

Capítulo 6

redes inalámbricas y móviles

Basado en material asociado al texto
Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the
Internet,
Jim Kurose, Keith Ross

Capítulo 6: Redes Inalámbricas y Móviles

Antecedentes previos:

- # subscriptores de teléfonos inalámbricos (móviles) ahora supera # subscriptores de teléfonos cableados!
- Redes de computadores: laptops, palmtops, PDAs, teléfonos Internet prometen libre acceso a Internet
- Dos desafíos importantes (pero diferentes)
 - Comunicaciones sobre enlaces inalámbricos
 - Manejo de usuarios que cambian su punto de entrada a la red

Capítulo 6: Contenidos

6.1 Introducción

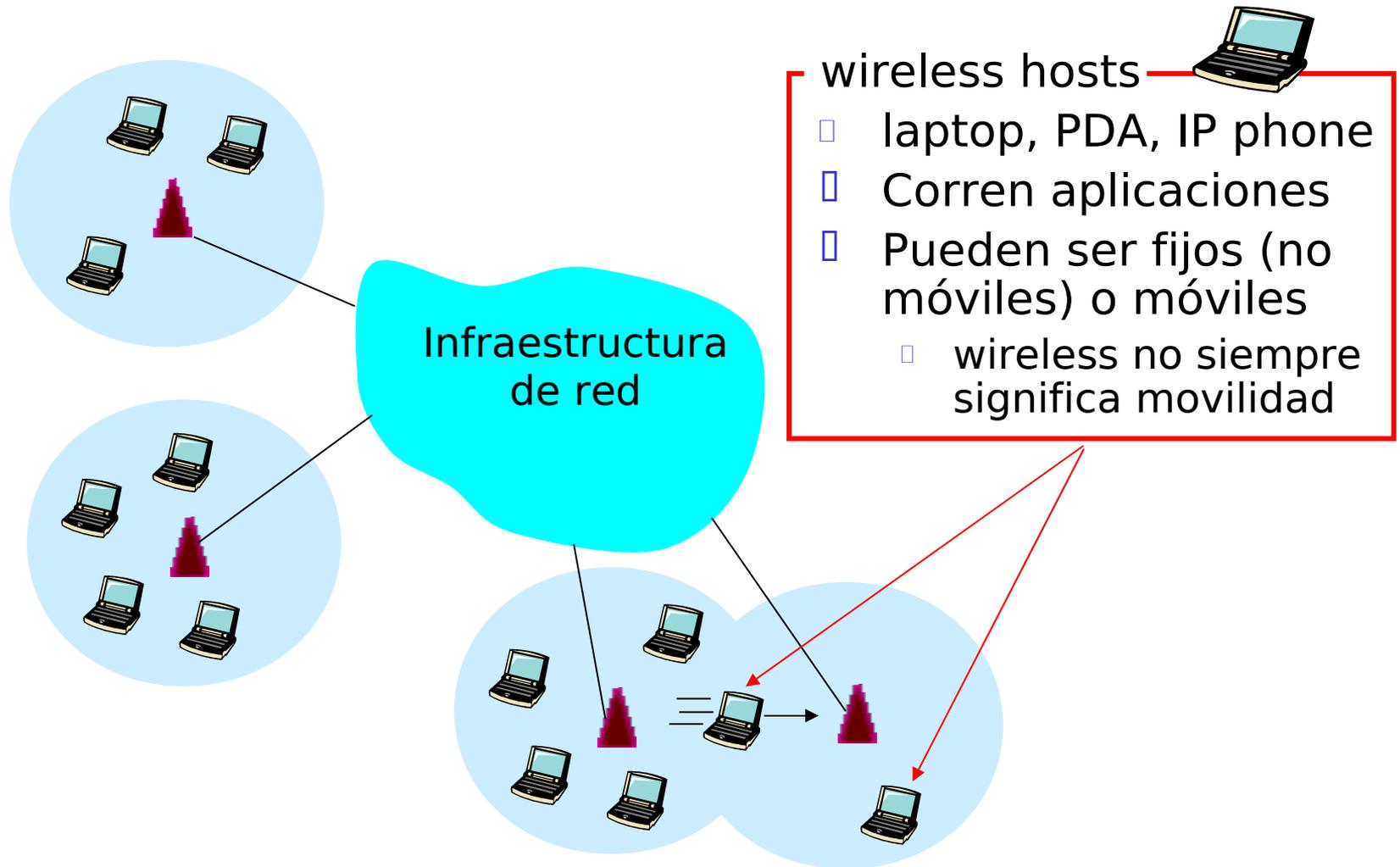
Wireless

- ▢ 6.2 Enlaces Wireless, características
 - ▢ CDMA
- ▢ Paréntesis Revisión 802.3
- ▢ 6.3 IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ▢ 6.4 Acceso a Internet vía celular
 - ▢ arquitectura
 - ▢ estándares (e.g., GSM)

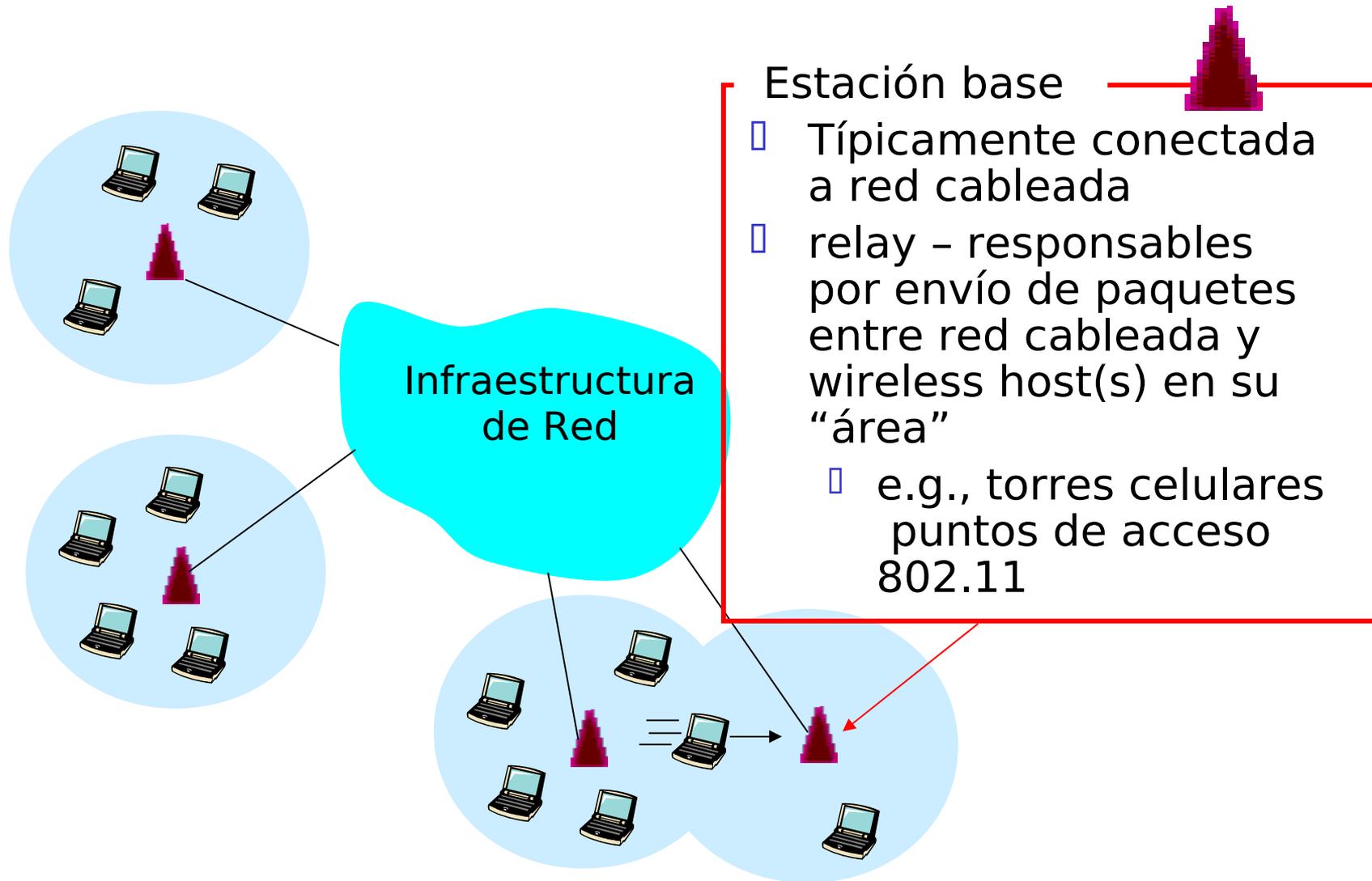
Movilidad

- ▢ 6.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ▢ 6.6 IP móvil
- ▢ 6.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ▢ 6.8 Movilidad y protocolos de capas superiores
- 6.9 Resumen

