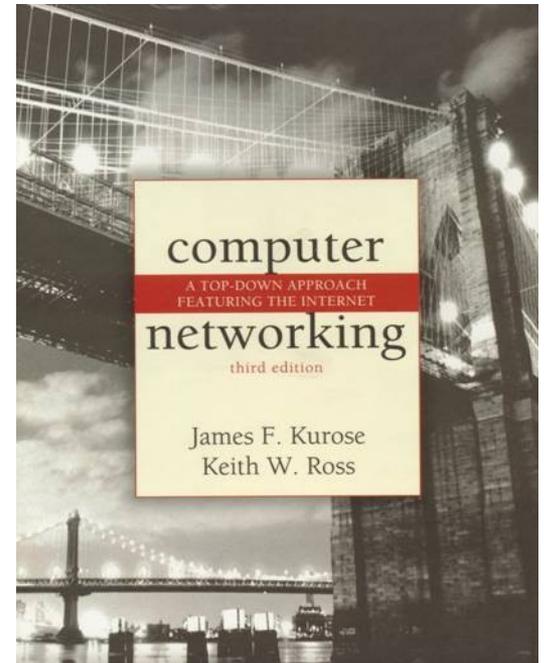


Capítulo 6

redes inalámbricas y móviles



Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet, 3rd edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, July 2004.

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

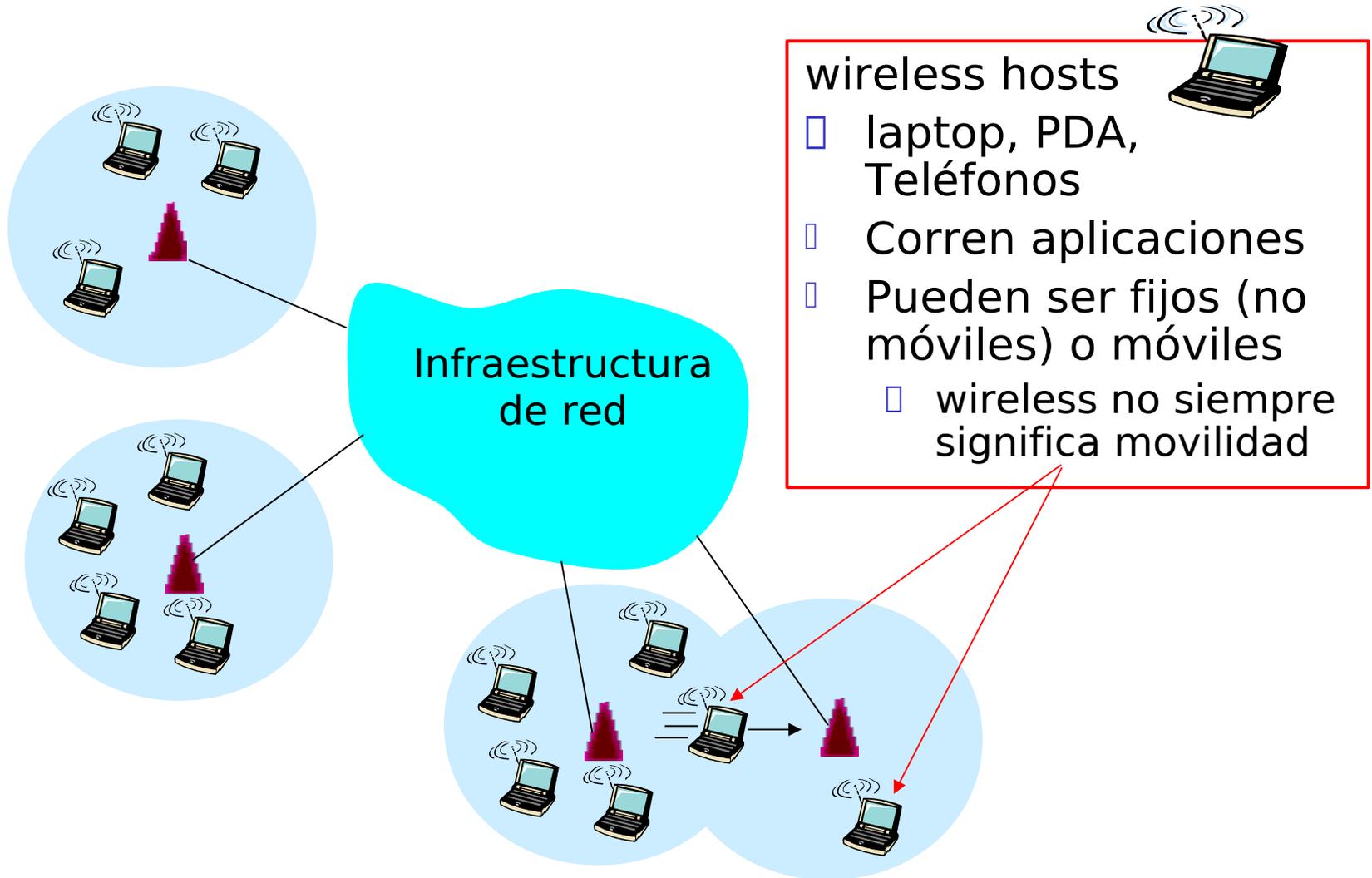
Wireless

- 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)

