, reduciendo el desperdicio de canales.
- detección de colisiones:
 - fácil en redes LAN cableadas: mida la intensidad de la señal, compare las señales transmitidas y recibidas
 - Difícil en las LAN inalámbricas: la intensidad de la señal recibida se ve abrumada por la intensidad de la transmisión local
- analogía humana: el conversador educado

Enlace Capa

5-31

CSMA / CD (detección de colisiones)



Enlace Capa

5-32

Algoritmo Ethernet CSMA / CD

1. NIC recibe datagramas de la capa de red, crea tramas
2. Si la NIC detecta que el canal está inactivo, inicia la trama transmisión. Si la NIC detecta que el canal está ocupado, espera hasta que el canal esté inactivo, luego transmite.
3. Si la NIC transmite la trama completa sin detectar otra transmisión, la NIC termina con la trama.
4. Si NIC detecta otra transmisión mientras transmite, aborta y envía una señal de atasco
5. Después de abortar, NIC ingresa **retroceso binario (exponencial)**:
 - después *metrocolisión*, NIC elige K al azar de $\{0, 1, 2, \dots, 2^{\text{metro}} - 1\}$. NIC espera $K \cdot \text{Tiempo de 512 bits}$, vuelve al paso 2
 - intervalo de retroceso más largo con más colisiones

Enlace Capa

5-33

Eficiencia CSMA / CD

- ❖ $T_{\text{apuntalar}} = \text{retardo máximo de prop entre 2 nodos en LAN}$
- ❖ $t_{\text{trans}} = \text{tiempo para transmitir la trama de tamaño máximo}$

$$\text{efficiency} = \frac{1}{1 + 5t_{\text{prop}}/t_{\text{trans}}}$$

- ❖ la eficiencia va a 1
 - como $t_{\text{apuntalar}}$ va a 0
 - como t_{trans} va al infinito
- ❖ mejor rendimiento que ALOHA: y simple, barato, descentralizado!

Enlace Capa

5-34

"Escogiendo turnos" MAC protocolos

protocolos MAC de particionamiento de canales:

- compartir canal *eficientemente y equitativamente* a alta carga
- ineficaz con poca carga: retraso en el acceso al canal, $1/N$ de ancho de banda asignado incluso si solo hay 1 nodo activo!

protocolos MAC de acceso aleatorio

- eficiente con poca carga: un solo nodo puede utilizar completamente el canal
- carga alta: colisión aérea

"Escogiendo turnos" protocolos

¡Busque lo mejor de ambos mundos!

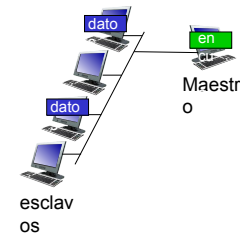
Enlace Capa

5-35

"Escogiendo turnos" Protocolos MAC

votación:

- ❖ nodo maestro "invita" nodos esclavos para transmitir a su vez
- ❖ normalmente usado con "tonta" dispositivos esclavos
- ❖ preocupaciones:
 - sobrecarga de sondeo
 - latencia
 - único punto de falla (maestro)



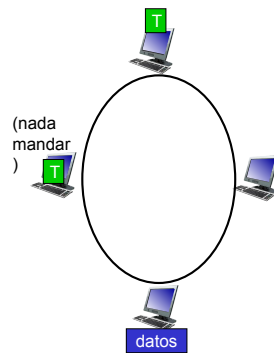
Enlace Capa

5-36

"Escogiendo turnos" Protocolos MAC

pase de token:

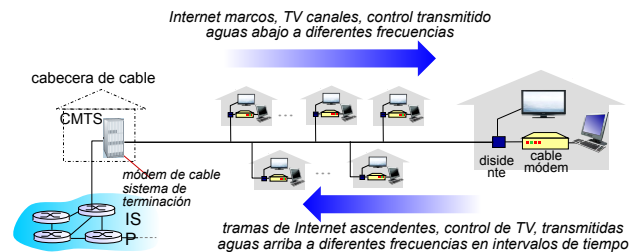
- ❖ control **simbólico** pasó de un nodo al siguiente secuencialmente.
- ❖ mensaje simbólico
- ❖ preocupaciones:
 - token sobrecarga
 - latencia
 - único punto de falla (token)



Enlace Capa

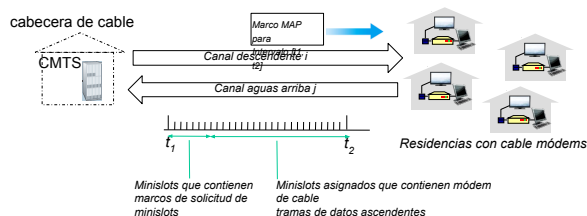
5-37

Red de acceso por cable



- ❖ **múltiple** Canales de bajada (difusión) de 40 Mbps
 - CMTS único transmite a canales
- ❖ **múltiple** Canales ascendentes de 30 Mbps
 - acceso multiple:** todas los usuarios compiten por ciertos intervalos de tiempo del canal ascendente (otros asignados)

Red de acceso por cable



DOCSIS: datos sobre especificaciones de interfaz de servicio de cable

- ❖ FDM sobre canales de frecuencia ascendentes y descendentes
- ❖ TDM upstream: algunas ranuras asignadas, algunas tienen contención
 - trama MAP descendente: asigna ranuras ascendentes
 - solicitud de ranuras (y datos) ascendentes transmitidos