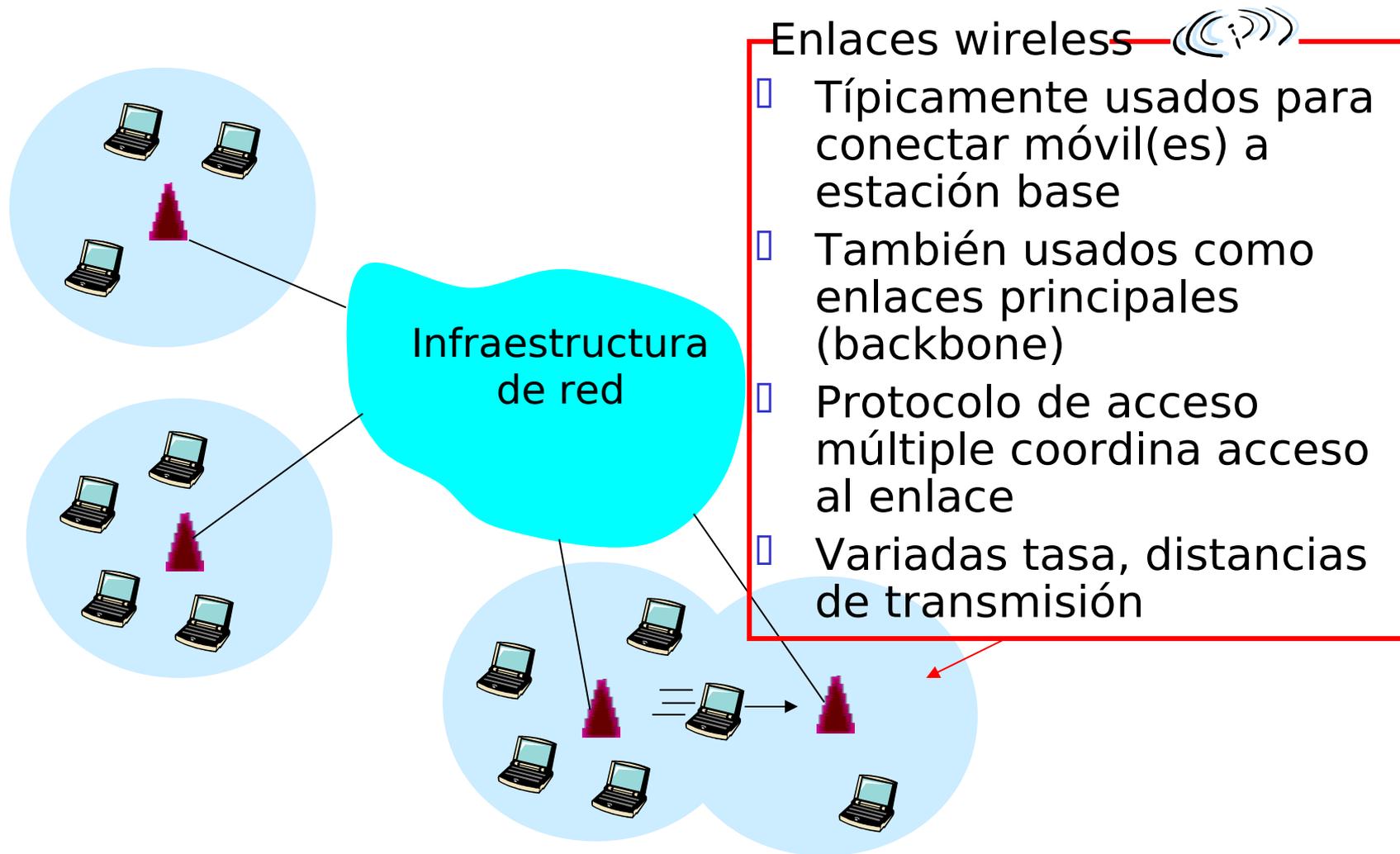
Elementos de una red inalámbrica



Elementos de una red inalámbrica



Elementos de una red inalámbrica



Características de estándares de enlaces inalámbricos

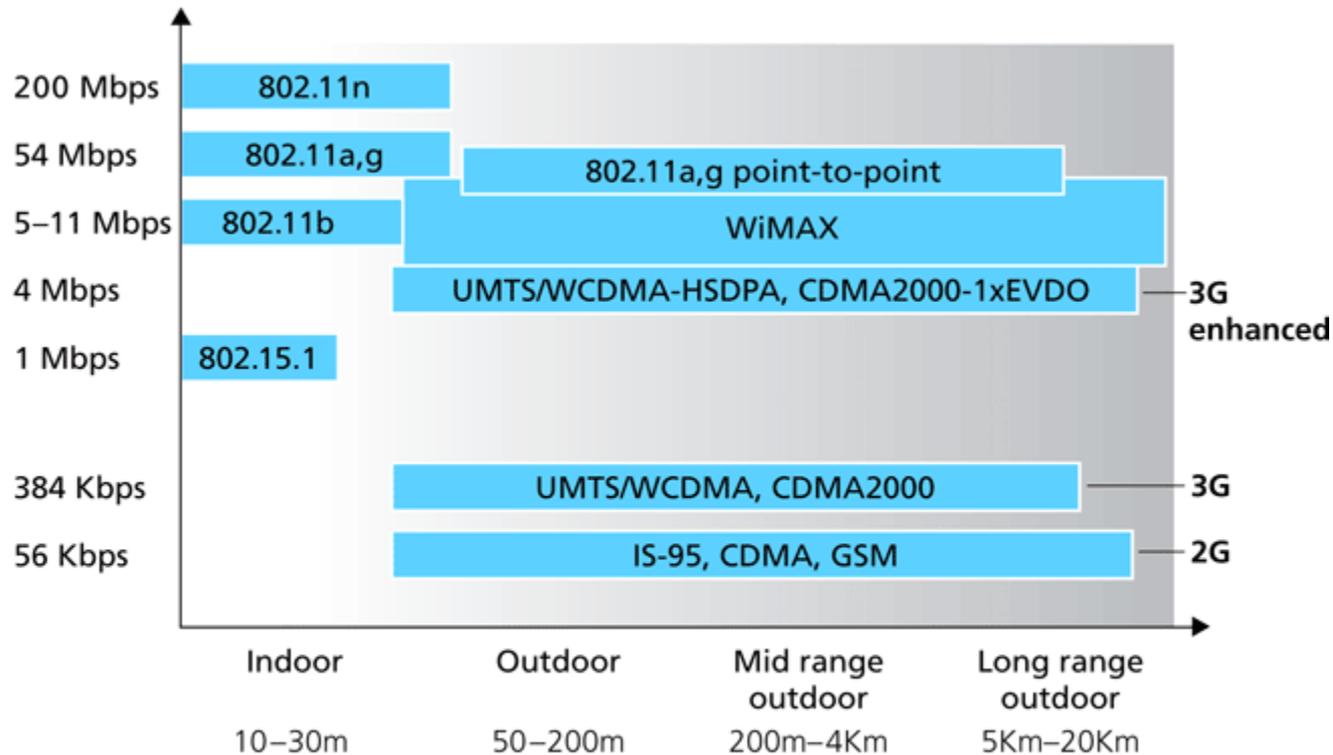
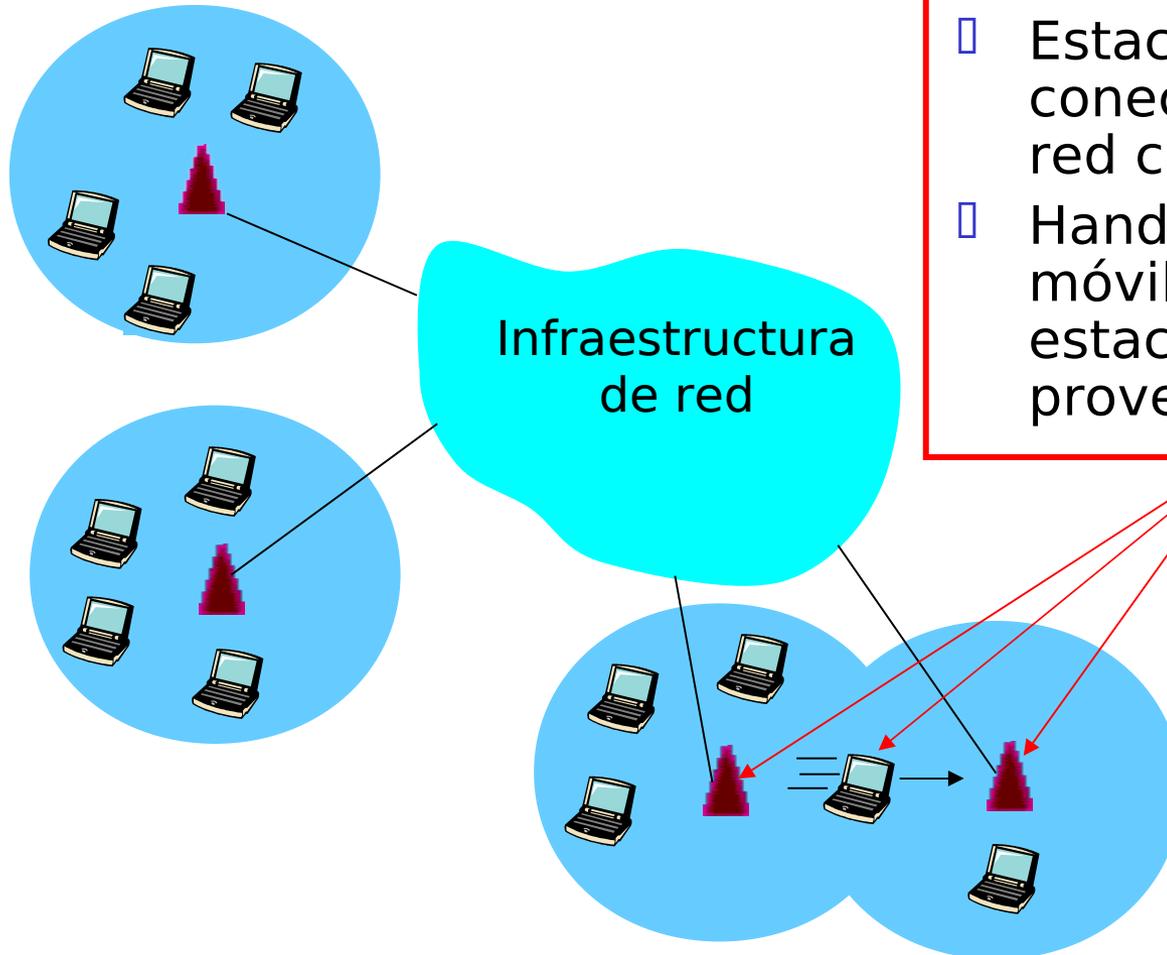


Figure 6.2 ♦ Link characteristics of selected wireless network standards

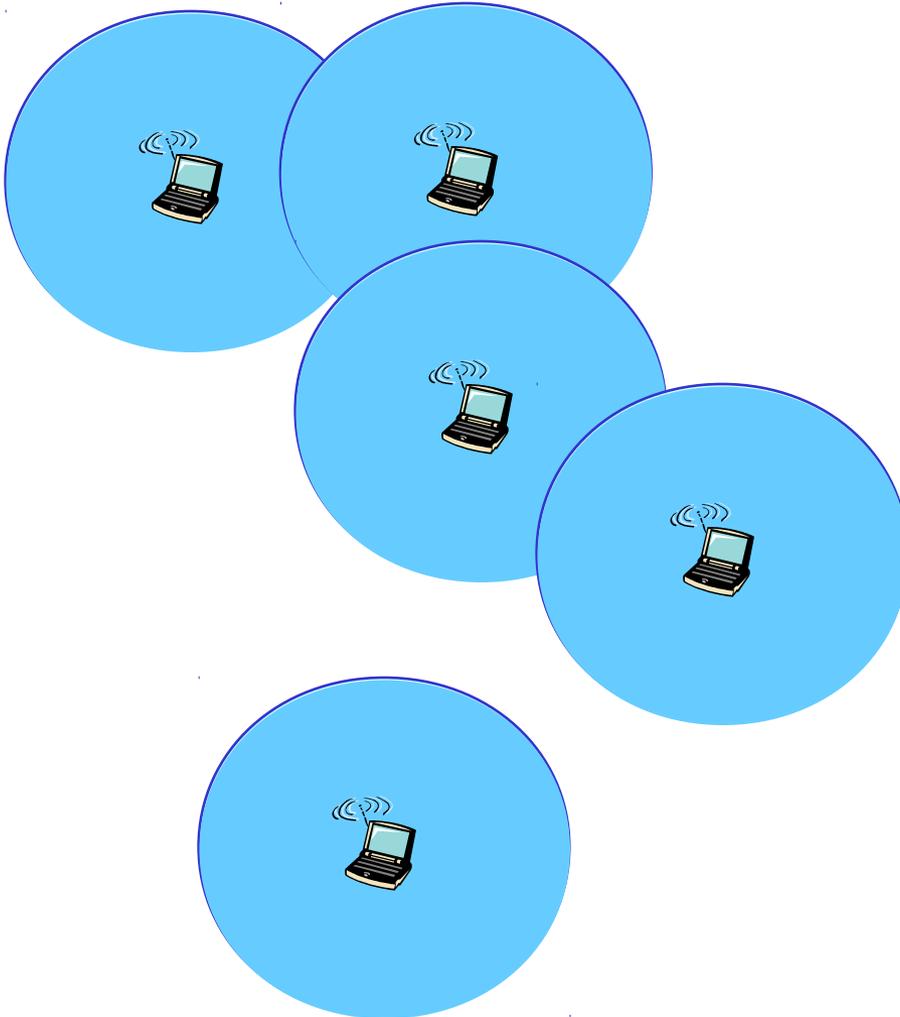
Elementos de una Red Inalámbrica



Modo infraestructura

- Estación base conecta móviles a la red cableada
- Handoff o handover: móvil cambia de estación base que provee conectividad

Elementos de una red inalámbrica



Modo Ad hoc

- no hay estación base
- Nodos sólo pueden transmitir a otros dentro de su cobertura
- nodos se organizan entre ellos en red, proveen servicios de ruteo, asignación de direcciones, entre ellos

Características de los enlaces inalámbricos

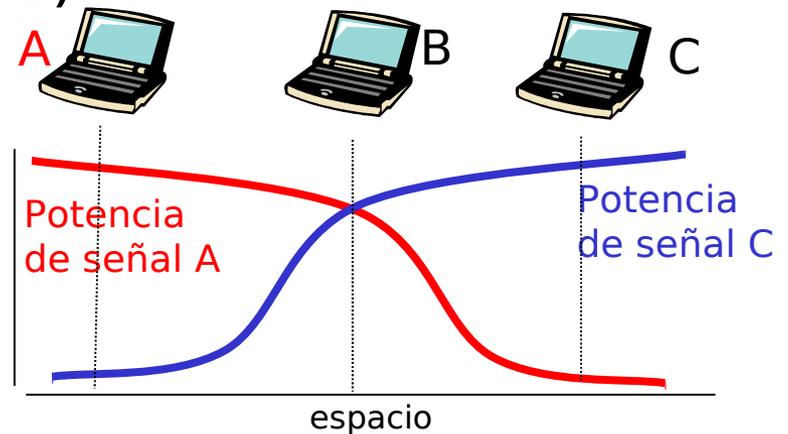
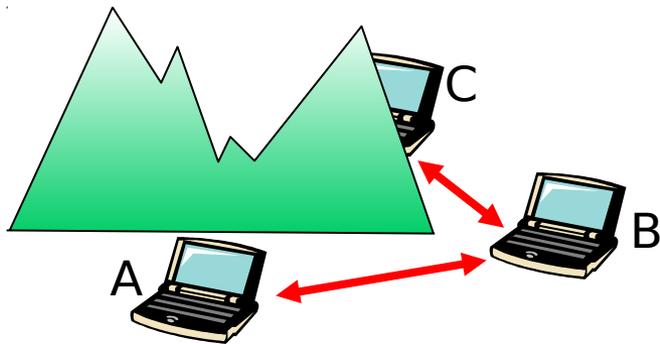
Diferencias con enlaces cableados

- **Potencia de la señal reducida:** señales de radio se atenúan al propagarse (pérdidas de enlace)
- **interferencia de otras fuentes:** frecuencias estándares de redes wireless (e.g., 2.4 GHz) compartidas con otros dispositivos (e.g., teléfonos); otros como motores interfieren también
- **Propagación multitrayectoria:** señal de radio se refleja en objetos y tierra, llega a destino con diferencias de tiempo

.... Hace comunicaciones vía enlaces wireless (aún las point to point) mucho más “difíciles”

Características de las redes Inalámbricas

Transmisores y receptores inalámbricos múltiples crean problemas adicionales (además de acceso múltiple):



Problema del terminal oculto

- B, A se escuchan
- B, C se escuchan
- A, C no se escuchan, A, C no saben de su interferencia en B

Decaimiento de señal:

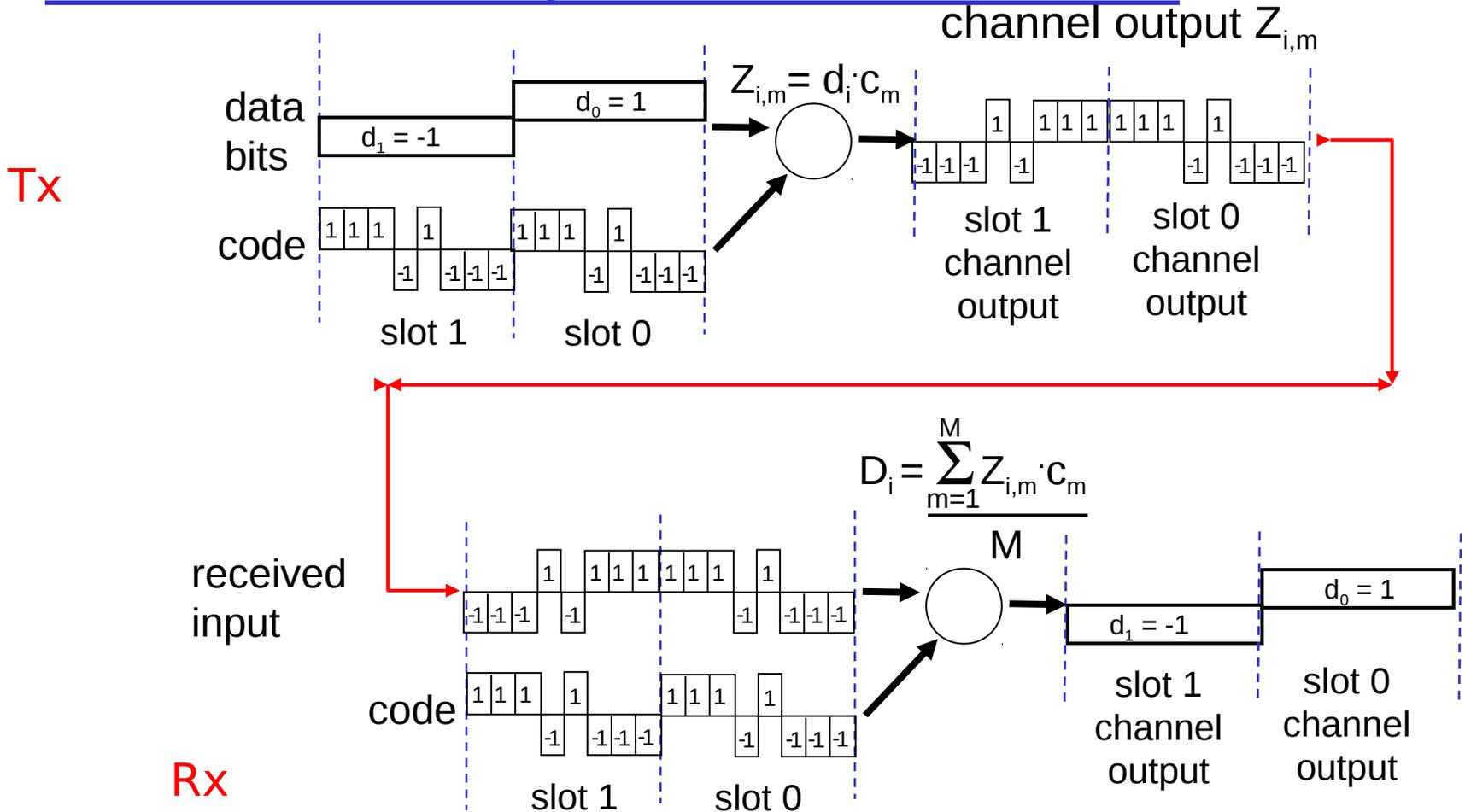
- B, A se escuchan
- B, C se escuchan
- A, C no se escuchan e interfieren en B