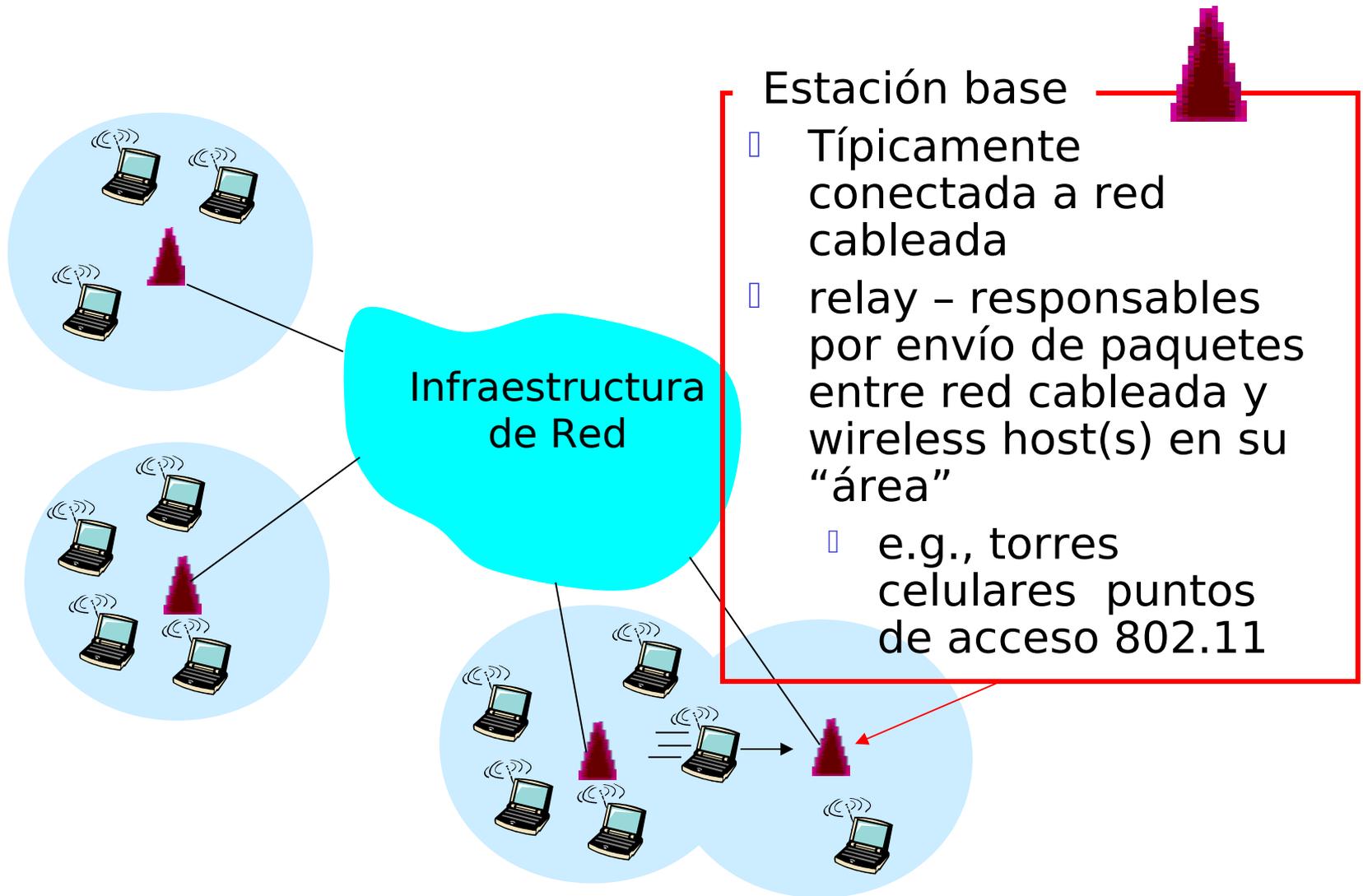
Movilidad

- 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

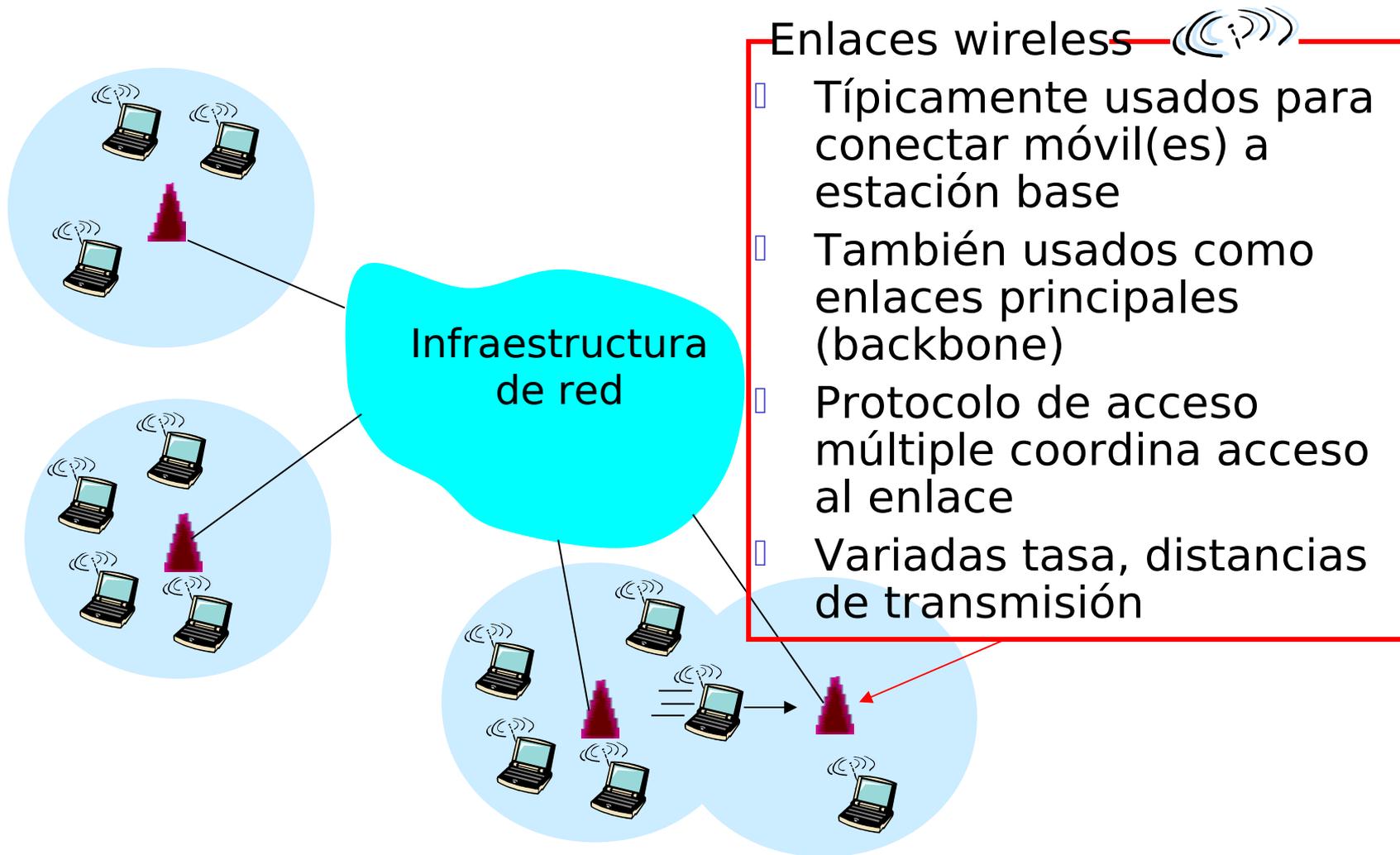
Elementos de una red inalámbrica



Elementos de una red inalámbrica



Elementos de una red inalámbrica



Características de estándares de enlaces inalámbricos

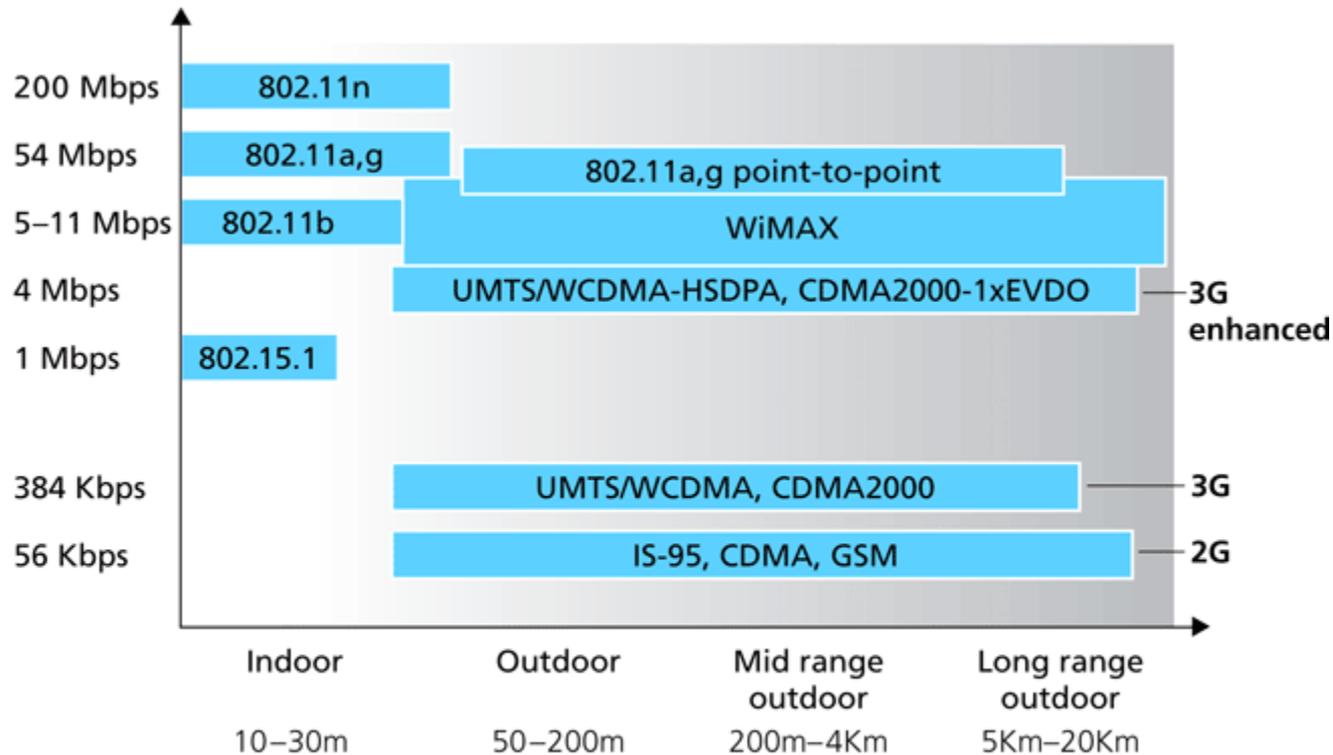
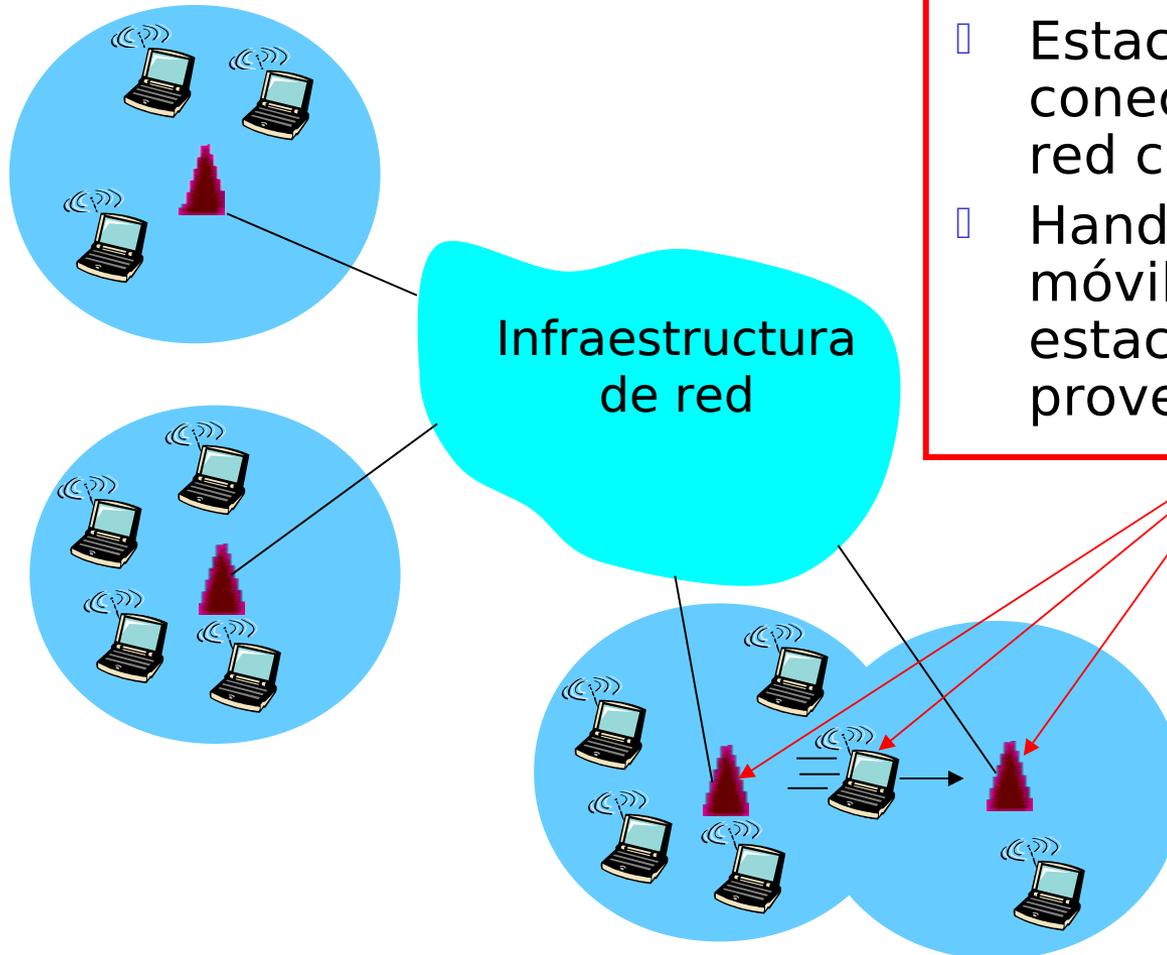