Enlace Capa

5-39

Resumen de MAC protocolos

- ❖ **partición de canales**, por tiempo, frecuencia o código
 - División de tiempo, división de frecuencia
- ❖ **acceso aleatorio** (dinámica),
 - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA / CD
 - detección de portadora: fácil en algunas tecnologías (cable), difícil en otras (inalámbrica)
 - CSMA / CD utilizado en Ethernet
 - CSMA / CA utilizado en 802.11
- ❖ **Escogiendo turnos**
 - sondeo desde el sitio central, pase de tokens
 - Bluetooth, FDDI, anillo simbólico

Enlace Capa

5-40

Capa de enlace, LANs: contorno

- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - sbujas
 - VLAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

MAC direcciones y ARP

- ❖ Dirección IP de 32 bits:
 - capa de red dirección para interfaz
 - utilizado para el reenvío de capa 3 (capa de red)
- ❖ Dirección MAC (o LAN o física o Ethernet):
 - función: *se utiliza "localmente" para obtener el marco de una interfaz a otra interfaz conectada físicamente (la misma red, en el sentido de direccionamiento IP)*
 - Dirección MAC de 48 bits (para la mayoría de las LAN) grabada en la NIC ROM, a veces también configurable por software
 - por ejemplo: 1A-2F-BB-76-09-AD
 - notación hexadecimal (base 16)
 - (cada "número" representa 4 bits)

Enlace Capa

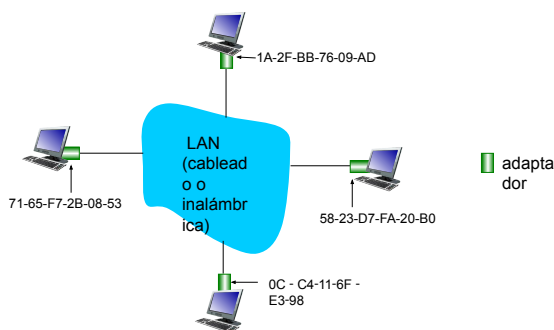
5-41

Enlace Capa

5-42

Direcciones LAN y ARP

cada adaptador en LAN tiene un **LAN** habla a



Enlace Capa

5-43

Enlace Capa

5-44

Direcciones LAN (más)

- ❖ Asignación de direcciones MAC administrada por IEEE
- ❖ el fabricante compra parte del espacio de direcciones MAC (para asegurar la singularidad)
- ❖ analogía:
 - Dirección MAC: como número de seguro social
 - Dirección IP: como dirección postal
- ❖ Dirección MAC plana → portabilidad
 - puede mover la tarjeta LAN de una LAN a otra
- ❖ Dirección IP jerárquica *no* portátil
 - la dirección depende de la subred IP a la que está conectado el nodo

ARP: protocolo de resolución de direcciones

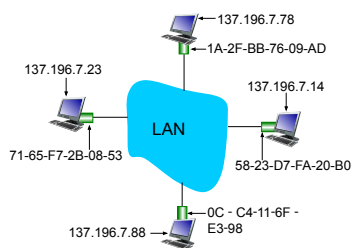
Pregunta: como determinar la dirección MAC de la interfaz, conociendo su dirección IP?

Tabla ARP: cada El nodo IP (host, enrutador) en la LAN tiene mesa

- Asignaciones de direcciones IP / MAC para algunos nodos LAN:

<Dirección IP; Dirección MAC; TTL>

- TTL (Time To Live): tiempo después del cual se olvidará el mapeo de direcciones (normalmente 20 minutos)



Enlace Capa

5-45

Protocolo ARP: misma LAN

- ❖ A quiere enviar datagrama a B
 - B's La dirección MAC no está en A's Tabla ARP.
- ❖ A **retransmisiones** Paquete de consulta ARP, que contiene la dirección IP de B
 - dirección MAC de destino = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - todos los nodos en LAN reciben consulta ARP
- ❖ B recibe el paquete ARP, responde a A con su dirección MAC (de B)
 - trama enviada a A's dirección MAC (unidifusión)
- ❖ Un caché (guarda) un par de direcciones IP a MAC en su tabla ARP hasta que la información se vuelve vieja (se agota el tiempo de espera)
 - estado suave: información que se agota (desaparece) a menos que se actualice
- ❖ ARP es "conecta y reproduce":
 - los nodos crean sus tablas ARP sin intervención del administrador de la red

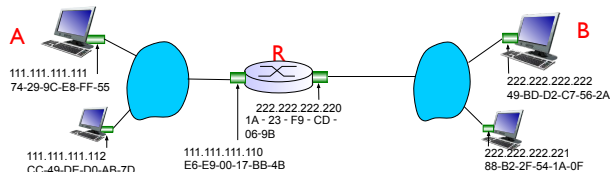
Enlace Capa

5-46

Direccionamiento: enrutamiento a otra LAN

recorrido: **enviar datagrama de A a B a través de R**

- centrarse en el direccionamiento: en IP (datagrama) y capa MAC (trama)
- suponga que A conoce a B's dirección IP
- suponga que A conoce la dirección IP del enrutador de primer salto, R (¿cómo?)
- suponga que A conoce a R's dirección MAC (¿cómo?)