Acceso múltiple por División de Código - Code Division Multiple Access (CDMA)

- ▣ Usado en varios estándares de canales broadcast inalámbricos (celular, satélite, etc)
- ▣ “Código” único asignado a cada cliente; i.e., código define partición
- ▣ Todos los usuarios comparten la misma frecuencia, pero cada usuario tiene su secuencia de “chip” propia (i.e., código) para codificar los datos
- ▣ *Señal codificada* = (data original) X (secuencia de chipping)
- ▣ *decodificación*: producto interno de la señal codificada con la secuencia de chipping
- ▣ Permite que múltiples usuarios puedan “coexistir” y transmitir simultáneamente con interferencia mínima (si el código es “ortogonal”)

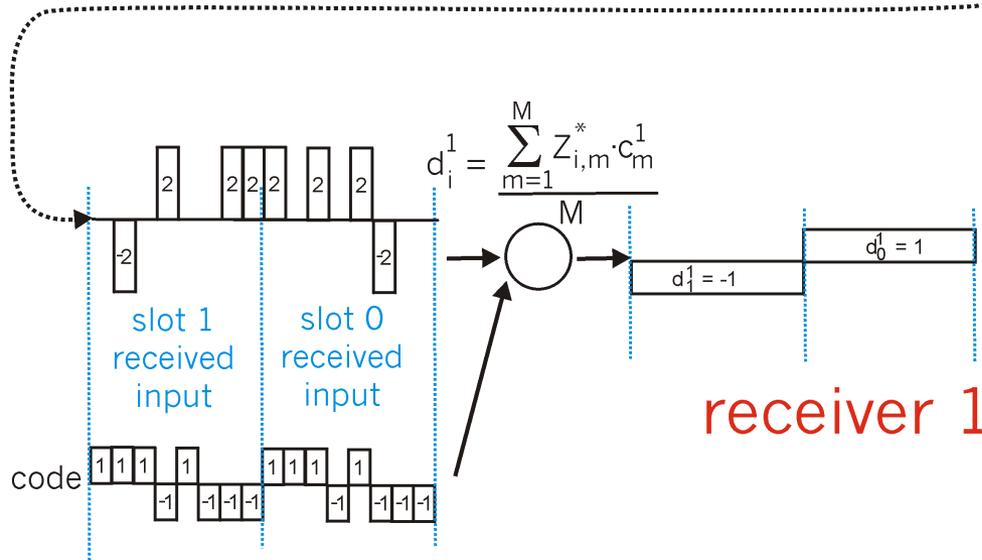
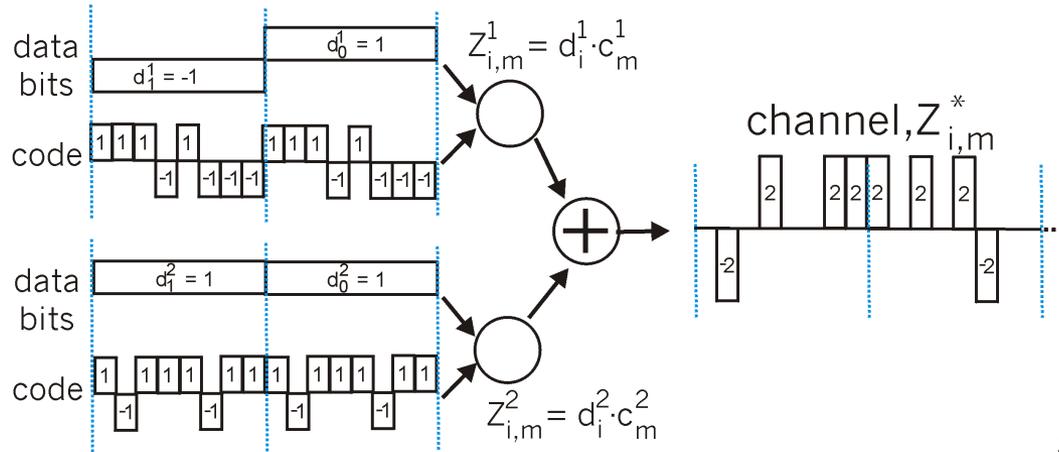
CDMA

Codificación/Decodificación



CDMA: interferencia de dos-Txs

senders



Capítulo 6: Contenidos

6.1 Introducción

Wireless

- ▣ 6.2 Enlaces Wireless, características
 - ▣ CDMA
- ▣ **Paréntesis Revisión 802.3**
- ▣ **6.3 IEEE 802.11** wireless LANs (“wi-fi”)
- ▣ 6.4 Acceso a Internet vía celular
 - ▣ arquitectura
 - ▣ estándares (e.g., GSM)

Movilidad

- ▣ 6.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ▣ 6.6 IP móvil
- ▣ 6.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ▣ 6.8 Movilidad y protocolos de capas superiores
- ▣ 6.9 Resumen

Paréntesis: Revisión 802.3

Este repaso es necesario para entender direccionamiento al interior de la red inalámbrica (capa 2)

Direcciones MAC y ARP

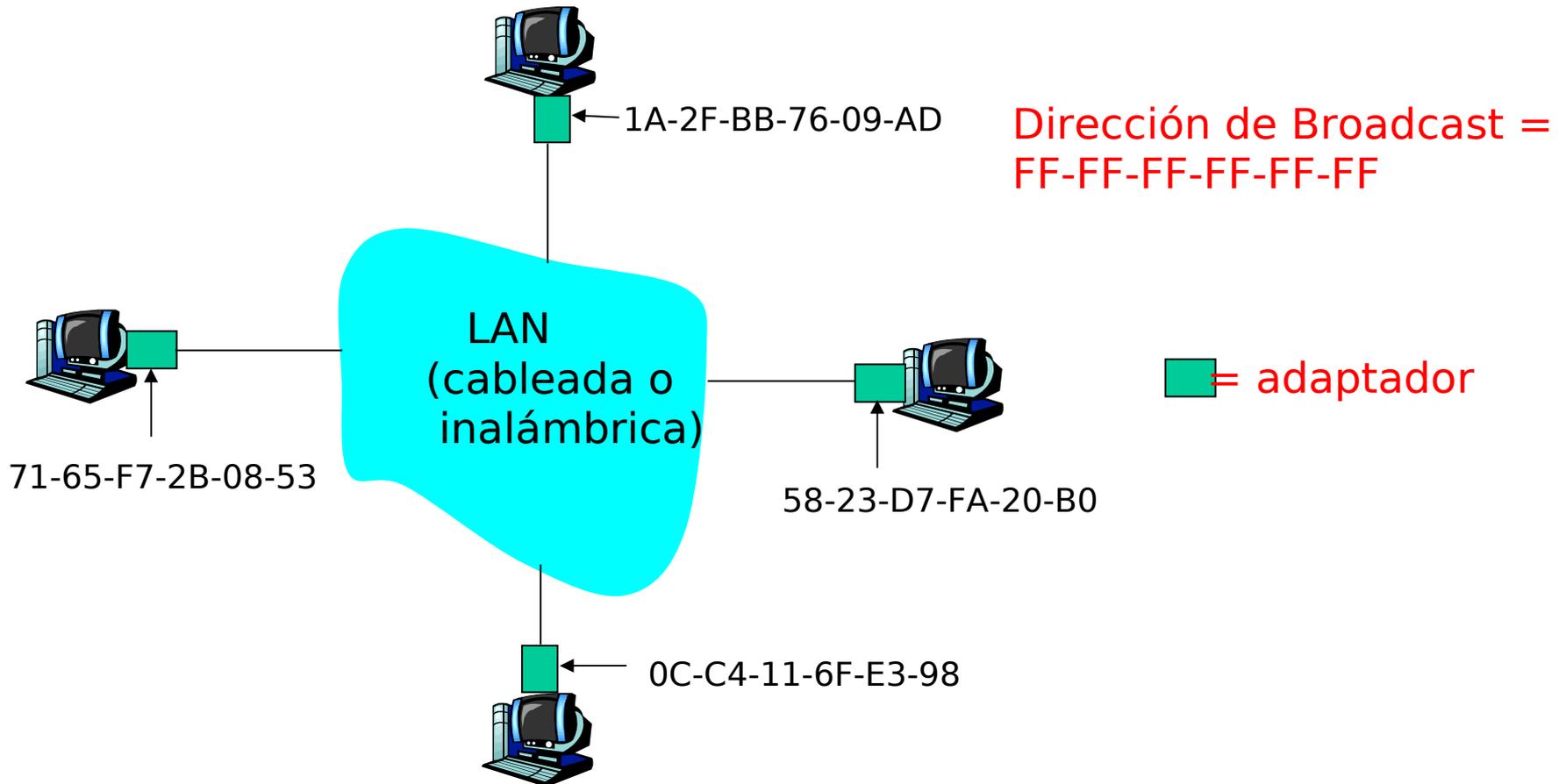
- Direcciones IP son de 32-bit:
 - Son direcciones de la capa de red
 - Son usada para conducir un datagrama a la subred (subnet) destino
 - IP es jerárquico y no es portátil (depende de su subnet)
 - asignado por administrador de subnet

Direcciones MAC y ARP

- Dirección MAC (usada en Ethernet):
 - Son usadas para conducir un datagrama de un interfaz a otra interfaz físicamente conectadas (en la misma red)
 - Son de 48 bits (en mayoría de LANs) están grabadas en una ROM de la tarjeta adaptadora
 - Direcciones MAC administradas por IEEE
 - Compañías compran porciones del espacio de direcciones disponibles
 - MAC no es jerárquico, es portátil
 - Se puede mover una tarjeta de una LAN a otra

Direcciones LANs y ARP

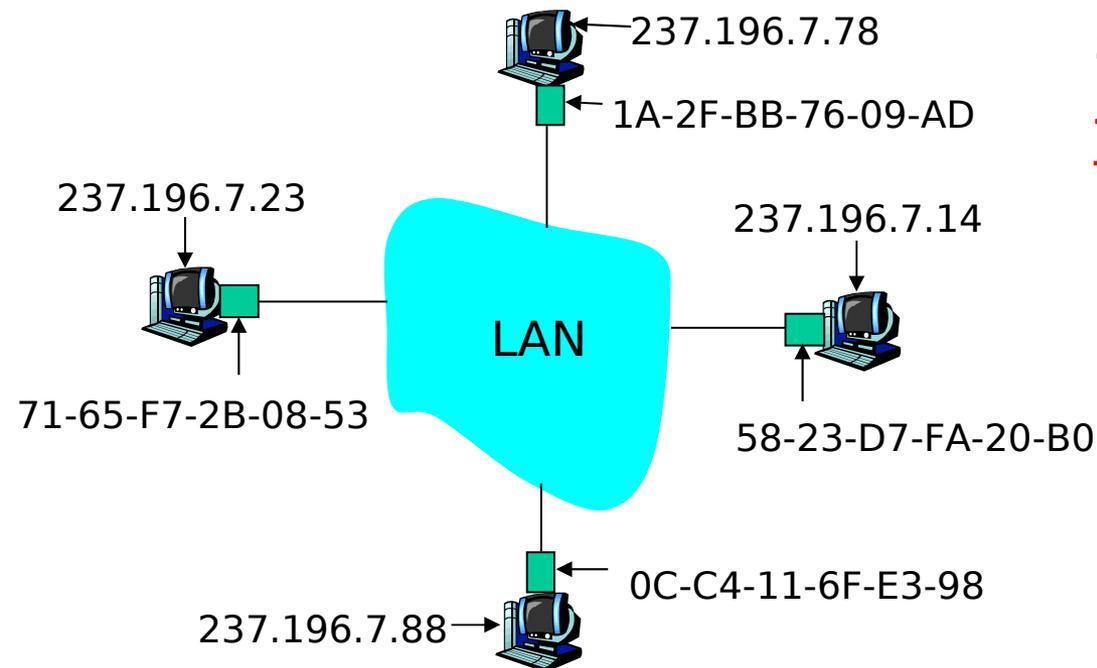
Cada adaptador (tarjeta) en la LAN tiene una dirección única



ARP: Address Resolution Protocol

Pregunta: cómo determinar la dirección MAC sabiendo la dirección IP?

- ▢ Cada nodo IP (Host o Router) de la LAN tiene una tabla **ARP**
- ▢ Tabla ARP: mapea direcciones IP -> MAC para algunos nodos de la LAN
< IP address; MAC address; TTL >
- ▢ TTL (Time To Live): tiempo de expiración para el mapeo (típicamente 20 min)
- ▢ Mismo nombre pero no confundir con TTL en encabezado IP.