Figure 6.2 ♦ Link characteristics of selected wireless network standards

En ELO con plan de 10K\$/mes hemos medido 80Kbps y 100 Kbps de subida con EDGE y HSDPA respectivamente.

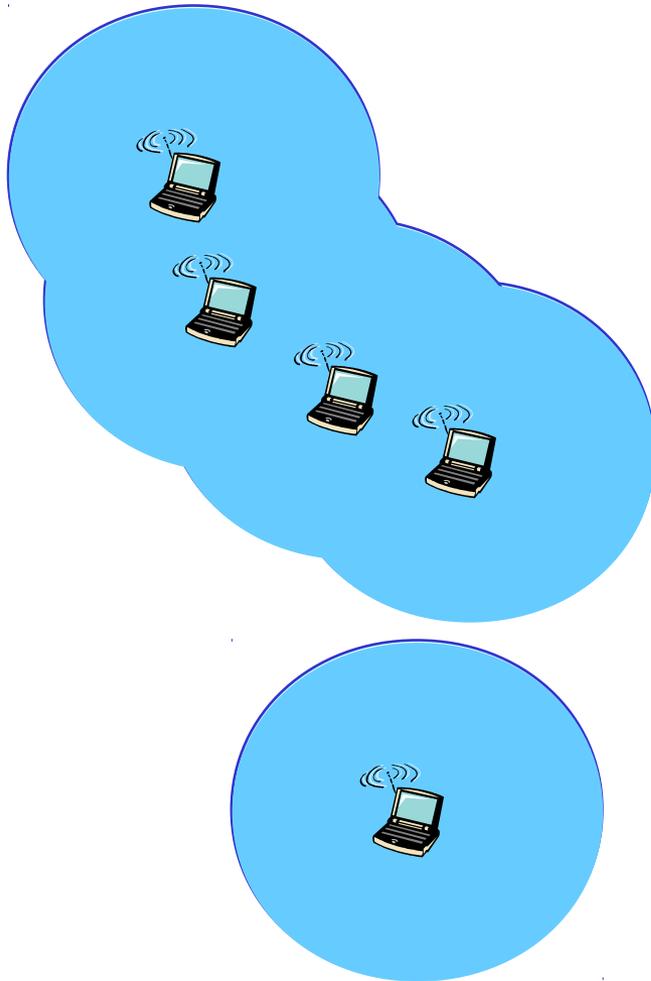
Elementos de una Red Inalámbrica



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

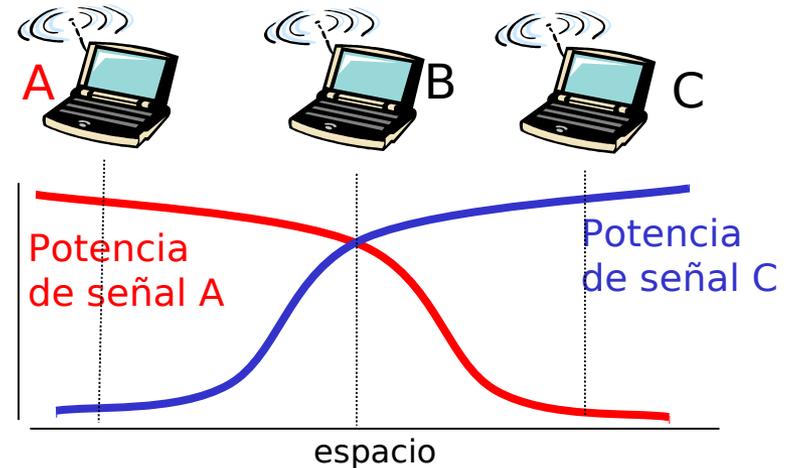
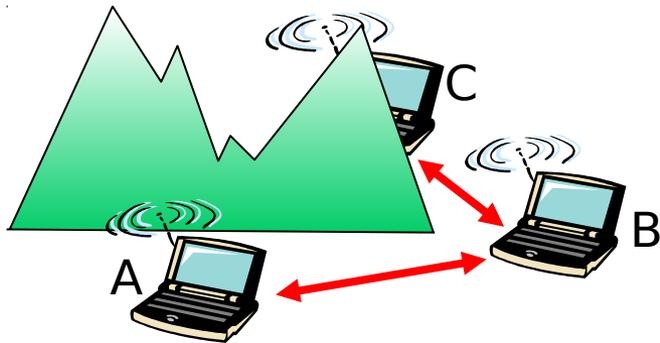
Características de los enlaces inalámbricos

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

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:

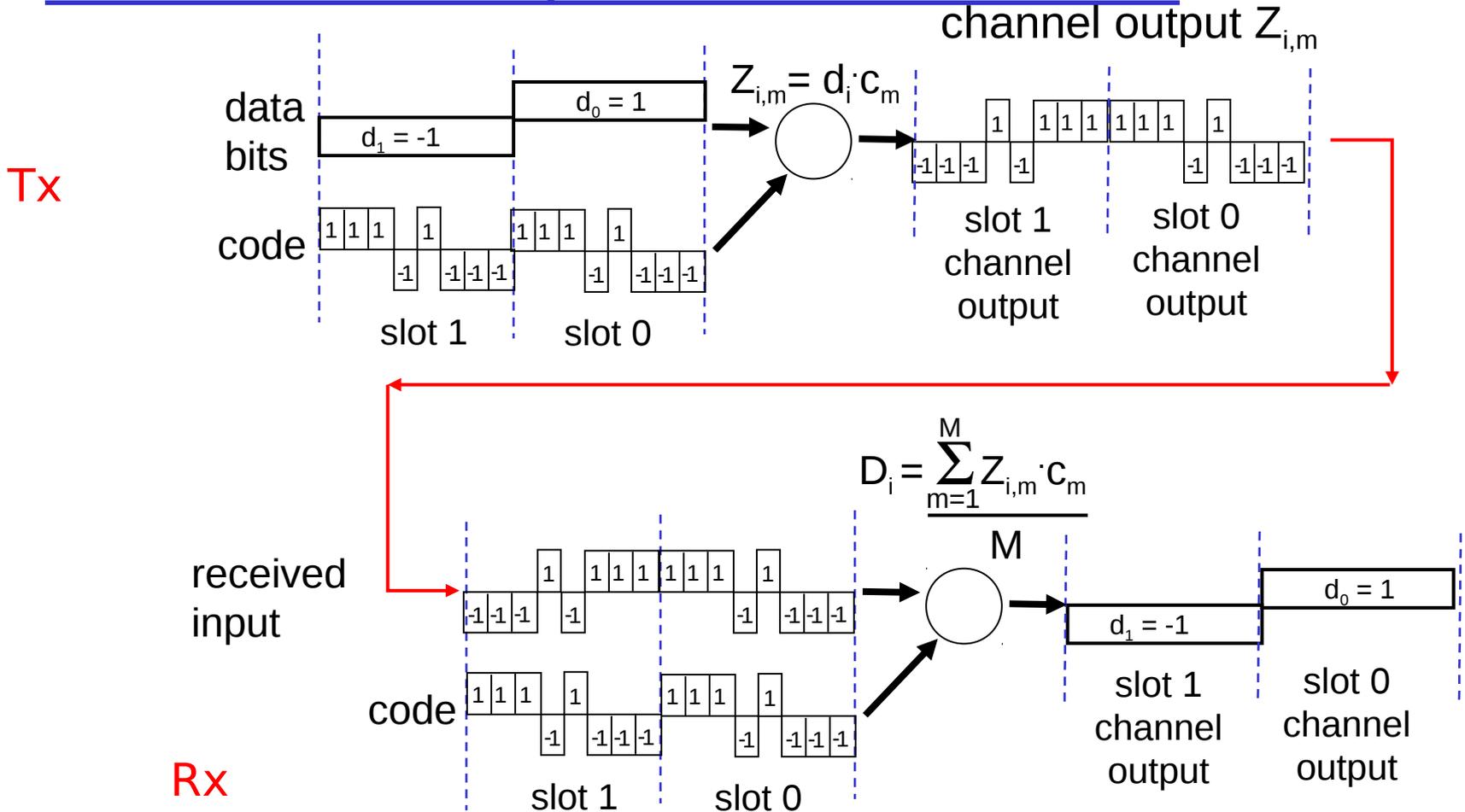
- B, A se escuchan
- B, C se escuchan
- A, C no se escuchan e interfieren en B

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 bits propia (i.e., código también llamado “chip”) 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”, es decir la suma de su producto es cero.)

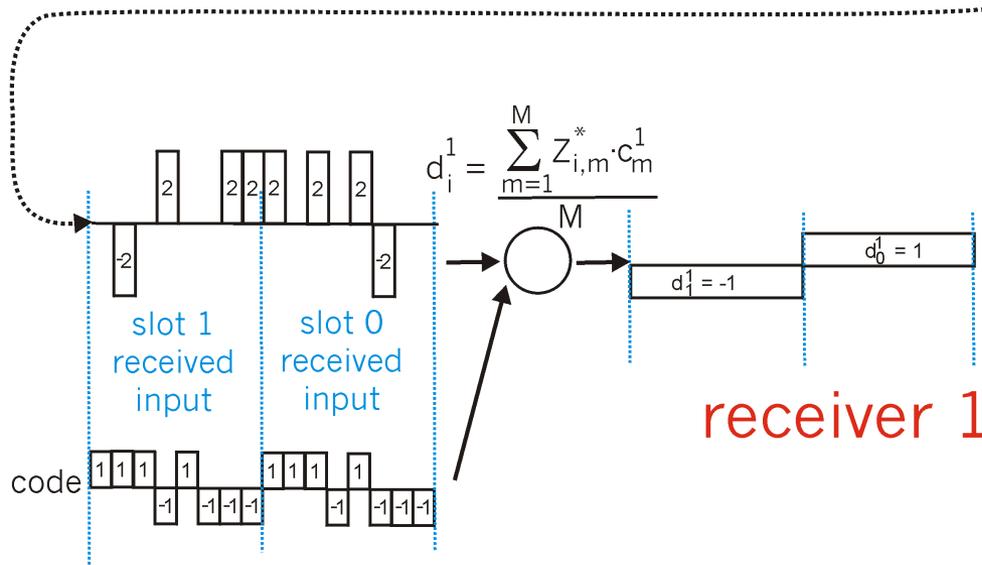
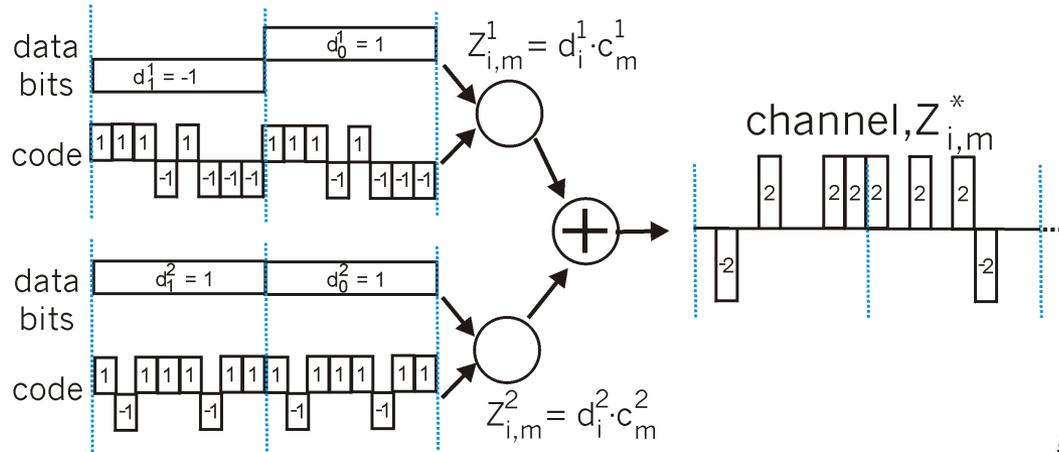
CDMA