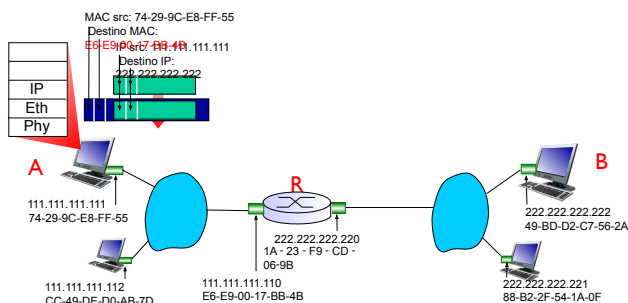


Enlace Capa

5-47

Direccionamiento: enrutamiento a otra LAN

- A crea un datagrama IP con la fuente IP A, el destino B
- A crea una trama de capa de enlace con la dirección MAC de R como destino, la trama contiene un datagrama IP de A a B



Enlace Capa

5-48

~~otra LAN~~

-
- The diagram illustrates the Enlace Capa (Link Layer) architecture. It shows two hosts, A and B, connected via a central router. Host A has MACs 74-29-9C-E8-FF-55 and 111.111.111.111. Host B has MACs 49-8D-D2-C7-56-2A and 222.222.222.222. The router has MACs 11A-23-F9-CD-06-9B and 111.111.111.110. The diagram highlights the MAC and IP addresses for each device and the corresponding network interfaces (IP, Eth, Phy).

~~otra LAN~~

- [illegible]

~~otra LAN~~

-
- MAC src: 1A - 23 - F9 - CD - 06-9B
 Destination MAC: 111.111.111.111
 49-BD-D2-C7-56-2A
- IP
 Eth
 Phy
- 111.111.111.111
 74-29-9C-E8-FF-55
- 111.111.112
 CC-49-DE-D0-AB-7D
- 222.222.222.220
 1A-23-F9-CD-06-9B
- 111.111.111.110
 E6-E9-00-17-BB-4B
- 222.222.222.221
 49-BD-D2-C7-56-2A
- 222.222.221
 88-B2-2F-54-1A-0F
- Enlace Capa
- 5-50

~~otra LAN~~

-
- Diagram illustrating a network topology for a security exercise. The topology consists of a central router (R) connected to two blue cloud regions, A and B.
- Router (R) Interfaces:**
- Interface 1: 222.222.222.220 (1A-23-F9-CD-06-9B)
 - Interface 2: 111.111.111.110 (E6-E9-00-17-BB-4B)
- Region A (Left Cloud):**
- Host 1: 111.111.111.111 (74-29-9C-E8-FF-55)
 - Host 2: 111.111.111.112 (CC-49-DE-D0-AB-7D)
- Region B (Right Cloud):**
- Host 1: 222.222.222.222 (49-BD-D2-C7-56-2A)
 - Host 2: 222.222.222.221 (88-B2-2F-54-1A-0F)
- A red arrow points from the router's interface 222.222.222.220 to a detailed view of the network stack. The stack shows a packet header with the following fields:
- Source IP: 111.111.111.111
 - Destination IP: 222.222.222.222
 - Source MAC: 49-BD-D2-C7-56-2A
 - Destination MAC: 49-BD-D2-C7-56-2A
- The stack is divided into three layers, as indicated by the table on the right:
- | Layer | Protocol |
|-------|-------------|
| IP | IP |
| Eth | Ethernet II |
| Phy | Physical |
- The diagram is labeled "Enlace Capa" at the bottom left and "5-52" at the bottom right.

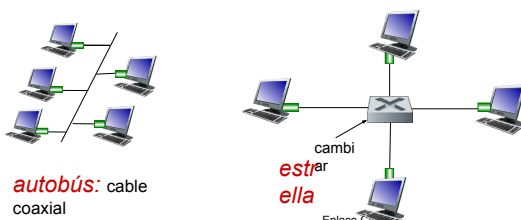
- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

- Enlace Capa 5-53

Diagram illustrating a bus topology network. A central horizontal line represents the bus. On the left, a 'TAP' connects to a 'TRANSCEIVER' (marked with an 'X'). On the right, a 'STATION' (marked with an 'I') is connected. Below the bus, three computer icons are connected via 'INTERFACE CONTROLLER' blocks. A 'TERMINATOR' is at the far right end of the bus. A yellow arrow labeled 'THE ETHER' points to the bus line.

- ❖ 7 bytes con el patrón 10101010 seguido de un byte con el patrón 10101011
- ❖ utilizado para sincronizar el receptor; las velocidades del reloj del remitente

- ❖ **autobús:** popular hasta mediados de los 90
 - todos los nodos en el mismo dominio de colisión (pueden chocar entre sí)
- ❖ **estrella:** prevalece hoy
 - activo **cambiar** en el centro
 - cada "habló" ejecuta un protocolo Ethernet (separado) (los nodos no chocan entre sí)



Estructura de la trama de Ethernet

(más)

- ❖ **direcciones:** 6 origen de bytes, direcciones MAC de destino
 - si el adaptador recibe una trama con una dirección de destino coincidente, o con una dirección de transmisión (por ejemplo, un paquete ARP), pasa los datos en la trama al protocolo de capa de red
 - de lo contrario, el adaptador descarta el marco
- ❖ **tipo:** indica un protocolo de capa superior (principalmente IP pero otros posibles, por ejemplo, Novell IPX, AppleTalk)
- ❖ **CRC:** verificación de redundancia cíclica a receptor