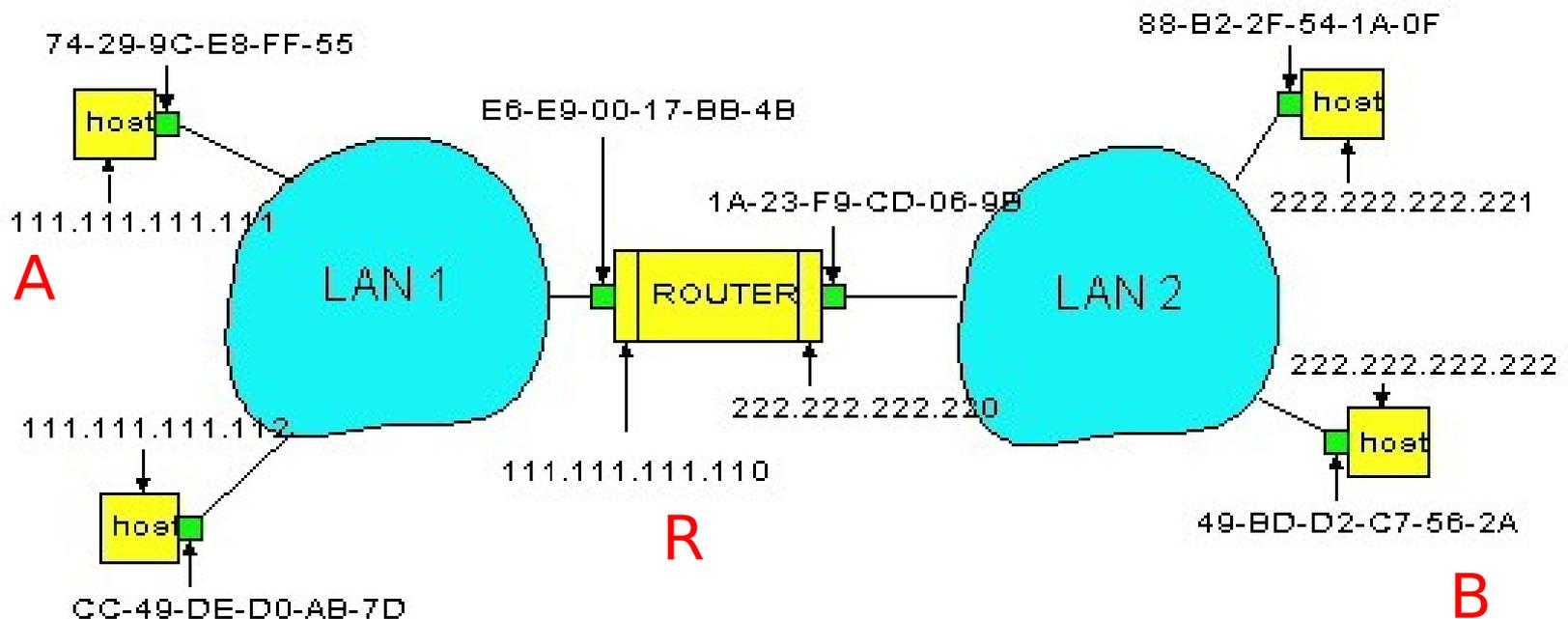


Protocolo ARP: Dentro de la misma LAN (network)

- A quiere enviar un datagrama a B, y la dirección MAC de B no está en tabla ARP de A.
- A **difunde (broadcasts)** un paquete consulta ARP, conteniendo la IP de B
 - Dirección destino MAC = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Todas las máquinas de la LAN reciben la consulta ARP
- B recibe paquete ARP, y responde a A con su dirección MAC
 - La respuesta es enviada a la MAC de A (unicast)
- A guarda el par IP-a-MAC en su tabla ARP hasta que la información envejece (times out)
 - La información expira a menos que sea refrescada
- ARP es “plug-and-play”:
 - Los nodos crean sus tablas de ARP sin intervención de los administradores

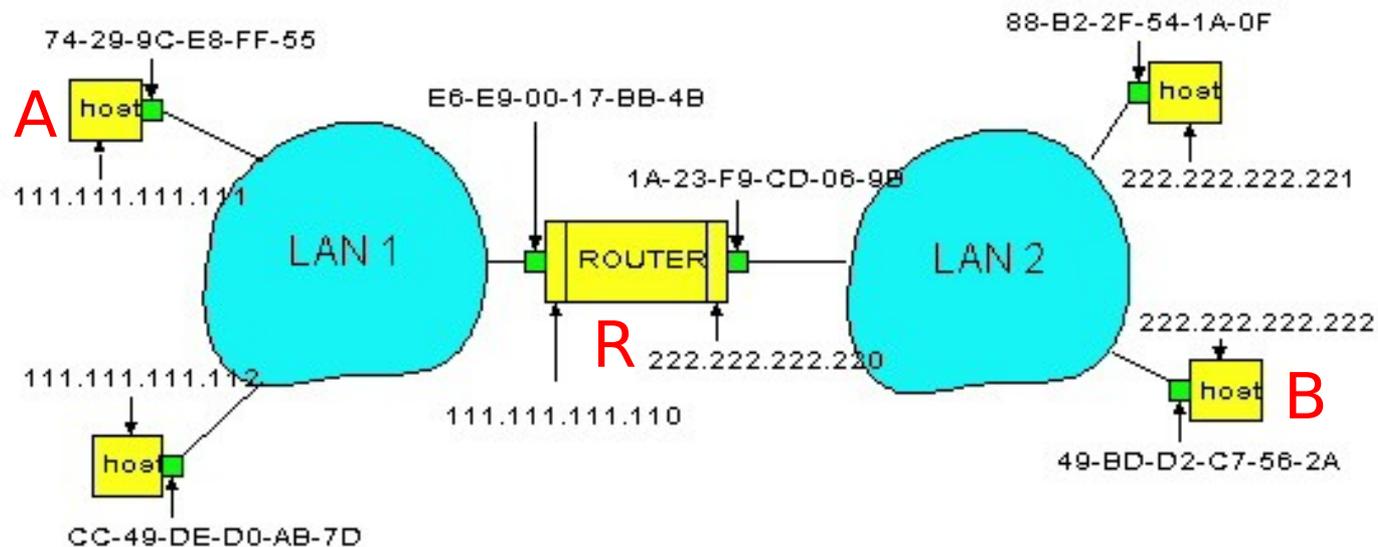
Ruteo a otra LAN

Seguimiento: envío de datagrama desde A a B
vía R asume que A conoce dirección IP de B



- En router R hay dos tablas ARP, una por cada interfaz (o por cada red LAN del router R)

- **A** crea datagrama con fuente **A** y destino **B**
- **A** usa ARP para obtener la MAC de **R** para la interfaz 111.111.111.110
- **A** crea una trama (frame) con dirección MAC de **R** como destino, los datos de la trama contienen el datagrama IP de **A** a **B**
- El adaptador de **A** envía la trama
- El adaptador de **R** recibe la trama
- **R** saca el datagrama IP de la trama Ethernet, y ve que el destino es **B**
- **R** usa ARP para obtener la dirección MAC de **B**
- **R** crea la trama con el datagrama IP de **A** para **B** y lo envía a **B**

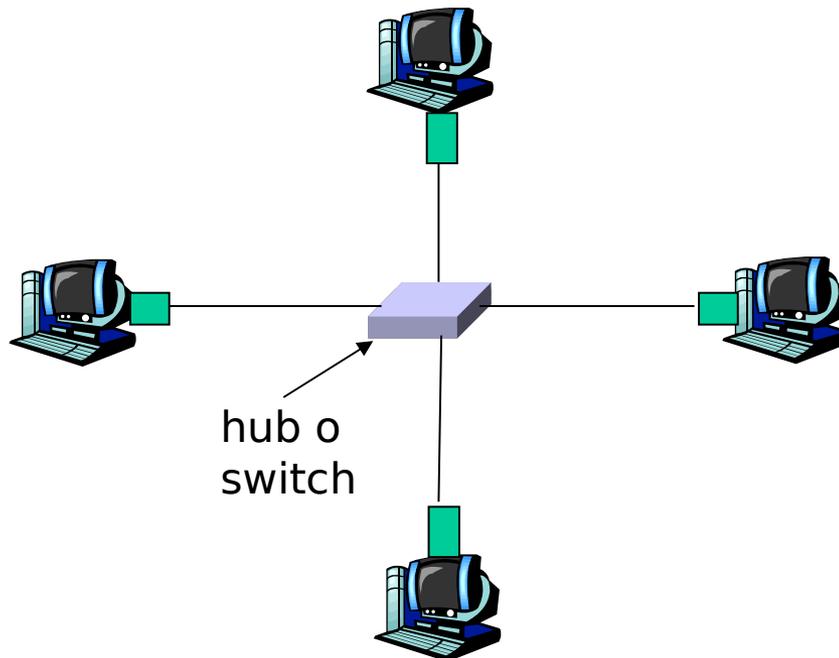


Capa Enlace de Datos

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs y switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

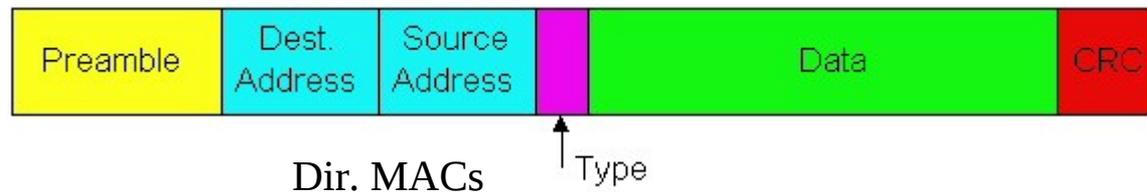
Topología Estrella

- En los 90 era común la topología Bus
- Hoy domina la topología estrella
- Elecciones de conexión: hub (en extinción) o switch



Estructura de trama Ethernet

El adaptador transmisor encapsula el datagrama IP (u otro protocolo de red) en la trama Ethernet

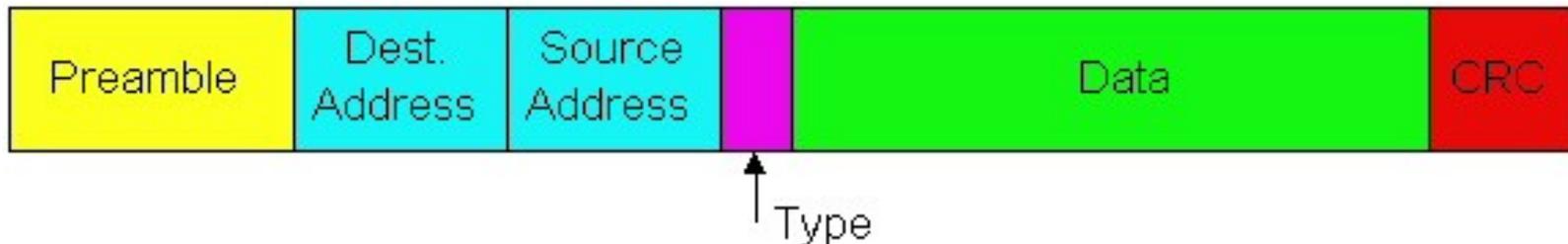


Preámbulo:

- 7 bytes con patrón 10101010 seguido por un byte con patrón 10101011
- Usado para sincronizar la frecuencia de reloj del receptor

Estructura de Trama Ethernet

- **Direcciones:** 6 bytes
 - Si el adaptador recibe trama con dirección destino propia o dirección de broadcast (eg paquete ARP), éste pasa los datos de la trama al protocolo de capa de red
 - de otro modo, el adaptador descarta la trama.
- **Tipo:** indica el protocolo de capa superior (principalmente IP pero hay otros como Novell IPX y AppleTalk)
- **CRC:** chequeado en receptor, si un error es detectado, la trama es simplemente descartada.



Ethernet usa CSMA/CD

- **No hay slots** (ranuras)
- **Sensa por carrier portador:** adaptador no transmite si otro adaptador lo está haciendo.
- **Detecta Colisiones:** adaptador transmisor aborta cuando éste detecta que otro adaptador está transmitiendo.
- **Acceso Aleatorio:** Antes de intentar una retransmisión el adaptador espera un tiempo aleatorio

Algoritmo CSMA/CD de Ethernet

1. El adaptador **recibe un datagrama** de la capa de red y **crea la trama**
2. Si el adaptador **sensa** que el **canal está libre**, éste comienza a **transmitir** la trama. Si éste **sensa canal ocupado**, espera hasta que esté libre y transmite
3. Si el adaptador transmite la trama entera **sin detectar colisión**, se considera transmisión lograda !
4. Si el adaptador **detecta otra transmisión** mientras transmite, **aborta** y envía una **señal de bloqueo (jam)**
5. Después de abortar, el adaptador entra en **backoff exponencial**: después de la m -ésima colisión, el adaptador elige un K aleatorio entre $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. El adaptador espera $K \cdot 512$ periodos de 1 bit y retorna al paso 2

CSMA/CD de Ethernet (más)

Señal de bloqueo: asegura que todos los transmisores detecten la colisión; 48 bits

Periodo de 1 bit: .1 microsec en 10 Mbps Ethernet ; para $K=1023$, se esperará alrededor de 50 msec

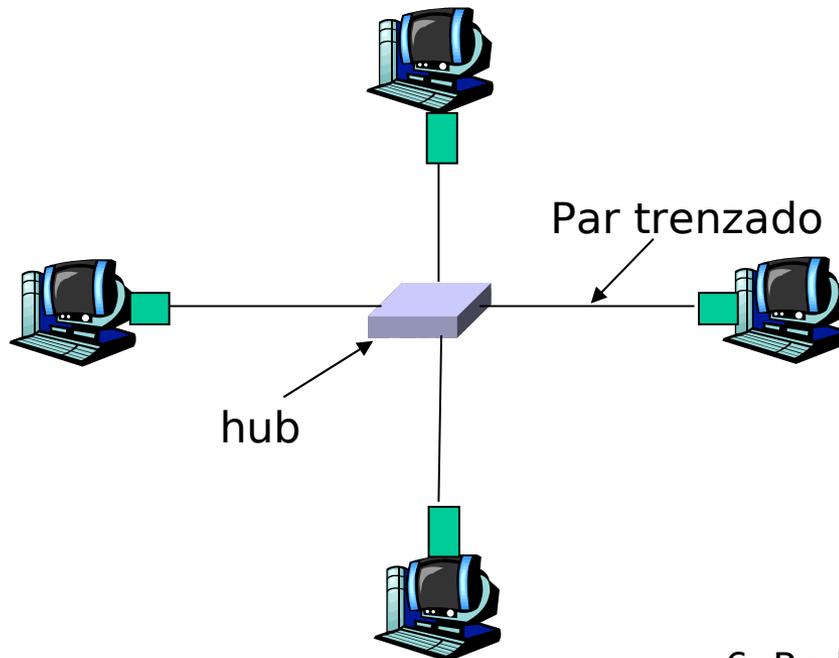
Backoff Exponencial:

- ▣ *Objetivo:* retransmisiones intentan estimar la carga actual
 - ▣ Alta carga: espera aleatoria será mayor
- ▣ Primera colisión: elige K entre $\{0,1\}$; retardo es $K \cdot 512$ periodos de bits
- ▣ Después de segunda colisión: elige K de $\{0,1,2,3\}$...
- ▣ Después de 10 colisiones, elige K de $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

La eficiencia es mucho mayor que ALOHA (ranurado o no)
Revisar applet de Java en sitio del texto guía

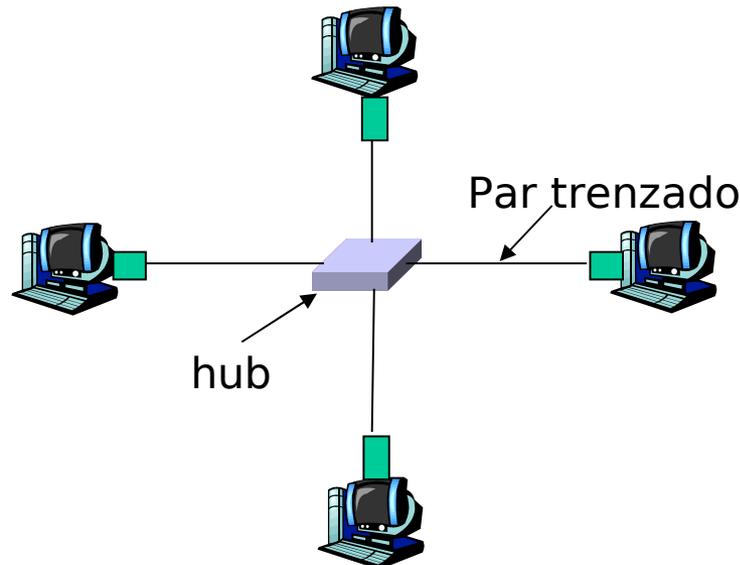
10BaseT y 100BaseT

- Tasas de 10/100 Mbps; 100 Mbps es llamado “fast ethernet”
- T significa Twisted Pair (par trenzado)
- Nodos se conectan a un hub: “topología estrella”; 100 m es la distancia máxima entre nodo y hub.