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

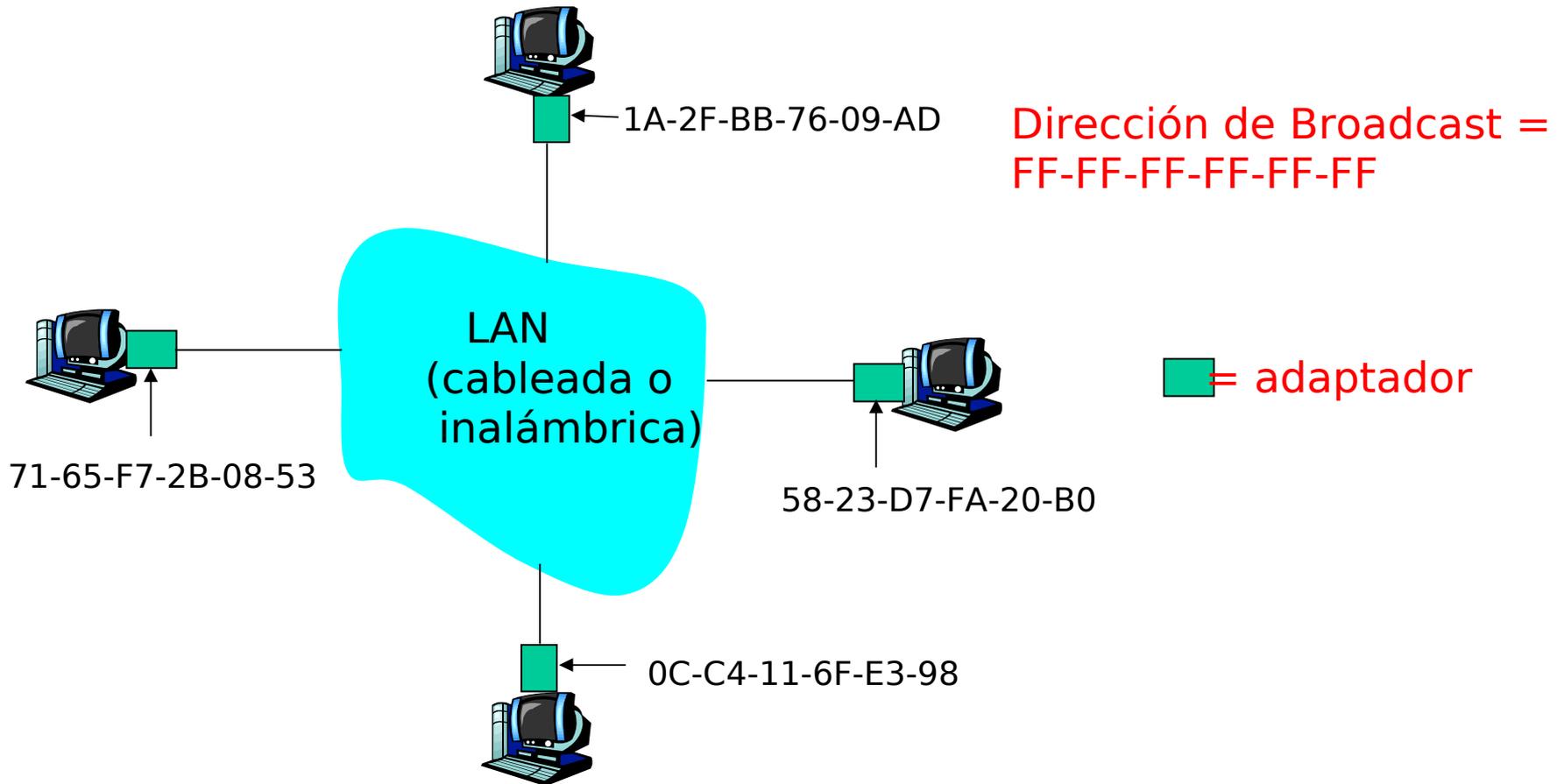
- Direcciones IP son de 32-bit:
 - Son direcciones de la capa de red
 - Son usada para conducir un datagrama a la subred (subnet) destino
 - IP es jerárquico y no es portátil (depende de su subnet)
 - asignado por administrador de subnet

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

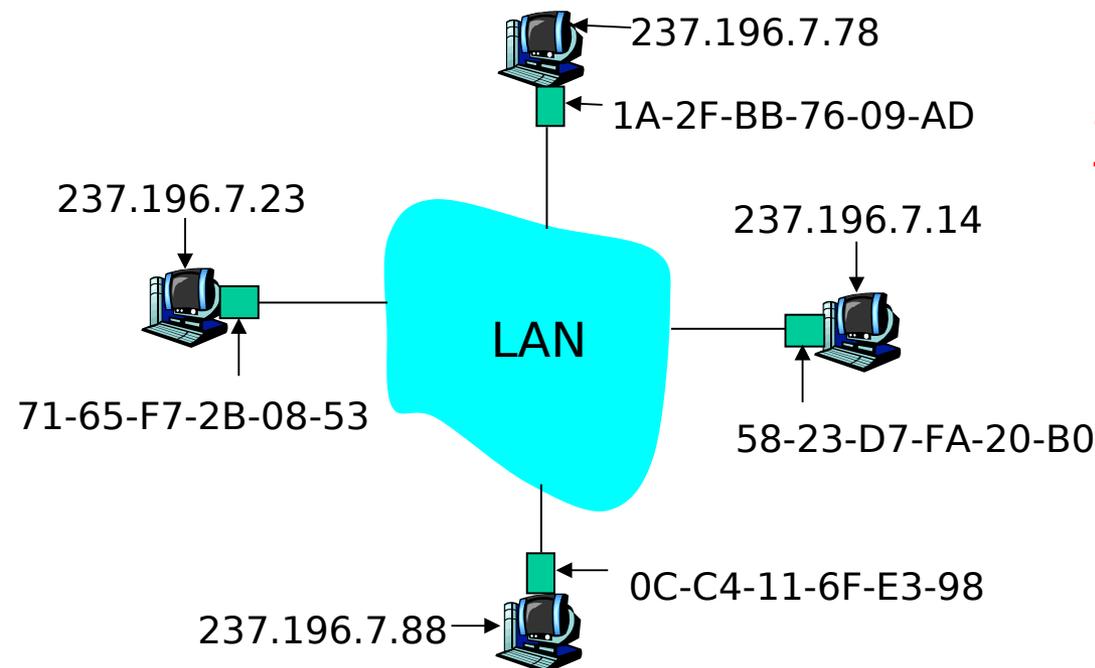
Pregunta: cómo determinar la dirección MAC sabiendo la dirección IP?

□ 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.



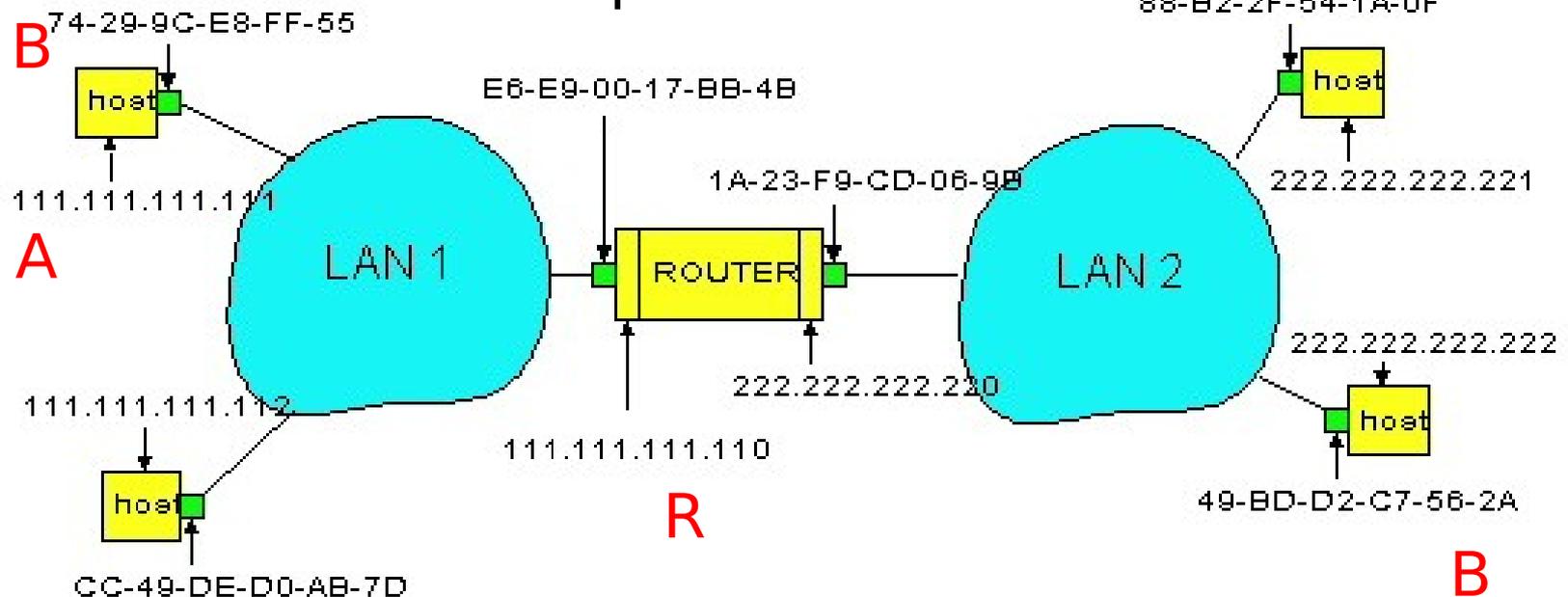
Protocolo ARP: Dentro de la misma LAN (network)