Enlace Capa

5-57

Ethernet: no confiable, sin conexión

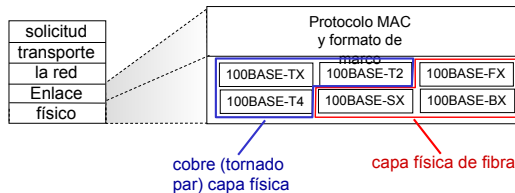
- ❖ **sin conexión:** sin protocolo de enlace entre el envío y la recepción de NIC
- ❖ **no fidedigno:** recibir NIC no envía acks o nacks al envío de NIC
 - los datos en los fotogramas descartados se recuperan solo si el remitente inicial utiliza rdt de capa superior (por ejemplo, TCP); de lo contrario, se pierden los datos descartados
- ❖ Ethernet's Protocolo MAC: sin ranura **CSMA / CD con retroceso binario**

Enlace Capa

5-58

Estándares Ethernet 802.3: enlaces y capas físicas

- ❖ **muchos** diferentes estándares de Ethernet
 - protocolo MAC común y formato de trama
 - diferentes velocidades: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps
 - diferentes medios de capa física: fibra, cable



Enlace Capa

5-59

Capa de enlace, LANs: contorno

- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - sbrujas
 - VLAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

Enlace Capa

5-60

interruptor de Eternet

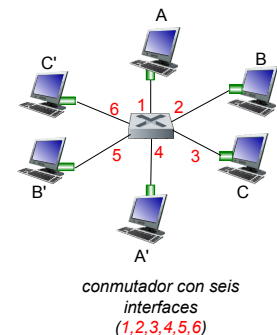
- ❖ **dispositivo de capa de enlace:** toma un activo papel
 - almacenar, reenviar tramas Ethernet
 - examinar el marco entrante's dirección MAC, **selectivamente** reenviar trama a uno o más enlaces salientes cuando la trama se va a reenviar en un segmento, utiliza CSMA / CD para acceder al segmento
- ❖ **transparente**
 - los hosts desconocen la presencia de conmutadores
- ❖ **plug-and-play, autoaprendizaje**
 - los interruptores no necesitan ser configurados

Enlace Capa

5-61

Cambiar: múltiple transmisiones simultáneas

- ❖ los hosts tienen conexión directa y dedicada para cambiar
- ❖ conmuta paquetes de búfer
- ❖ Protocolo Ethernet utilizado en cada enlace entrante, pero sin colisiones; duplex completo
 - cada enlace es su propio dominio de colisión
- ❖ **traspuesta:** A-to-A' y B-to-B' puede transmitir simultáneamente, sin colisiones



Enlace Capa

5-62

Cambiar tabla de reenvío

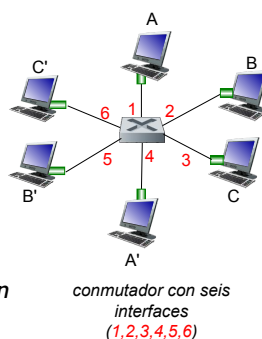
Q: ¿Cómo sabe el interruptor A' accesible a través de la interfaz 4, B' accesible a través de la interfaz 5?

A: cada interruptor tiene una **mesa de cambio**, cada entrada:

- (Dirección MAC del host, interfaz para llegar al host, marca de tiempo)

Q: ¿Cómo se crean y mantienen las entradas en la tabla de enrutamiento?

- algo así como un protocolo de enrutamiento?

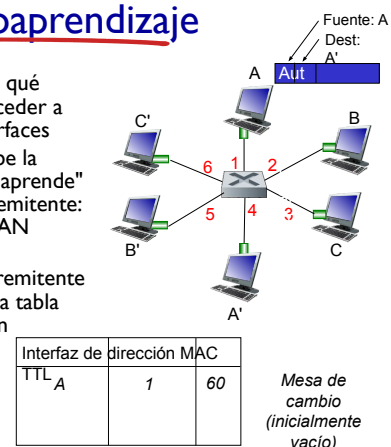


Enlace Capa

5-63

Switch: autoaprendizaje

- ❖ cambiar **aprende** a qué hosts se puede acceder a través de qué interfaces
 - cuando se recibe la trama, cambia "aprende" ubicación del remitente: segmento de LAN entrante
 - registra el par remitente / ubicación en la tabla de conmutación



Interfaz de	dirección	MAC
TTL A	1	60

Mesa de cambio (inicialmente vacío)

Enlace Capa

5-64

Switch: filtrado / reenvío de tramas

Cuándo marco recibido en el cambio:

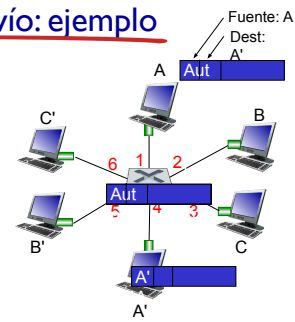
1. registro enlace entrante, dirección MAC de envío anfitrión
2. indexar tabla de interruptores usando MAC destino habla a
3. si entrada encontrada para destino luego {
 - Si destino en el segmento desde el que llegó el marco luego soltar marco
 - demás hacia adelante marco en la interfaz indicado por la entrada
- }
 - demás flood / * adelante en todas las interfaces excepto en la llegada
 - interfaz */

Enlace Capa

5-65

Autoaprendizaje, reenvío: ejemplo

- destino de la trama, A', ubicación desconocida
- destino Una ubicación conocida selectivamente en un solo enlace



Interfaz de	dirección	MAC
TTL	A	1
	A'	4
		60

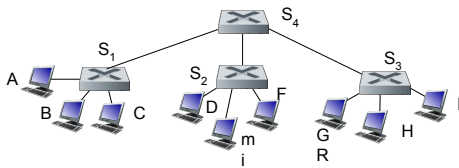
mesa de cambio (inicialmente vacío)

Enlace Capa

5-66

Interruptores de interconexión

- los interruptores se pueden conectar juntos



Q: enviando de A a G - ¿cómo funciona S₁ saber reenviar el fotograma destinado a F a través de S₄ y S₃?