Hubs

- ▣ Hubs son esencialmente repetidores de capa física:
 - ▣ Los bits que ingresan por un enlace salen por TODOS los otros
 - ▣ No hay almacenamiento y reenvío
 - ▣ No hay CSMA/CD en hub: el adaptador detecta la colisión



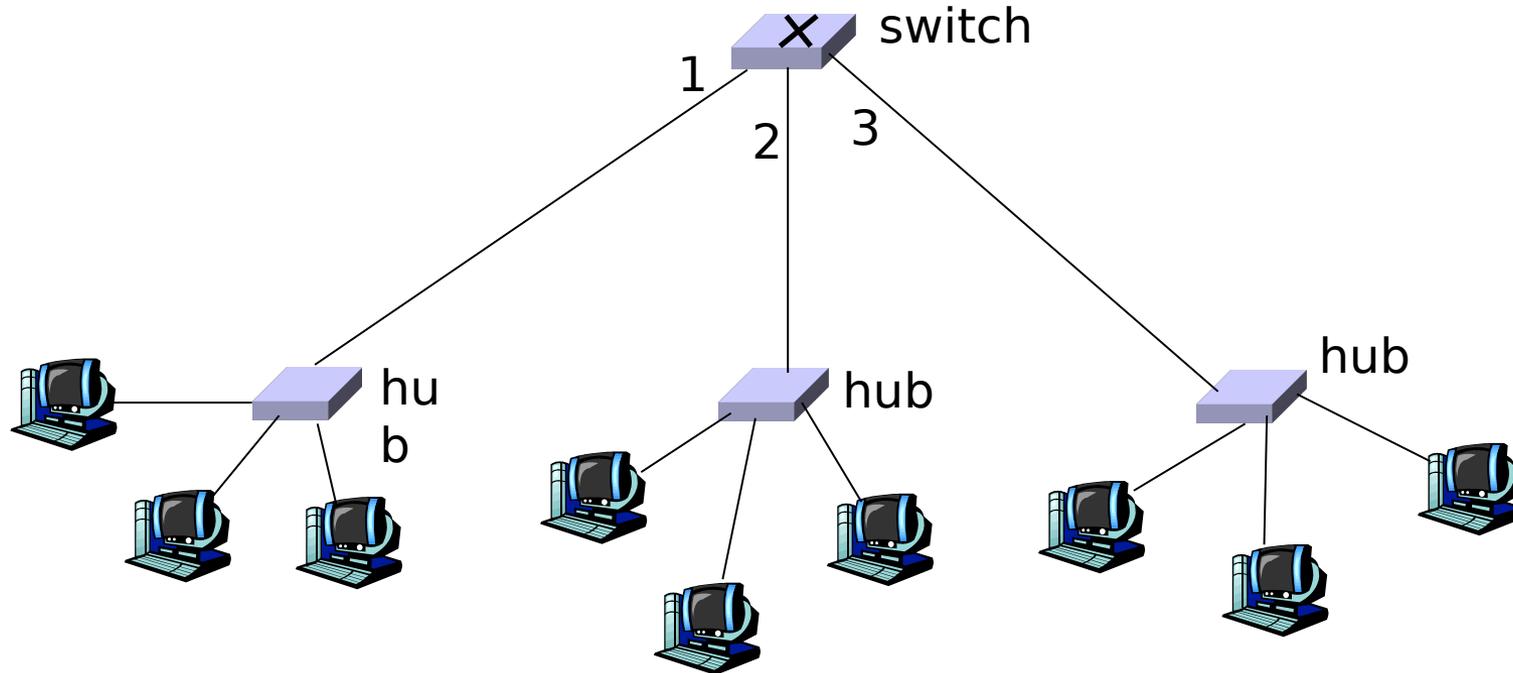
Capa Enlace de Datos

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs y switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

Switches

- **Dispositivo de capa enlace de datos**
 - Almacena y re-envía tramas Ethernet
 - Examina encabezados de tramas y **selectivamente** re-envía tramas basado en dirección MAC destino
 - Cuando debe re-enviar una trama, usa CSMA/CD para acceder al medio
- **Transparente**
 - Hosts no notan la presencia de switches
- **Plug-and-play**, y aprenden solos
 - Switches no requieren ser configurados

Reenvío



- ¿Cómo determinar en qué segmento LAN enviar la trama?
- Similar a problema de ruteo ...

Auto aprendizaje

- ▣ Cada switch tiene una **tabla de conmutación (switching table)**
- ▣ Entradas de la tabla del switch:
 - ▣ (Dirección MAC, Interfaz, Marca de tiempo)
 - ▣ Entradas antiguas son descartadas (TTL ~60 min)
- ▣ Switches **aprenden** qué hosts se encuentra en qué interfaz
 - ▣ Cuando una trama es recibida, el switch “aprende” la localización del Tx viendo el segmento LAN de llegada
 - ▣ Graba el par Tx/localización en tabla del switch

Filtrado y re-envío

Cuando un switch recibe una trama:

Busca en su tabla usando la dirección MAC destino

if encuentra entrada para el destino

then{

if destino está en segmento desde donde llegó trama

then descarte trama

else re-envíe la trama a la interfaz indicada

}

else {

inunde

Registre dirección origen

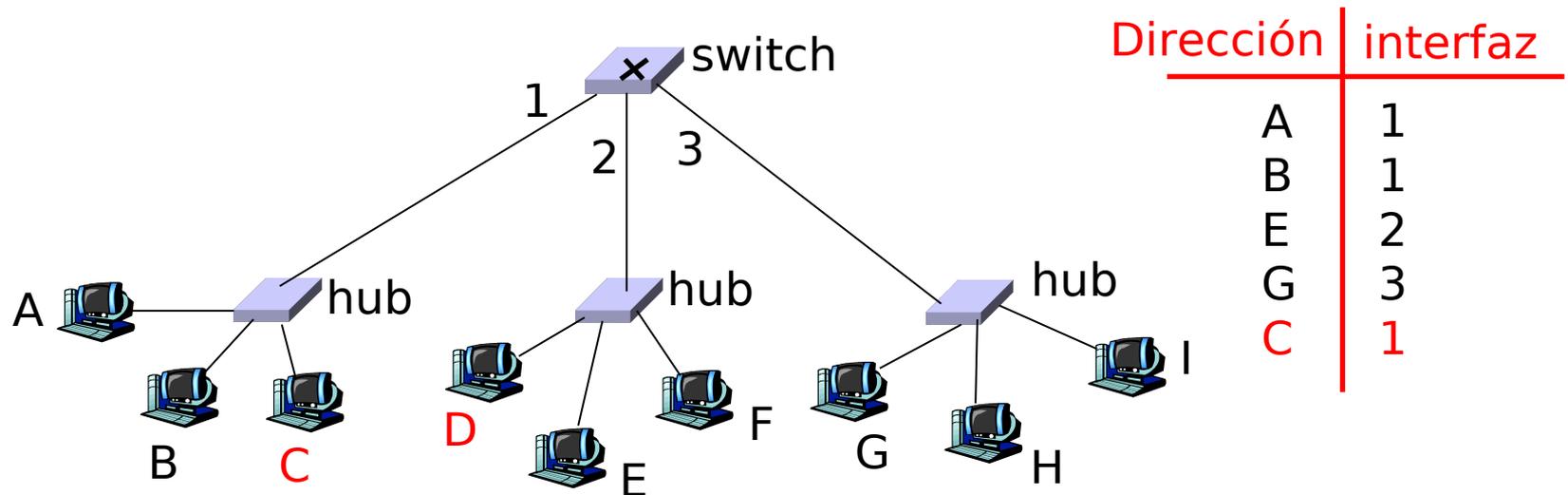
}

*Re-envíe en todas la interfaces
excepto la de llegada*



Ejemplo de Switches

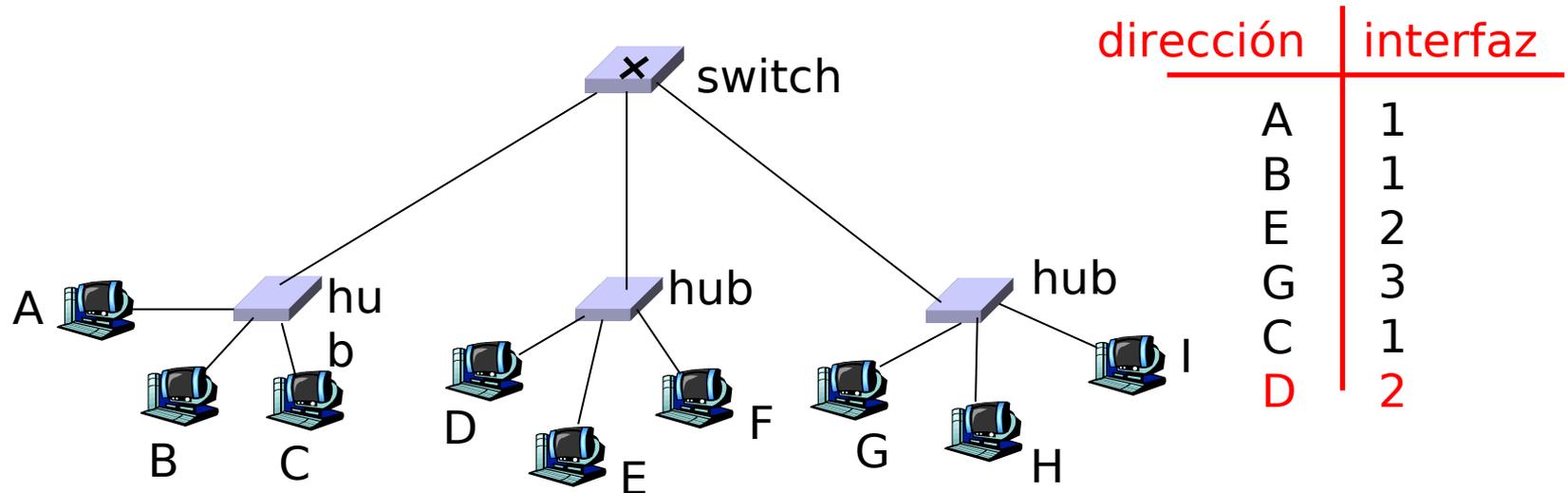
Supongamos que C envía una trama a D



- El switch (o bridge) recibe trama de C
 - Anota en tabla del switch que C está en interfaz 1
 - Debido a que D no está en la tabla, el switch re-envía la trama a interfaces 2 y 3
- La trama es recibida por D

Ejemplo de Switches

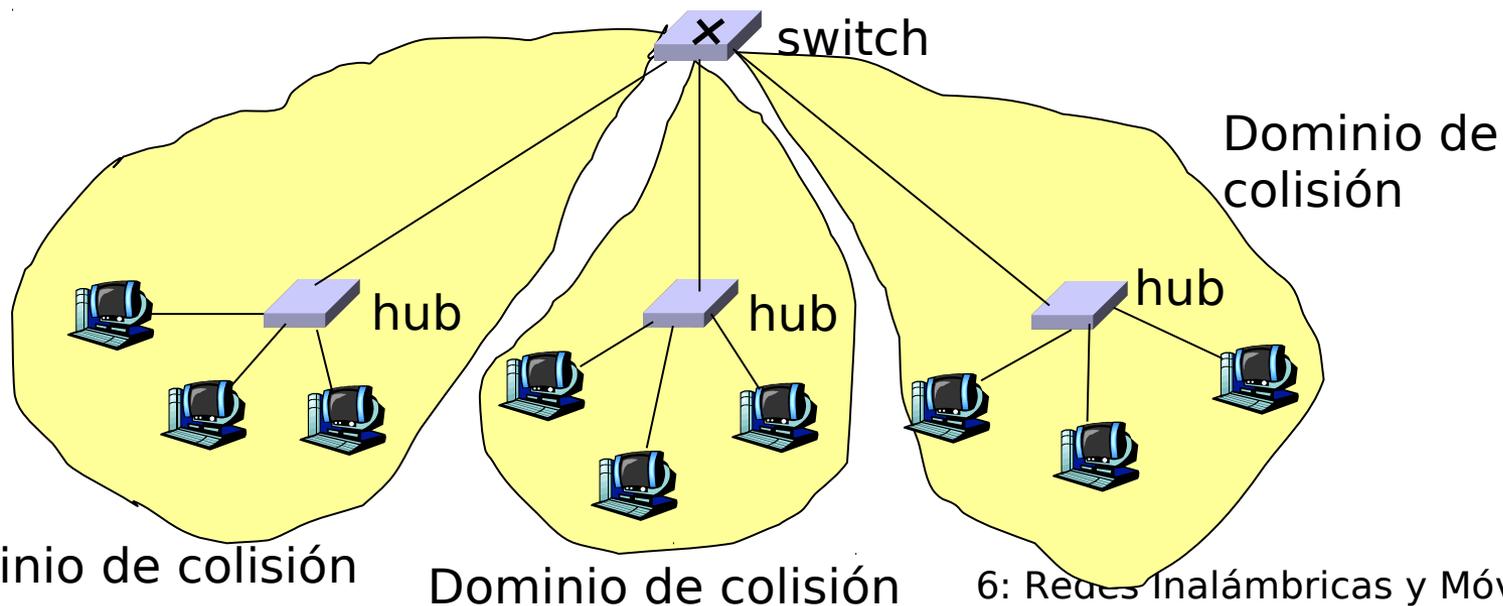
Supongamos que D responde a C con otra trama.