- ▣ 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

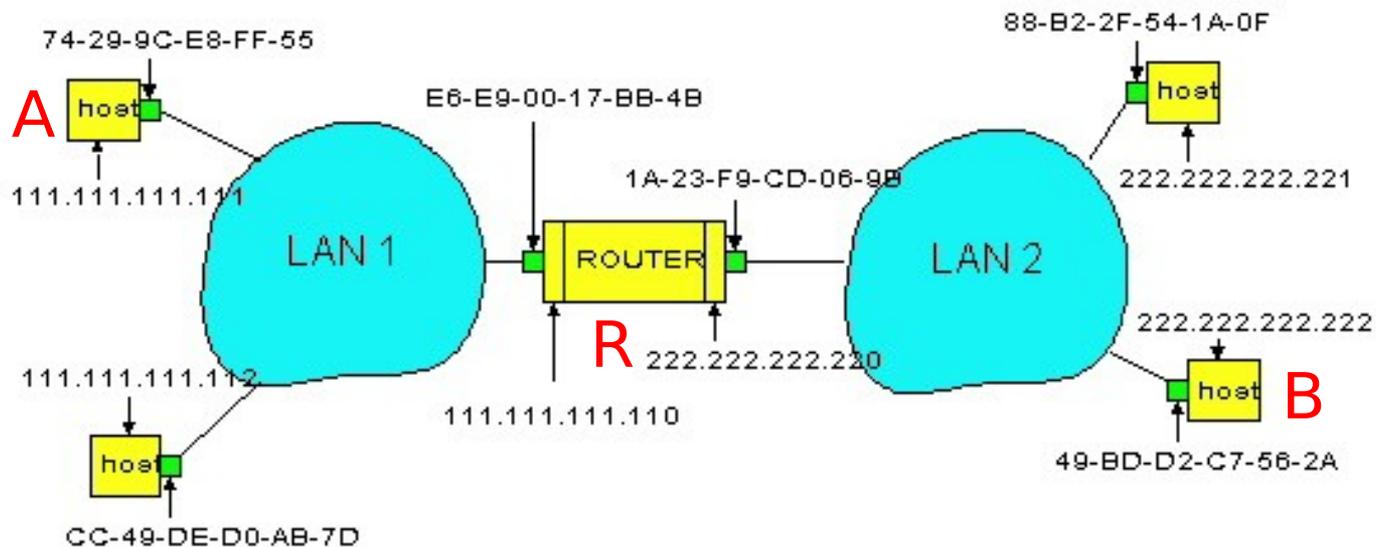
Seguimiento: envío de datagrama desde A a B
vía R

asume que A conoce dirección IP de



- 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**



Algunas implementaciones de ARP actualizan la asociación IP-MAC cuando se recibe un mensaje de respuesta ARP aún cuando no se haya difundido una consulta ARP. Muestre cómo esta debilidad puede ser explotada para hacer pasar por una máquina intermedia el tráfico que se desea enviar al router.



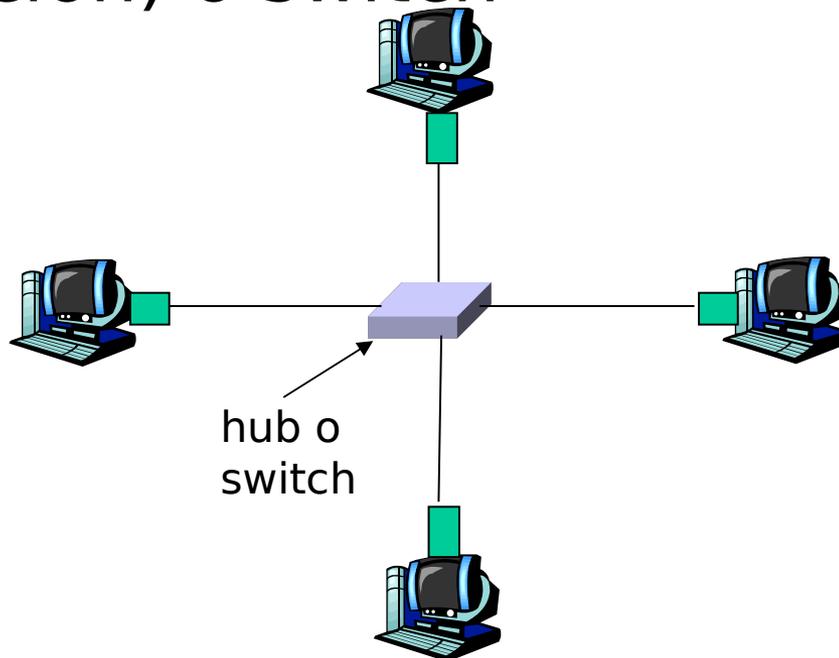
- La máquina atacante puede enviar una respuesta ARP a la máquina A diciendo que su MAC es la correspondiente a la IP del router. Luego envía una respuesta ARP al router diciendo que su MAC es la correspondiente a la IP de la máquina A.

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

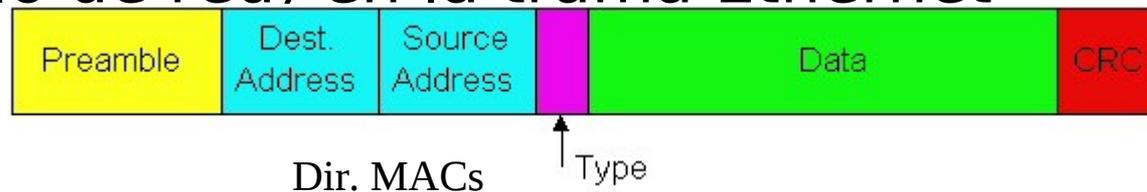
Topología Estrella

- En los 90 era común la topología Bus
- Hoy (2008) 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

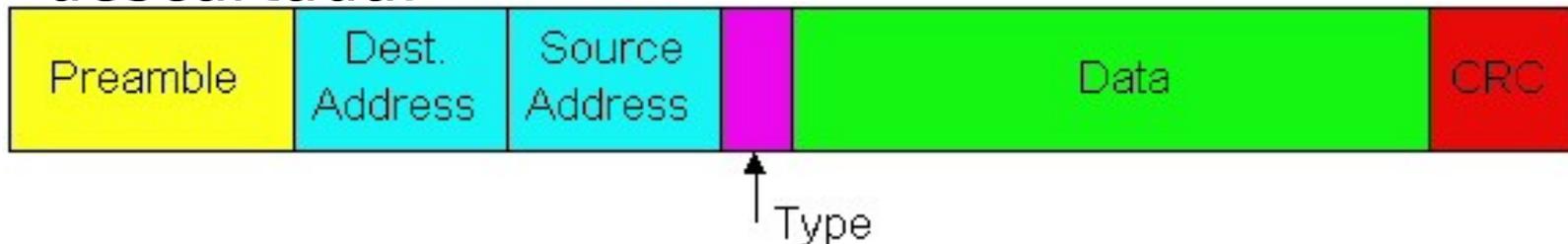


Preámbulo:

- 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

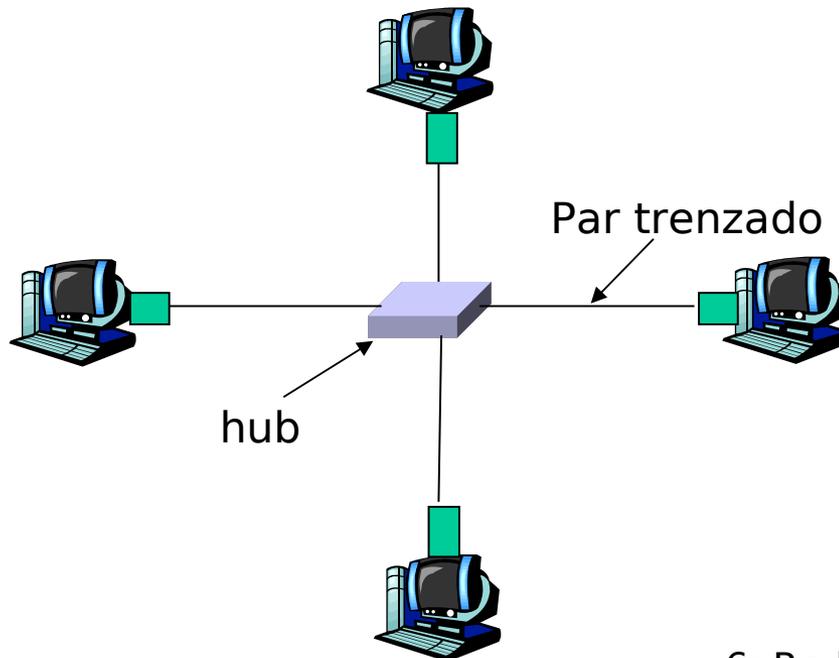
Backoff Exponencial:

- ▣ *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

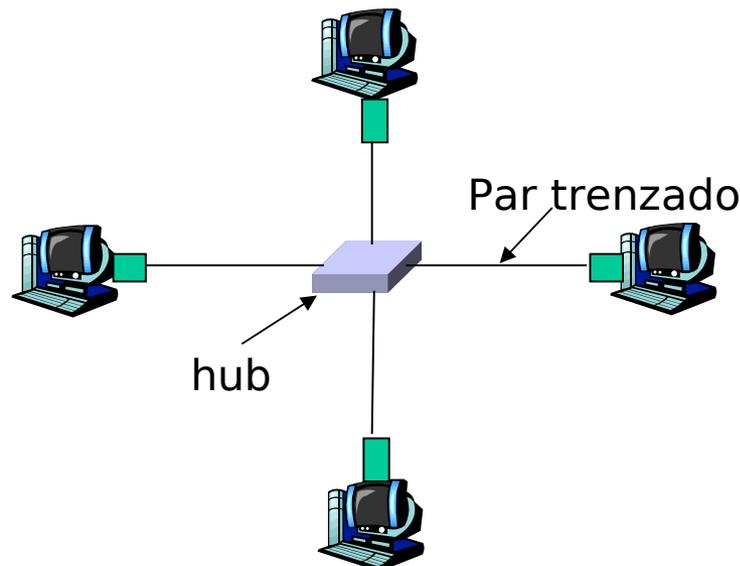
10BaseT y 100BaseT

- ▣ 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



Programas como wireshark permiten monitorear todos los paquetes disponibles en el cable de la interfaz que ésta captura. Suponga que usted necesita monitorear con wireshark todos paquetes de un brazo robótico conectado a un switch, ¿Cómo lo puede hacer?

- Ese monitoreo se puede realizar con facilidad usando un HUB, el cual se conecta entre el switch y el brazo robótico. Así conectamos nuestro computador con wireshark al hub y tenemos acceso a todo el tráfico enviado y recibido por el brazo robótico.