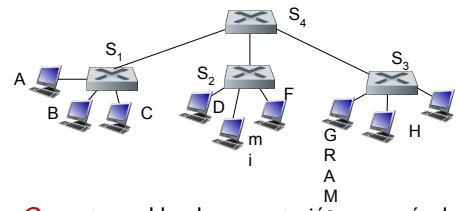
- A:** ¡auto aprendizaje! (obras exactamente lo mismo que en el caso de un solo interruptor!)

Enlace Capa

5-67

Ejemplo de autoaprendizaje de múltiples interruptores

Supongamos que C envía un marco a I, yo respondo a C

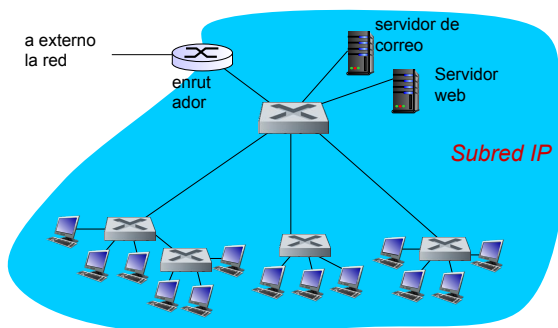


- Q:** mostrar tablas de conmutación y reenvío de paquetes en S₁, S₂, S₃, S₄

Enlace Capa

5-68

Red institucional



Enlace Capa

5-69

Interruptores vs. enrutadores

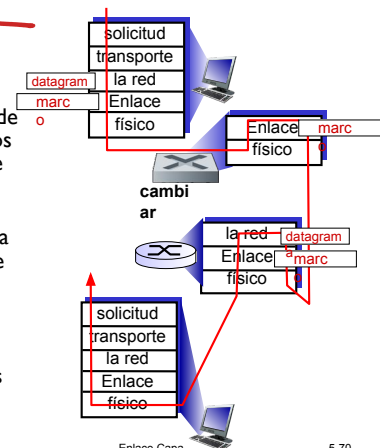
ambas cosas son tienda-y-hacia adelante:

- enrutadores:** dispositivos de la capa de red (examine los encabezados de la capa de red)
- interruptores:** Enlace-dispositivos de capa (examinar encabezados de capa de enlace)

ambos tienen tablas de reenvío:

- exteriores:** calcular tablas usando algoritmos de enrutamiento, direcciones IP

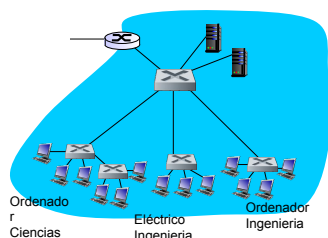
- **interiores:** aprender la tabla de



Enlace Capa

5-70

VLAN: motivación



considerar:

- El usuario de CS traslada la oficina a EE, pero ¿quiere conectarse al conmutador de CS?
- dominio de difusión único:
 - todo el tráfico de difusión de capa 2 (ARP, DHCP, ubicación desconocida de la dirección MAC de destino) debe cruzar LAN completa
 - seguridad/ privacidad, eficiencia asuntos

Enlace Capa

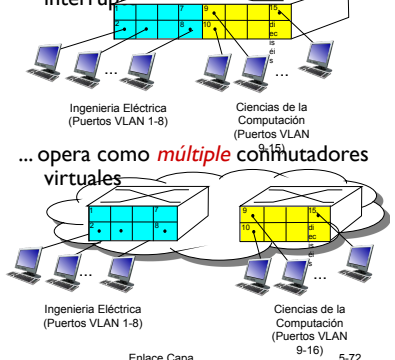
5-71

VLAN

Local virtual Red de área

cambiar(es) que admiten las capacidades de VLAN se pueden configurar para definir múltiples **virtual** LANS sobre una única infraestructura LAN física.

VLAN basada en puerto: puertos de conmutador agrupados (por software de gestión de conmutadores) para que **único** interruptor

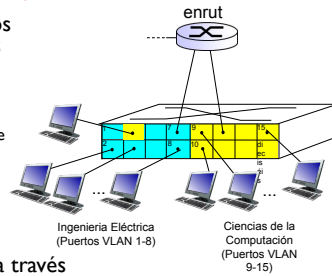


Enlace Capa

5-72

VLAN basada en puerto

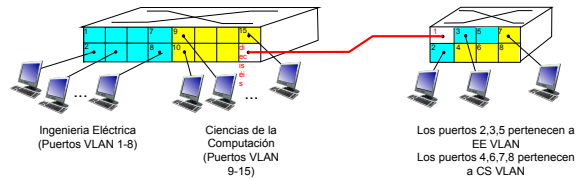
- ❖ **aislamiento de tráfico:** marcos hacia / desde los puertos 1-8 pueden solo llegar a los puertos 1-8
 - también puede definir la VLAN en función de las direcciones MAC de los puntos finales, en lugar de
- ❖ **memoria dinámica:** Los puertos se pueden asignar dinámicamente entre VLAN
- ❖ **reenvío entre VLAN:** hecho a través de enrutamiento (al igual que con interruptores separados)
 - en la práctica, los proveedores venden conmutadores combinados más enrutadores