- El switch recibe la trama de D
 - Y anota en su tabla que D está en interfaz 2
 - Debido a que C ya está en la tabla, el switch re-envía la trama sólo por interfaz 1
- La trama es recibida por C

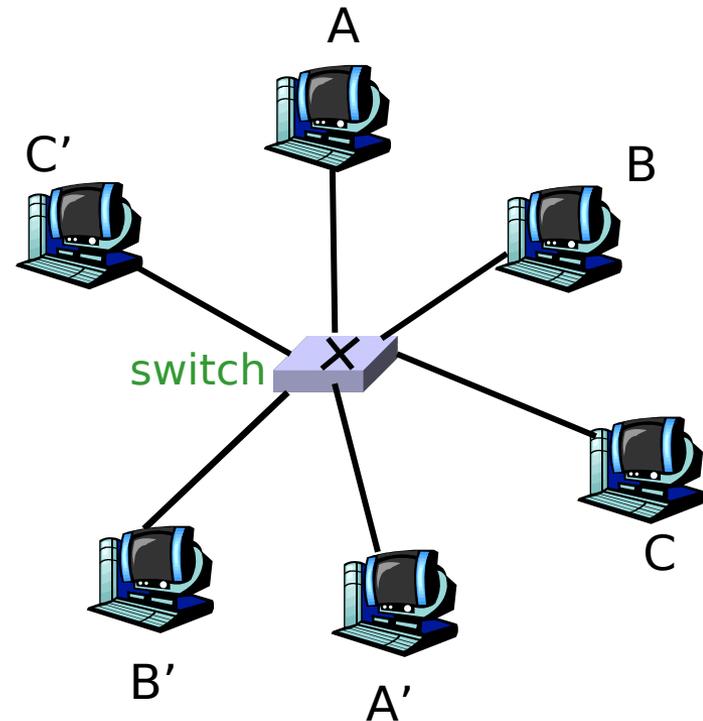
Switch: Aislamiento de tráfico

- El uso de un switch **divide la subred en segmentos** de LAN (para efectos de colisiones, por ejemplo)
- El switch **filtra** paquetes:
 - Las tramas de una mismo segmento de la LAN no son re-enviados normalmente a los otros segmentos
 - Los segmentos pasan a ser **dominios de colisión separados**



Switches: accesos dedicados

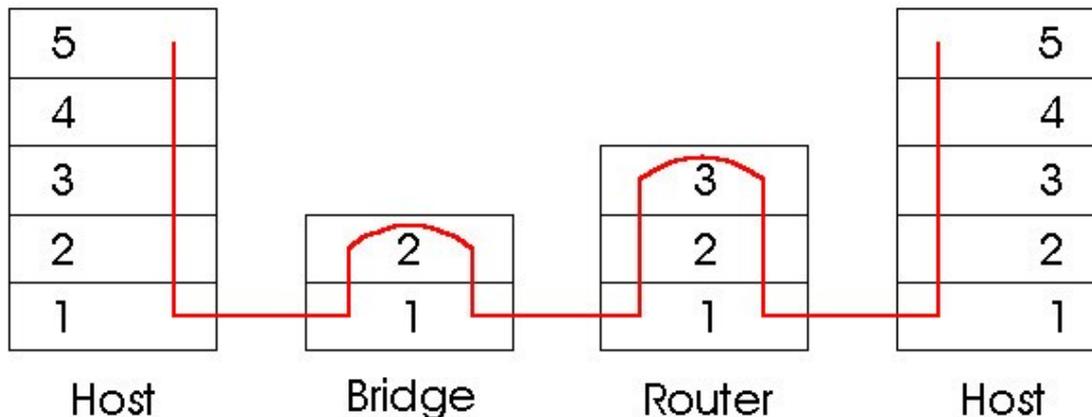
- Switch con muchas interfaces
- Cada host tiene conexión directa al switch
- No hay colisiones; full duplex



Conmutación: puede haber comunicación A-a-A' y B-a-B' simultáneamente, no hay colisiones

Switches vs. Routers

- Ambos son dispositivos de almacenamiento y re- envío
 - Routers son dispositivos de capa de red (examinan encabezados de capa de red)
 - Switches son dispositivos de capa enlace de datos.
- Routers mantienen tablas de ruteo, implementas los algoritmos de ruteo
- Switches mantienen las tablas de switches, implementan filtrado y algoritmos de aprendizaje



Fin del paréntesis 802.3

IEEE 802.11 Wireless LAN

□ 802.11b

- 2.4-2.5 GHz espectro de radio “no licenciado”
- hasta 11 Mbps
- Direct sequence spread spectrum (DSSS) en capa física
 - Todos los hosts usan el mismo código de chip
- Ampliamente difundido, usando estaciones bases

□ 802.11a

- Rango 5-6 GHz
- hasta 54 Mbps

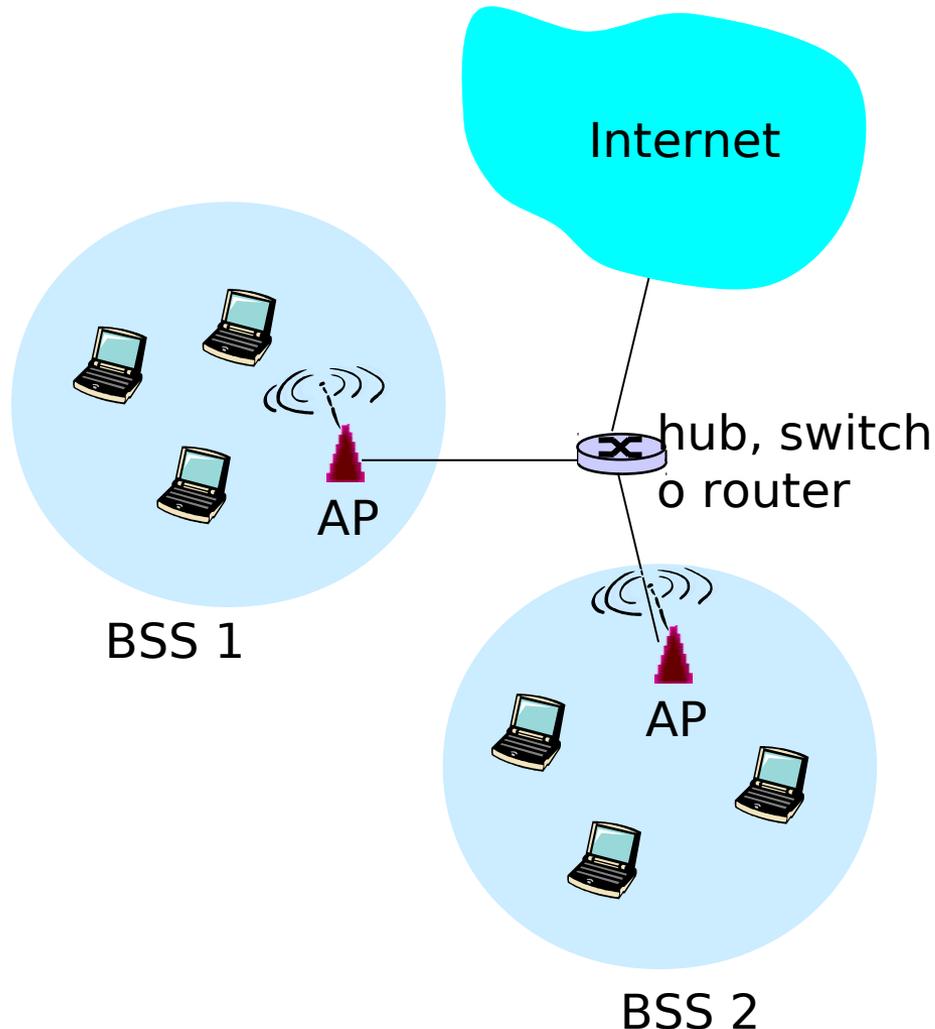
□ 802.11g

- Rango 2.4-2.5 GHz
- hasta 54 Mbps

□ Todos usan CSMA/CA para acceso múltiple

□ Todos tienen versiones con estación base y ad-hoc

802.11 Arquitectura LAN



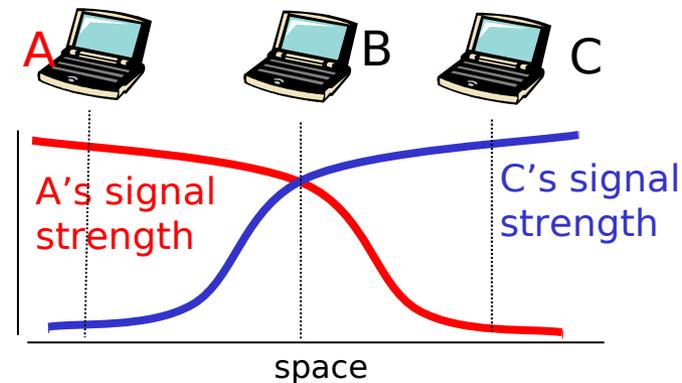
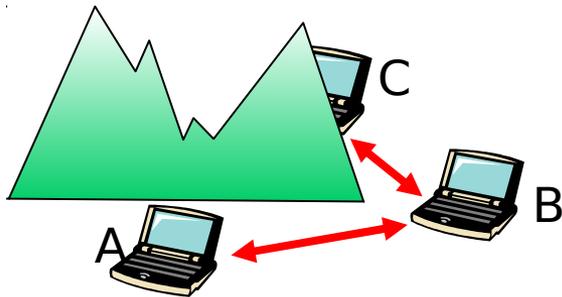
- ▣ Hosts inalámbricos se comunican con estación base
 - ▣ Estación base= access point (AP)
- ▣ Basic Service Set (BSS) (aka “cell”) en modo infraestructura contiene:
 - ▣ Hosts inalámbricos
 - ▣ access point (AP): Estación base
- ▣ Modo ad hoc: sólo hosts

802.11: Canales, asociación

- 802.11b: 2.4GHz-2.485GHz espectro dividido en 11 canales de frecuencias diferentes
 - Administrador de AP elige frecuencia (canal).
 - Posible interferencia: canal puede ser el mismo al del AP vecino!
- host: deben *asociarse* con AP
 - Rastrea canales, escuchando por *trama beacon* que contiene el nombre del AP (SSID) y dir. MAC
 - selecciona AP a cual asociarse
 - Puede efectuar autenticación [Capítulo 8]
 - Típicamente corre DHCP para obtener IP en la subred del AP

IEEE 802.11: acceso múltiple

- Abolir colisiones: 2 o más nodos transmitiendo al mismo tiempo
- 802.11: CSMA – sensor antes de transmitir
 - Evita colisión con transmisión en curso de otros nodos
- 802.11: *no* usa detección de colisión!
 - Difícil para receptor (senear colisión) cuando está transmitiendo debido a pequeña señal recibida (desvanecimiento)
 - No puede senear todas la colisiones: terminal oculto, desvanecimiento
 - meta: *abolir colisiones*: CSMA/C(ollision)A(voidance)



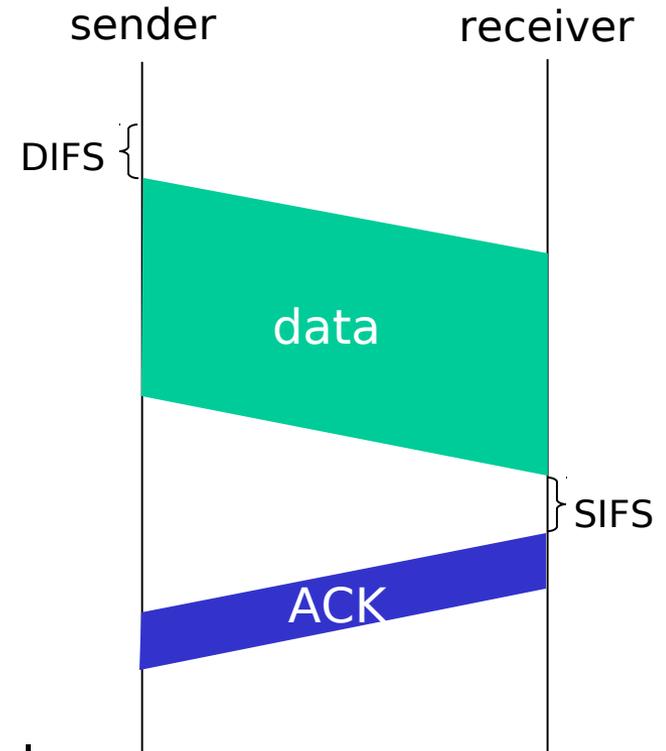
IEEE 802.11 Protocolo MAC: CSMA/CA

802.11 Tx

- 1 si sensa canal libre por **DIFS** entonces transmite trama entera (no CD)
- 2 si sensa canal ocupado entonces Inicia tiempo de backoff aleatorio
timer decremента mientras canal está libre
Transmite cuando el timer expira
si no hay ACK, incrementa intervalo de backoff aleatorio, repite 2

802.11 Rx

- si trama recibida es OK
retorna ACK después de **SIFS** (ACK necesario debido además a problema del terminal oculto)



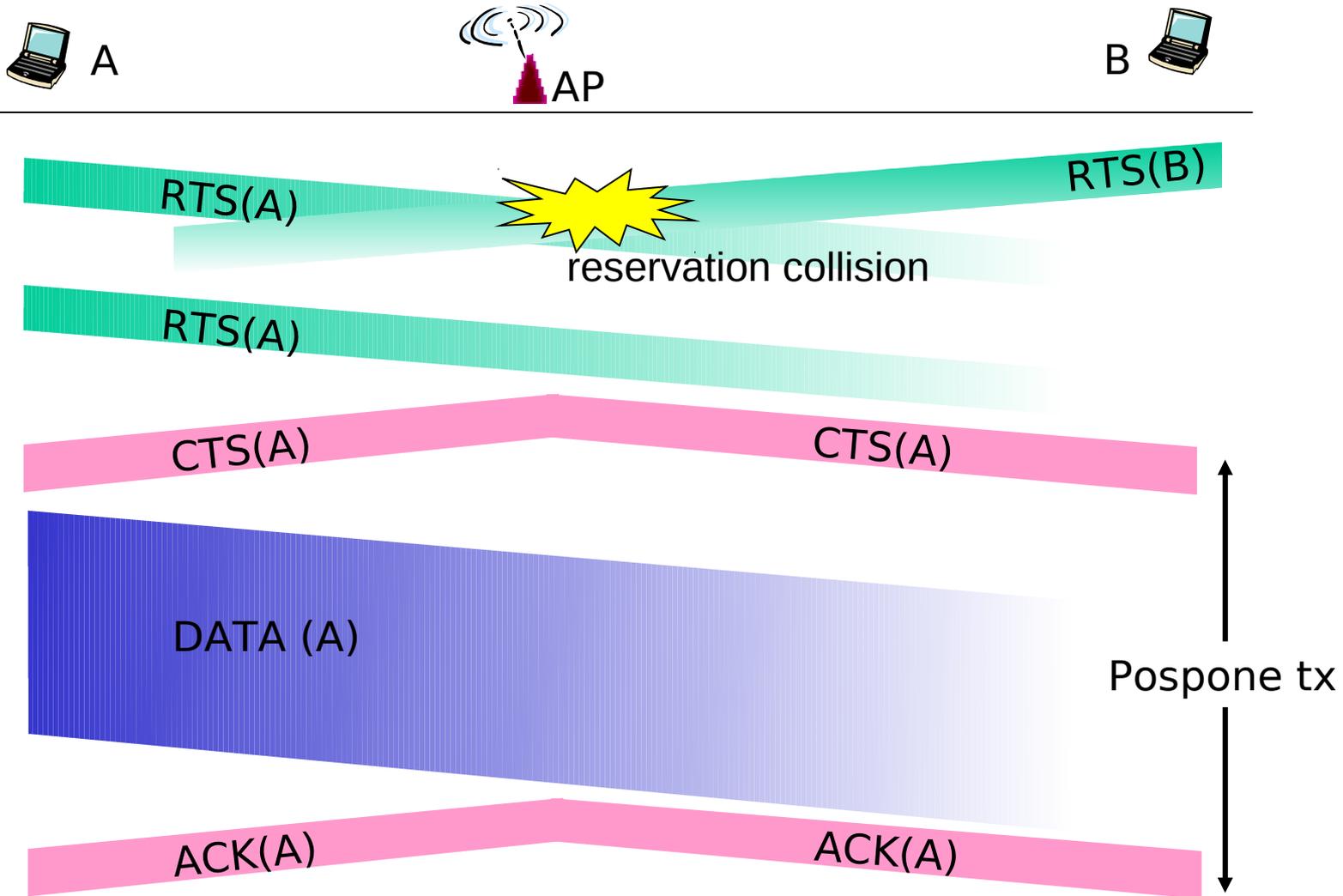
Abolición de colisiones (cont.)

idea: permitir a Tx “reservar” el canal en lugar de acceso aleatorio de tramas: abolir colisiones de largas tramas de datos.

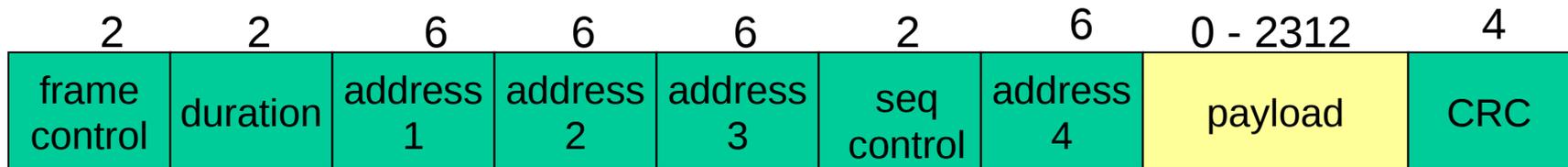
- Tx primero transmite request-to-send (RTS) *pequeño* a BS (AP) usando CSMA
 - RTSs pueden colisionar entre sí (pero son cortos)
- BS difunde un clear-to-send CTS en respuesta a RTS
- CTS es escuchado por todos los nodos
 - Tx transmite su trama
 - Otras estaciones posponen su transmisión

Permite abolir colisiones de tramas de datos completamente usando paquetes de reserva pequeños!

Abolición de Colisiones: RTS-CTS



Trama 802.11: direccionamiento



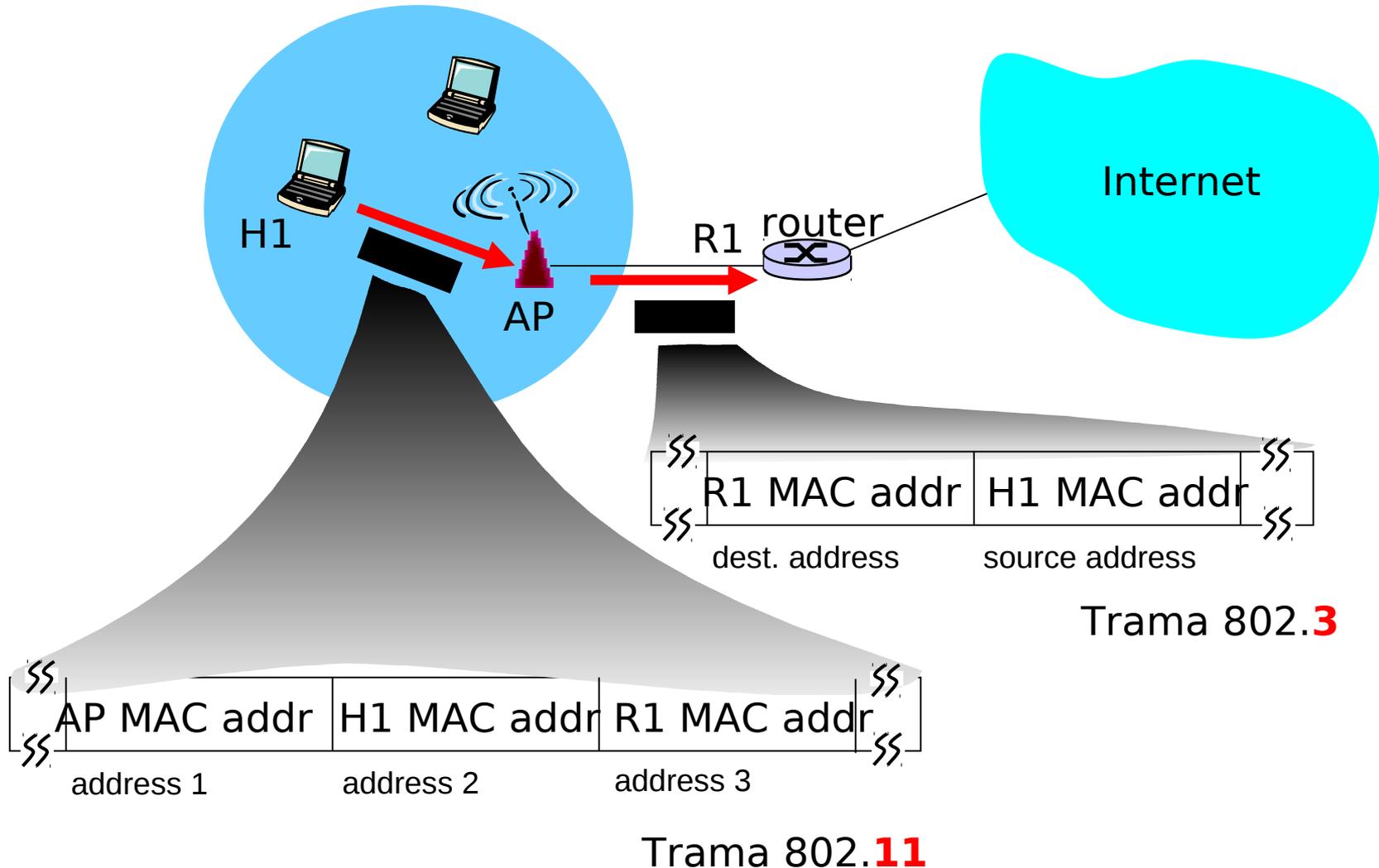
Address 1: dir. MAC del host wireless o AP **receptor** de trama

Address 2: dir. MAC del host wireless o AP **transmisor** de trama

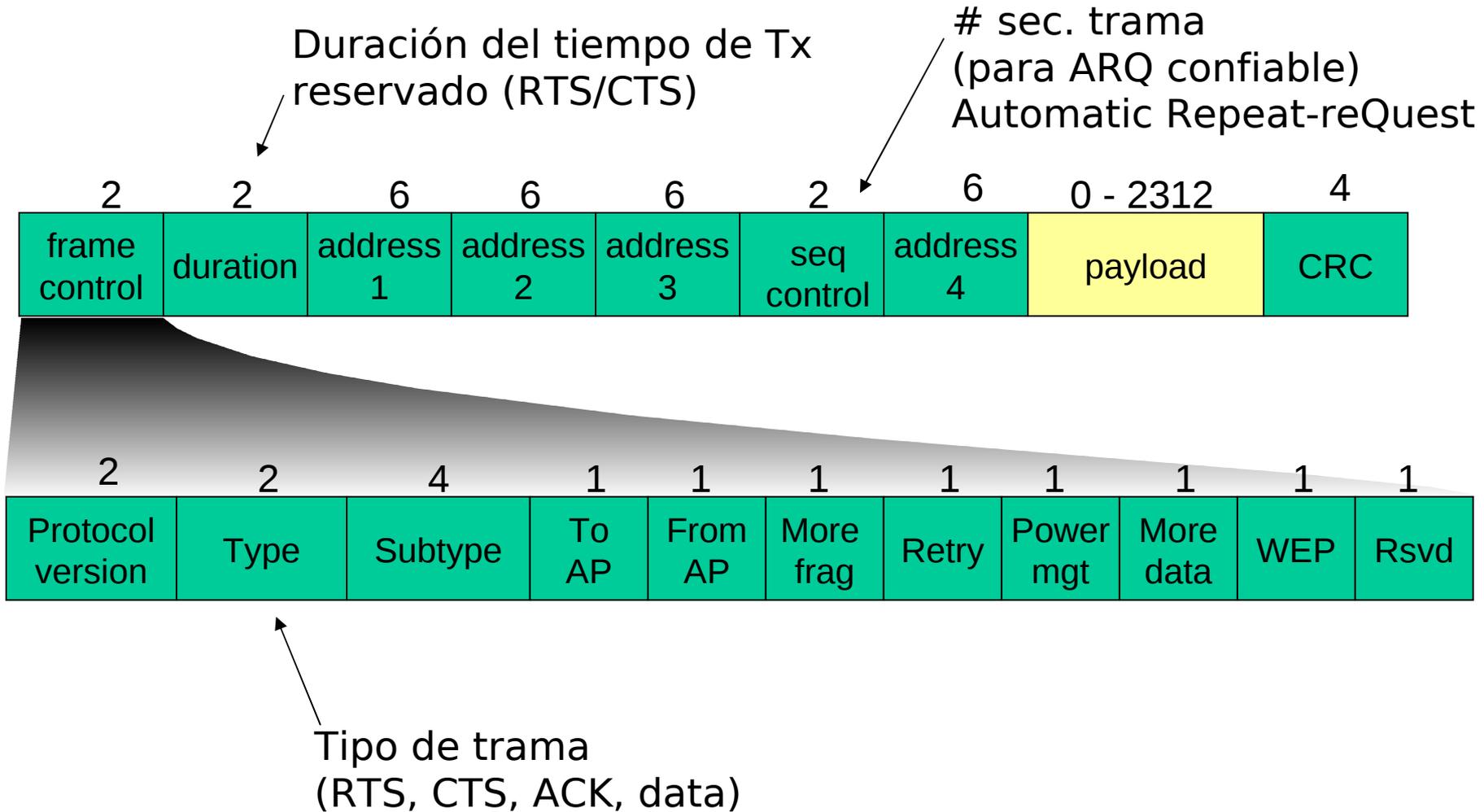
Address 3: dir. MAC De interfaz del router al cual el AP está conectado

Address 4: usada sólo en modo ad hoc

Trama 802.11: direccionamiento

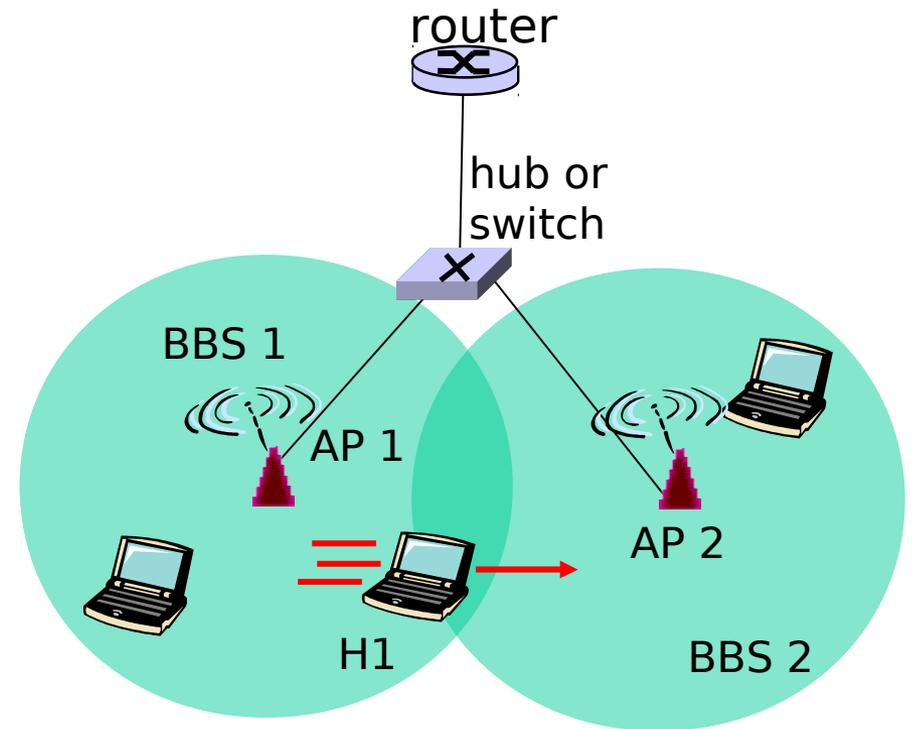


Trama 802.11: cont.