Enlace Capa

5-73

VLAN que abarcan varios conmutadores

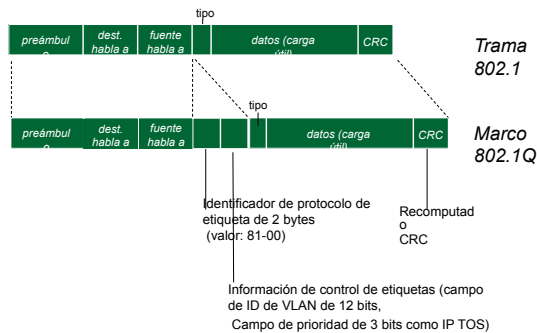


- ❖ **puerto troncal:** transporta tramas entre VLAN definidas a través de múltiples conmutadores físicos
 - Las tramas reenviadas dentro de VLAN entre conmutadores pueden't ser tramas estándar 802.1 (debe llevar información de ID de VLAN)
 - El protocolo 802.1q agrega / elimina campos de encabezado adicionales para las tramas reenviadas entre puertos troncales

Capa de enlace

5-74

Formato de trama de VLAN 802.1Q



Enlace Capa

5-75

Capa de enlace, LANs: contorno

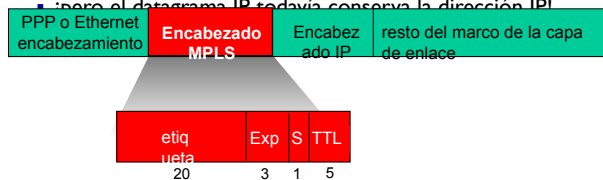
- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - sbrujas
 - VLAN
- 5.5 enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

Enlace Capa

5-76

Conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS)

- ❖ objetivo inicial: reenvío de IP de alta velocidad utilizando una etiqueta de longitud fija (en lugar de una dirección IP)
 - búsqueda rápida utilizando un identificador de longitud fija (en lugar de la coincidencia de prefijo más corto)
 - tomar prestadas ideas del enfoque de circuito virtual (VC)
 - incorporar el datagrama IP todavía conserva la dirección IP



Enlace Capa

5-77

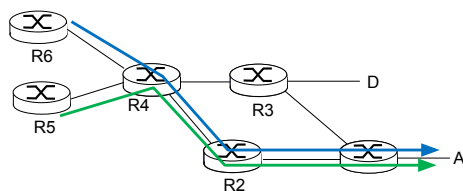
Enrutadores con capacidad MPLS

- ❖ también conocido como enrutador de etiqueta conmutada
- ❖ reenviar paquetes a la interfaz de salida basándose solo en el valor de la etiqueta (*don't inspeccionar la dirección IP*)
 - Tabla de reenvío MPLS distinta de las tablas de reenvío IP
- ❖ **flexibilidad:** Las decisiones de reenvío MPLS pueden diferir de las de IP
 - usar destino y direcciones de origen para enrutar los flujos al mismo destino de manera diferente (ingeniería de tráfico)
 - redirija los flujos rápidamente si falla el enlace: rutas de respaldo precalculadas (útil para VoIP)

Enlace Capa

5-78

MPLS frente a rutas IP



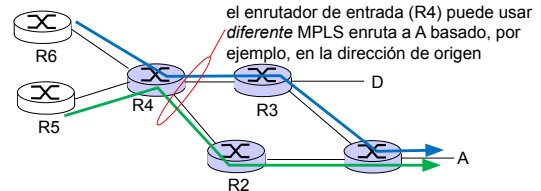
- ❖ **Enrutamiento IP:** ruta al destino determinada solo por la dirección de destino



Enlace Capa

5-79

MPLS frente a rutas IP



- ❖ **Enrutamiento IP:** ruta al destino determinada solo por la dirección de destino
- ❖ **Enrutamiento MPLS:** la ruta al destino puede basarse en la fuente y destino



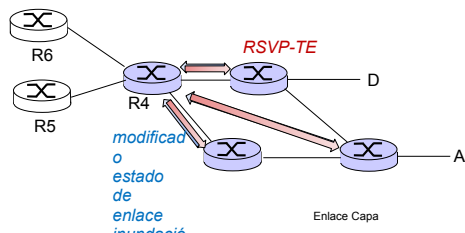
- **redireccionamiento rápido:** precalcular rutas de respaldo en caso de falla del

Enlace Capa

5-80

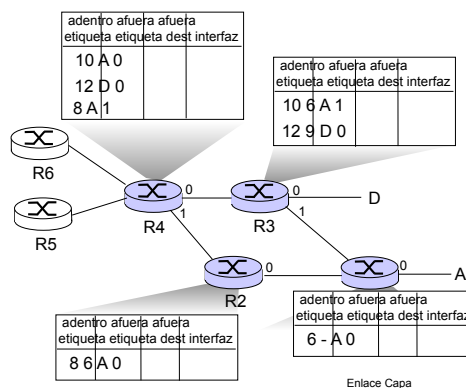
Señalización MPLS

- ❖ modificar los protocolos de inundación de estado de enlace OSPF, IS-IS para transportar la información utilizada por el enrutamiento MPLS,
- ❖ El emisor de MPLS de un enlace utiliza el protocolo de señalización RSVP-TE para configurar el reenvío MPLS en los enrutadores descendentes