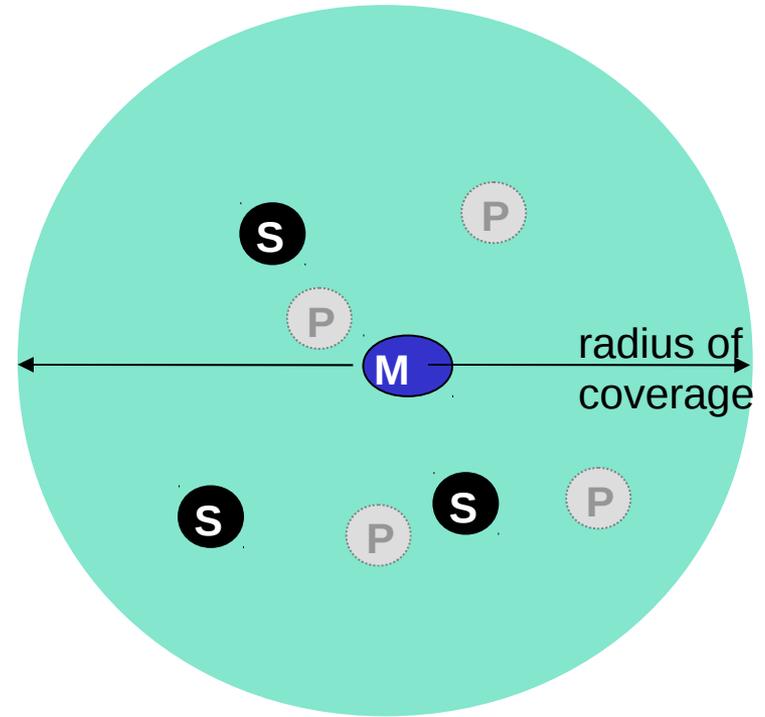
802.11: movilidad dentro de la misma subred

- H1 permanece en la misma subred IP: dir IP se mantiene igual
- switch: qué AP está asociado con H1?
 - Auto-aprendizaje (Ch. 5): switch verá tramas de H1 y recuerda qué puerta del switch es usada para llegar a H1



802.15: redes de área personal

- Menos de 10 m diámetro
- Reemplazo de cables (mouse, keyboard, headphones)
- ad hoc: no infraestructura
- maestro/esclavos:
 - Esclavos requieren permiso para Tx (al maestro)
 - Maestro concede permiso
- 802.15: evoluciona de especificación Bluetooth
 - Banda de radio 2.4-2.5 GHz
 - hasta 721 kbps



- M** Master device
- S** Slave device
- P** Parked device (inactive)

Capítulo 6: Contenidos

6.1 Introducción

Wireless

- ▣ 6.2 Enlaces Wireless, características
 - ▣ CDMA
- ▣ Paréntesis 802.3
- ▣ 6.3 IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ▣ 6.4 Acceso a Internet vía celular
 - ▣ arquitectura
 - ▣ estándares (e.g., GSM)

Movilidad

- ▣ 6.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ▣ 6.6 IP móvil
- ▣ 6.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ▣ 6.8 Movilidad y protocolos de capas superiores
- ▣ 6.9 Resumen

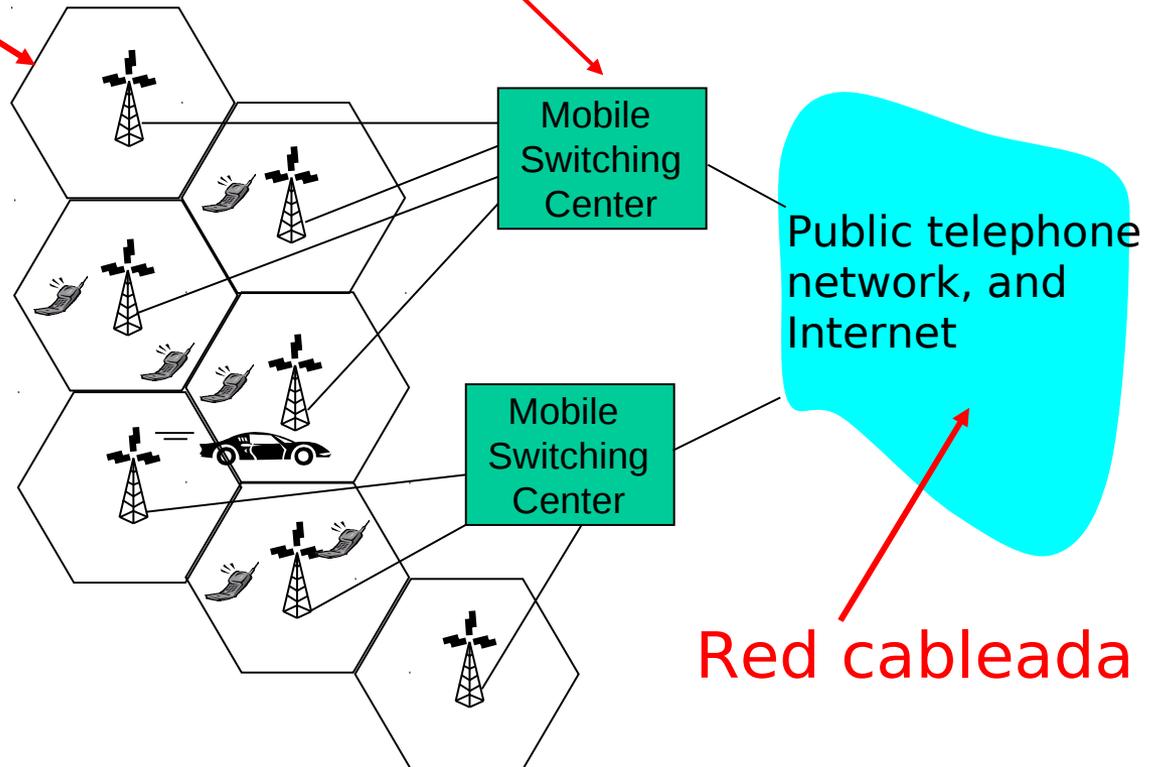
Componentes de arquitectura de red Celular

celdas

- ▣ cubre región geográfica
- ▣ *base station* (BS) análoga a 802.11 AP
- ▣ *usuarios móviles* conectados a red vía BS
- ▣ *interfaz aérea*: protocolo capa física y enlace entre móvil y BS

MSC

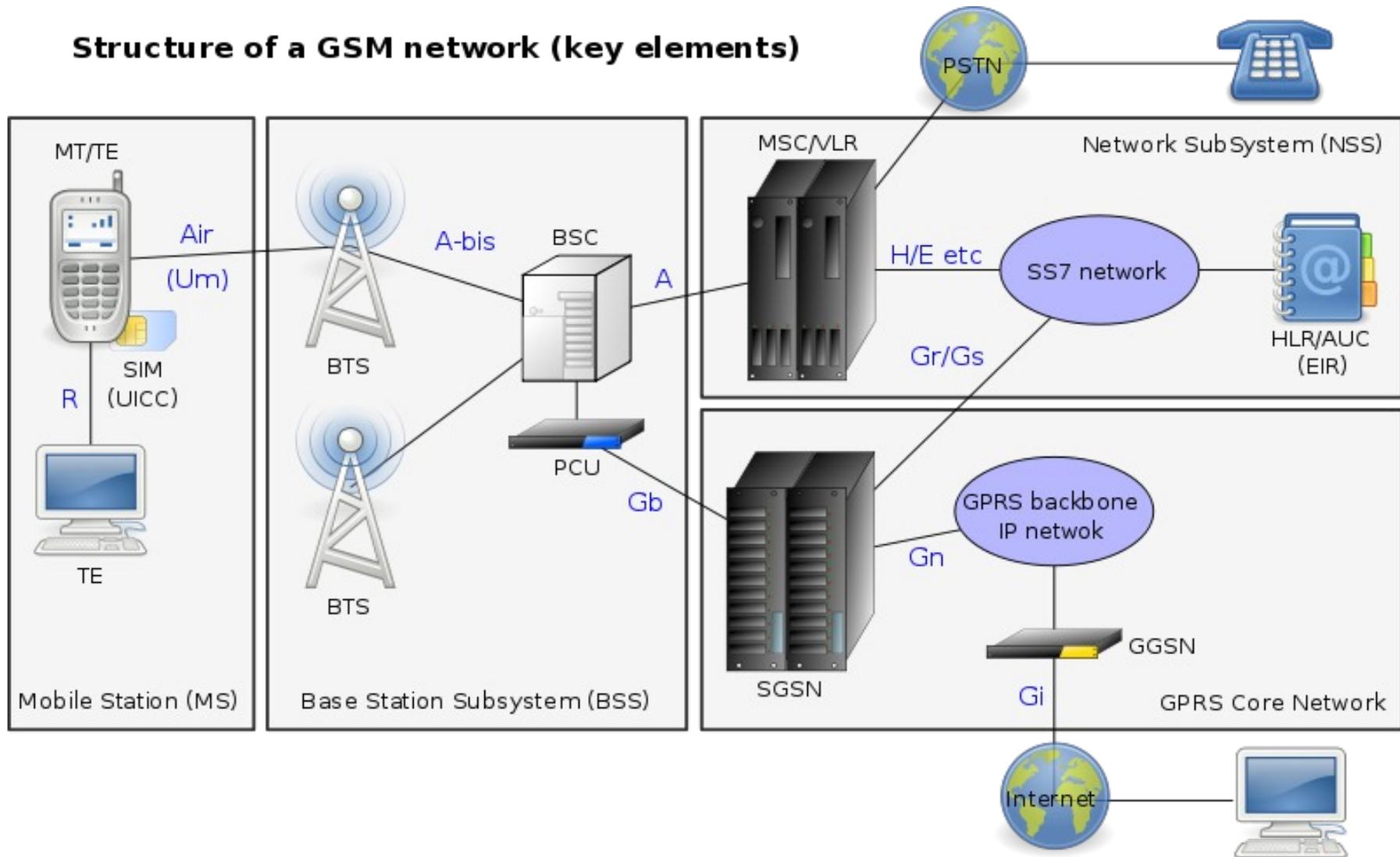
- ▣ conecta celdas a WAN
- ▣ administra establecimiento de llamadas (más luego!)
- ▣ maneja movilidad (más luego!)



Red cableada

Nota: Falta el Base Station Controller (BSC)

Structure of a GSM network (key elements)

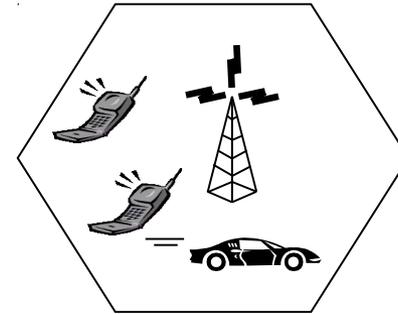


Fuente: [GSM: Wikipedia](#) (2010)

Redes Celulares: El primer salto

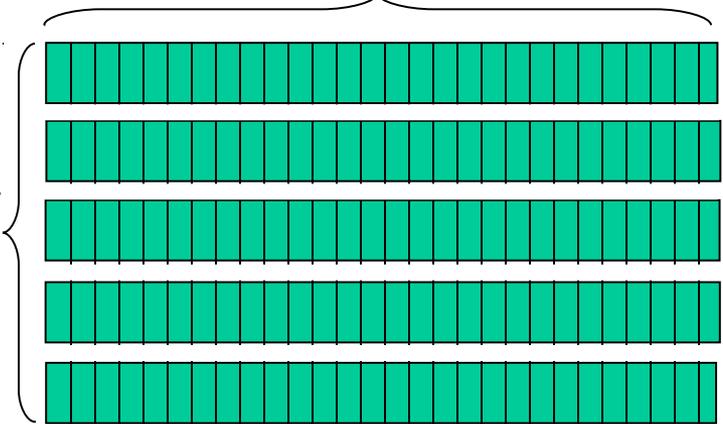
Dos técnicas para compartir espectro de radio entre móvil y BTS (base transceiver station o antena)

- **FDMA/TDMA combinado:** divide espectro en canales de frecuencias, divide cada canal en ranuras de tiempo
- **CDMA:** code division multiple access



time slots

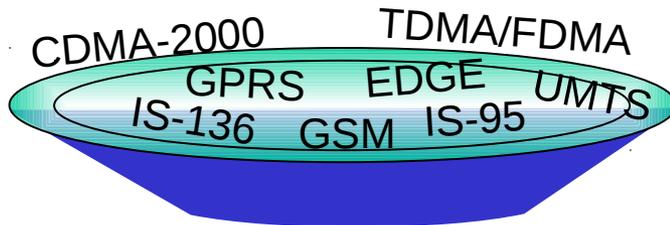
frequency bands



Estándar Celulares: resumen breve

Sistemas 2G : canales de voz

- IS-136 TDMA: FDMA/TDMA combinado (América del norte)
- GSM (global system for mobile communications): FDMA/TDMA combinado
 - Más ampliamente difundido (Usado en Chile!)
- IS-95 CDMA: code division multiple access



No nos ahogemos en una sopa de alfabeto:
Usemos esto sólo como referencia

Estándar Celulares: resumen breve

Sistemas 2.5 G: voz y canales de datos

- ▣ Para aquellos que no pueden esperar servicios 3G: extensiones 2G
- ▣ general packet radio service (GPRS)
 - ▣ Evolucionó de GSM
 - ▣ Envía datos en múltiples canales (si los dispone)
- ▣ enhanced data rates for global evolution (EDGE)
 - ▣ También evolucionó de GSM, usando modulación mejorada
 - ▣ Tasa de datos hasta 384K
- ▣ CDMA-2000 (phase 1)
 - ▣ Tasa de datos hasta 144K
 - ▣ Evolucionó de IS-95

Estándar Celulares: resumen breve

Sistemas 3G: voz y datos

- Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)
 - Próximo paso de GSM, pero usando CDMA
- CDMA-2000

..... El detalle de estos temas son mejor cubiertos en cursos del área de telecomunicaciones.