5.81

Tablas de reenvío MPLS



5.82


Capa de enlace, LANs: contorno

- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - sbrujas
 - VLAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

Enlace Cana

5.83

Redes de centros de datos

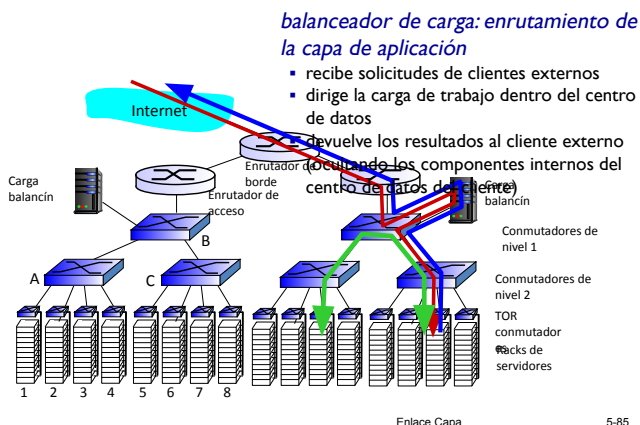
- ❖ Decenas a cientos de miles de hosts, a menudo estrechamente acoplados, en estrecha proximidad:
 - comercio electrónico (por ejemplo, Amazon)
 - servidores de contenido (por ejemplo, YouTube, Akamai, Apple, Microsoft)
 - motores de búsqueda, minería de datos (p. ej., Google)
 - ❖ Desafíos:
 - múltiples aplicaciones, cada una de las cuales sirve a un gran número de clientes
 - gestionar / equilibrar la carga, evitar el procesamiento, la creación de redes, los cuellos de botella de datos
- 



Dentro de un contenedor
Microsoft de 40 pies,
Centro de datos de Chicago

5.84

Redes de centros de datos

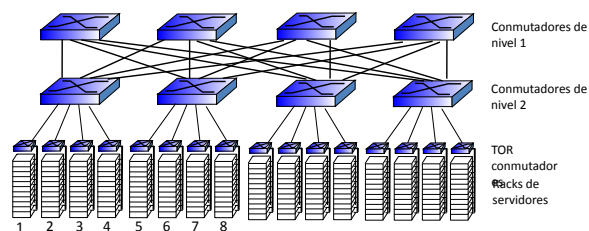


Enlace Capa

5-85

Redes de centros de datos

- ❖ rica interconexión entre conmutadores, racks:
 - mayor rendimiento entre racks (múltiples rutas de enrutamiento posibles)
 - mayor fiabilidad a través de la redundancia



Capa de enlace, LANs: contorno

- 5.1 introducción, servicios
- 5.2 detección de errores, corrección
- 5.3 múltiples protocolos de acceso
- 5.4 LAN
 - direccionamiento, ARP
 - Ethernet
 - sbrujas
 - VLAN
- 5.5 Enlace virtualización: MPLS
- 5.6 redes de centros de datos
- 5.7 un día en la vida de una solicitud web

Enlace Cana

5.87

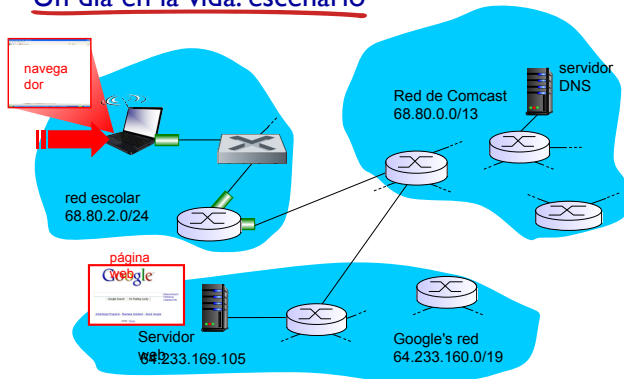
Síntesis: un día en la vida de una solicitud web

- ❖ viaje hacia abajo pila de protocolos completa!
 - aplicación, transporte, red, enlace
- ❖ poniendo-todo-junto: ¡síntesis!
 - **objetivo:** identificar, revisar, comprender los protocolos (en todas las capas) involucrados en un escenario aparentemente simple: solicitar la página www
 - **guión:** el estudiante conecta la computadora portátil a la red del campus, solicita / recibe www.google.com

Enlace Cana

5.88

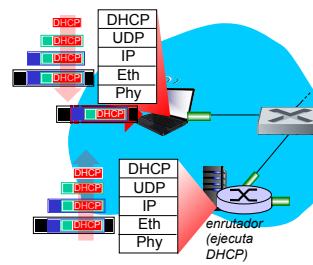
Un día en la vida: escenario



Enlace Capa

5-89

Un día en la vida ... conectarse a Internet

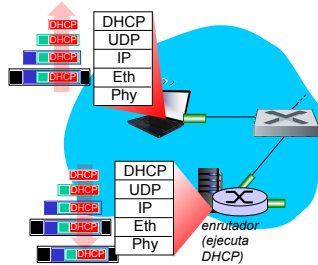


- La computadora portátil que se conecta debe obtener su propia dirección IP, la dirección del enrutador de primer salto, la dirección del servidor DNS.
- El cliente DHCP usa **DHCP** en **UDP**, encapsulado en **IP**, encapsulado en **802.3 Ethernet**.
- Trama de Ethernet **transmisión** (dest: FFFFFFFF) en LAN, recibido en el enrutador en ejecución **DHCP** servidor Ethernet **demuxed** a IP demuxed, UDP demuxed a DHCP.

Enlace Capa

5-90

Un día en la vida ... conectarse a Internet



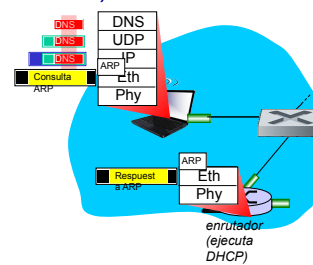
- El servidor DHCP formula **ACUSE DE DHCP** que contiene al cliente's dirección IP, dirección IP del enrutador de primer salto para el cliente, nombre y dirección IP del servidor DNS.
- Encapsulación en el servidor DHCP, trama reenviada (**cambio de aprendizaje**) a través de LAN, demultiplexando en el cliente DHCP recibe una respuesta DHCP ACK.

El cliente ahora tiene una dirección IP, conoce el nombre y la dirección del DNS servidor, dirección IP de su enrutador de primer salto

Enlace Capa

5-91

Un día en la vida ... ARP (antes de DNS, antes de HTTP)

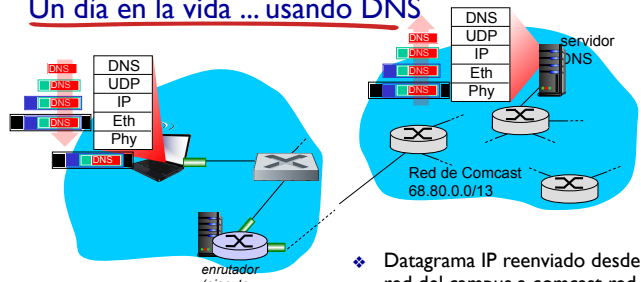


- antes de enviar **HTTP** solicitud, necesita la dirección IP de **www.google.com: DNS**.
- Consulta DNS creada, encapsulada en UDP, encapsulada en IP, encapsulada en Eth. Para enviar el marco al enrutador, necesita la dirección MAC de la interfaz del enrutador: **ARP**.
- Consulta **ARP** broadcast, recibido por el enrutador, que responde con **Respuesta ARP** dando la dirección MAC de la interfaz del enrutador.
- El cliente ahora conoce la dirección MAC del enrutador del primer salto, por lo que ahora puede enviar el marco que contiene la consulta DNS.

Enlace Capa

5-92

Un día en la vida ... usando DNS



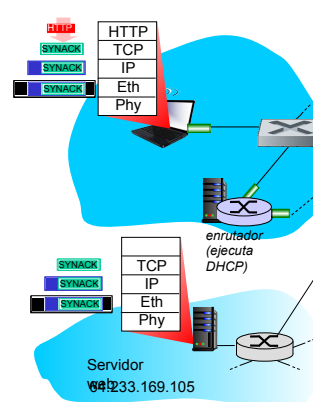
- Datagrama IP que contiene la consulta de DNS reenviada a través del conmutador LAN del cliente a 1º enrutador de salto

- Datagrama IP reenviado desde la red del campus a comcast red, enrutado (tablas creadas por **RIP, OSPF, IS-IS** y / o **BGP** protocolos de enrutamiento) al servidor DNS.
- demux'ed al servidor DNS.
- El servidor DNS responde al cliente con la dirección IP de **www.google.com**.

Enlace Capa

5-93

Un día en la vida ... Conexión TCP con HTTP

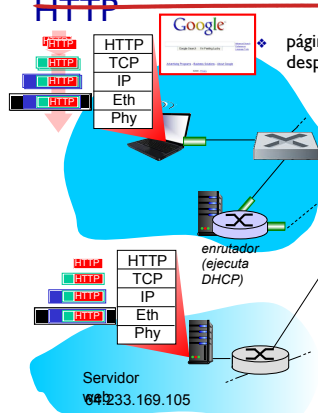


- para enviar una solicitud HTTP, el cliente abre primero **Zócalo TCP** al servidor web.
- TCP Segmento SYN** (paso 1 en apretón de manos de 3 vías) enrutado entre dominios al servidor web.
- el servidor web responde con **SINACK DE TCP** (paso 2 en apretón de manos de 3 vías).
- TCP ¡conexión establecida!**

Enlace Capa

5-94

Un día en la vida ... Solicitud / respuesta HTTP



- página web **finalmente (!!!)** desplegado

- Solicitud HTTP** enviado al socket TCP
- Datagrama de IP que contiene una solicitud HTTP enrutada a **www.google.com**
- el servidor web responde con **Respuesta HTTP** (que contiene la página web)
- Datagrama IP que contiene la respuesta HTTP enrutada de regreso al cliente

Enlace Capa

5-95

Capítulo 5: Resumen

- principios detrás de los servicios de la capa de enlace de datos:
 - detección de errores, corrección
 - compartir un canal de transmisión: acceso múltiple
 - direccionamiento de la capa de enlace
- instanciación e implementación de varias tecnologías de capa de enlace
 - Ethernet
 - LAN conmutadas, VLAN
 - redes virtualizadas como capa de enlace: MPLS
- síntesis: un día en la vida de una solicitud web

Enlace Capa

5-96

Capítulo 5: deja's toma un respiro

- ❖ viaje hacia abajo de la pila de protocolos *completo* (excepto PHY)
- ❖ sólida comprensión de los principios de las redes, práctica
- ❖ podría parar aquí.... pero *lotes* de temas interesantes!
 - inalámbrica
 - multimedia
 - seguridad
 - administración de redes