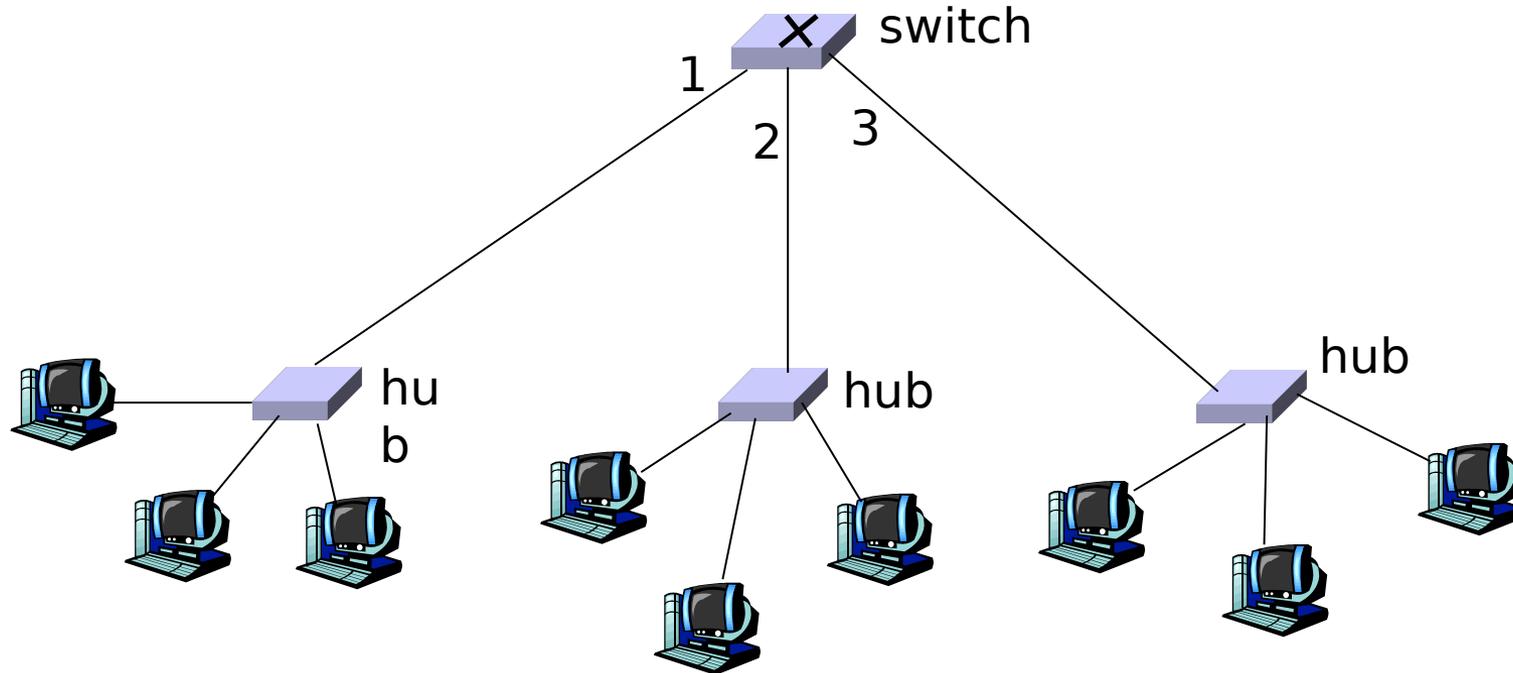
Capa Enlace de Datos

- ▣ 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

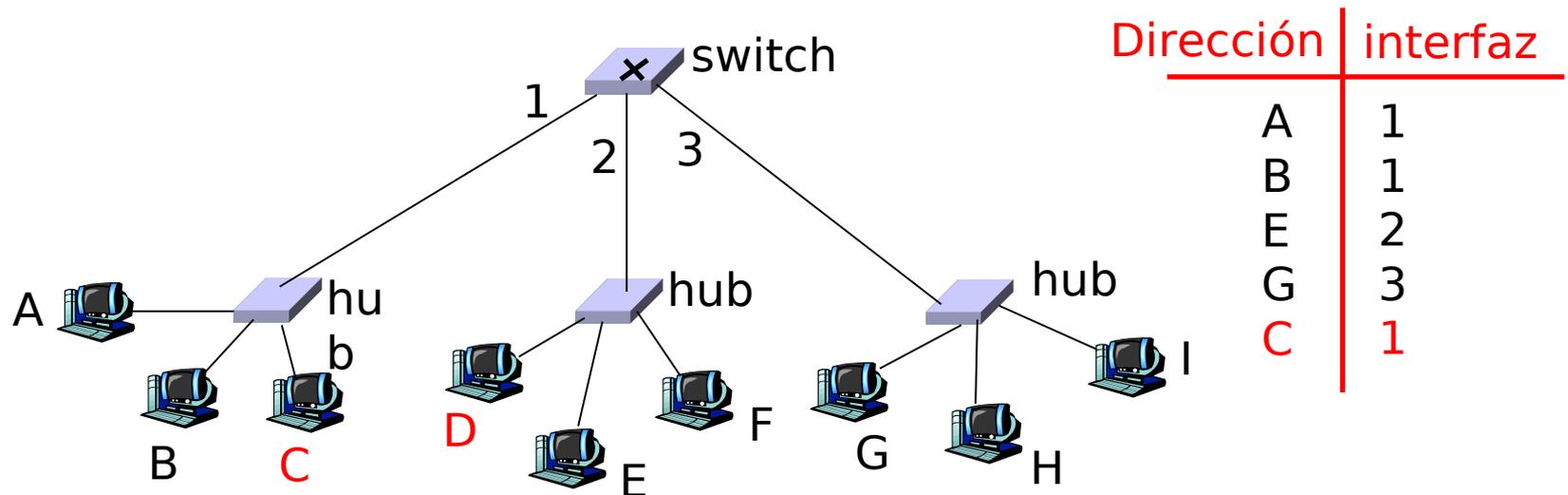
}

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



Ejemplo de Switches

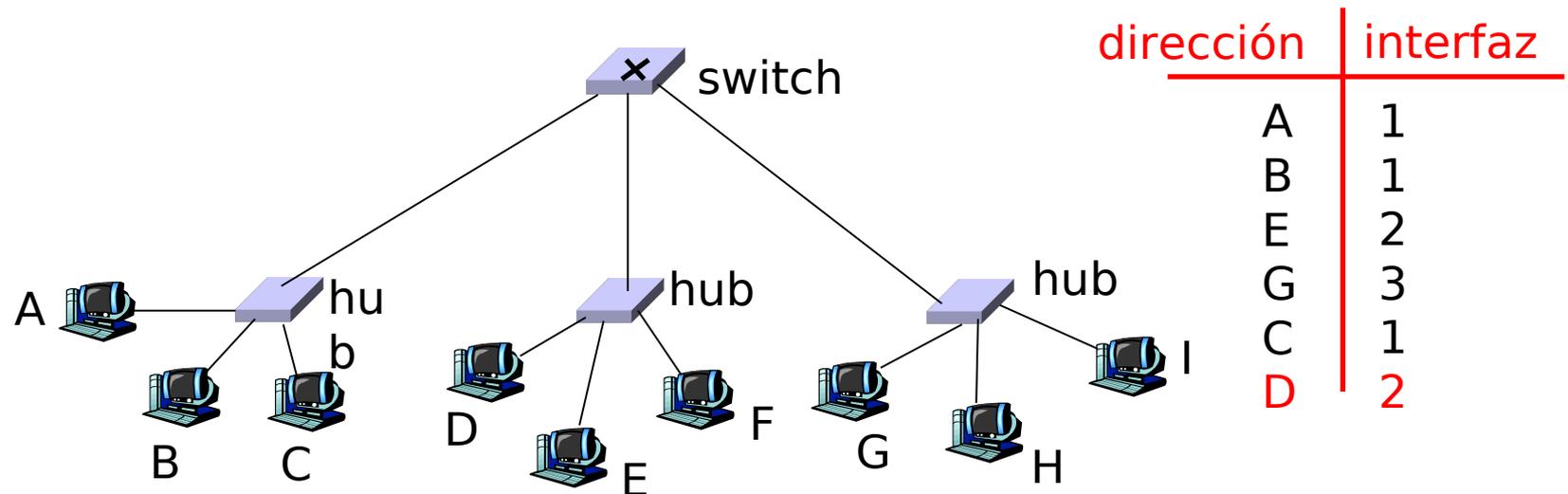
Supongamos que C envía una trama a D



- 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

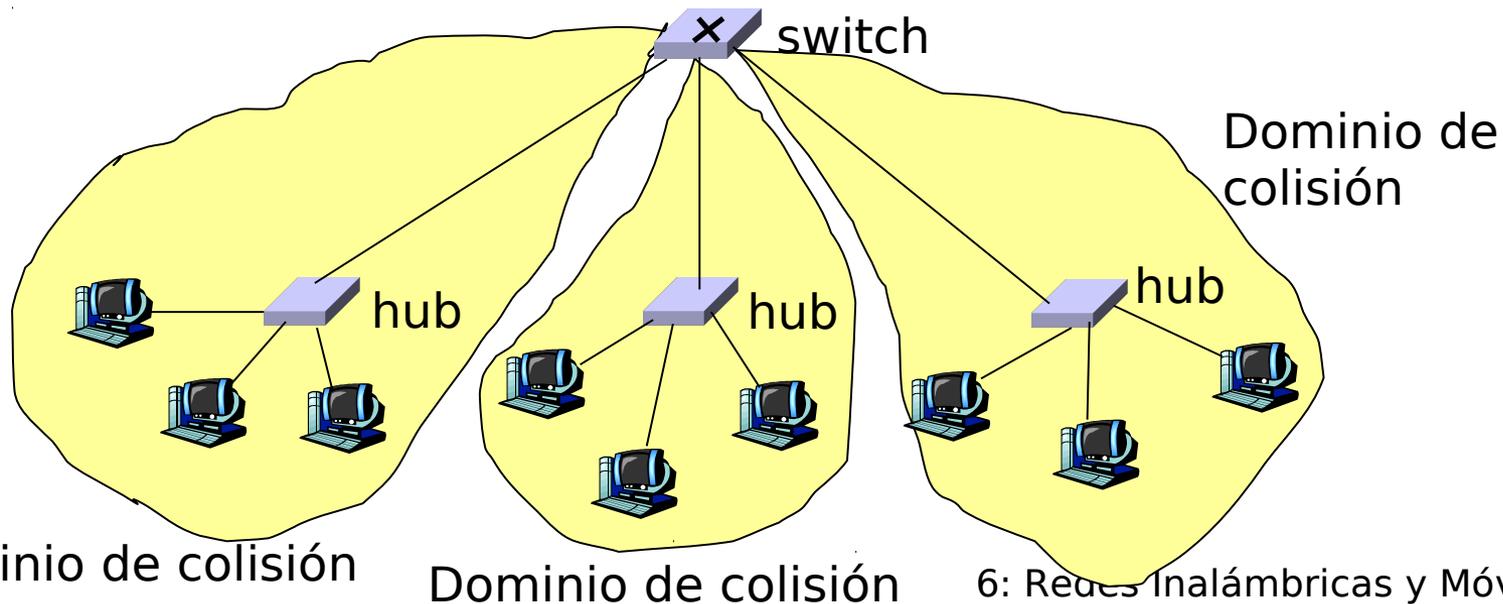
Supongamos que D responde a C con otra trama.



- 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**

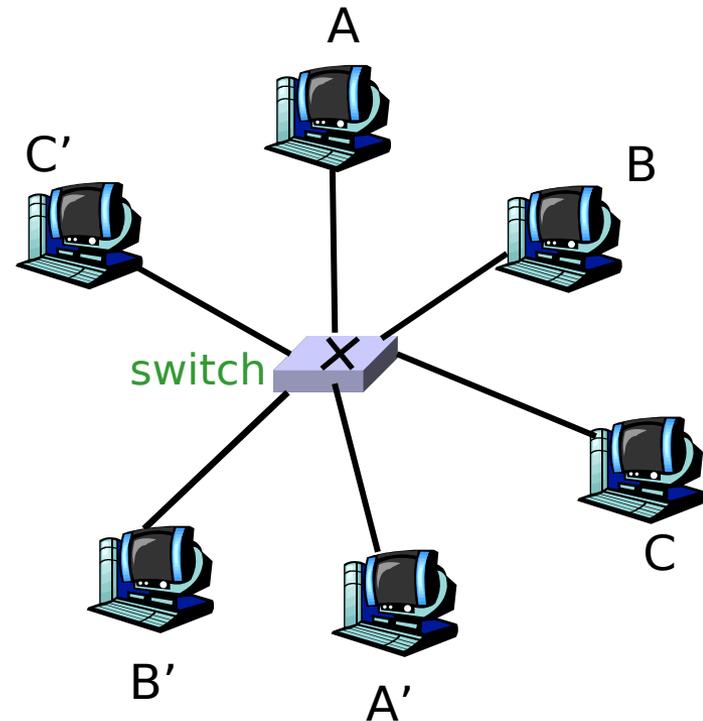


Alguien se pregunta ¿Por qué los switches ocupan CSMA/CD cuando envían datos siendo que usan dos pares trenzados para enviar datos y dos para recibir datos? Puede usted dar una explicación.

- Los switches funcionan igualmente si en una de sus bocas tiene conectando otro switch o un hub. Cuando se conecta un hub, el switch debe usar CSMA/CD pues cuando el par receptor de datos está activo, todos los pares receptores de los equipos el hub lo estará. El envío de datos por parte del switch en este caso generará colisión. Cuando el switch tiene conectado otro switch en una de sus bocas, ocurre lo mismo cuando el segundo switch replica los datos en todas las bocas antes de saber la ubicación del destinatario.

Switches: accesos dedicados

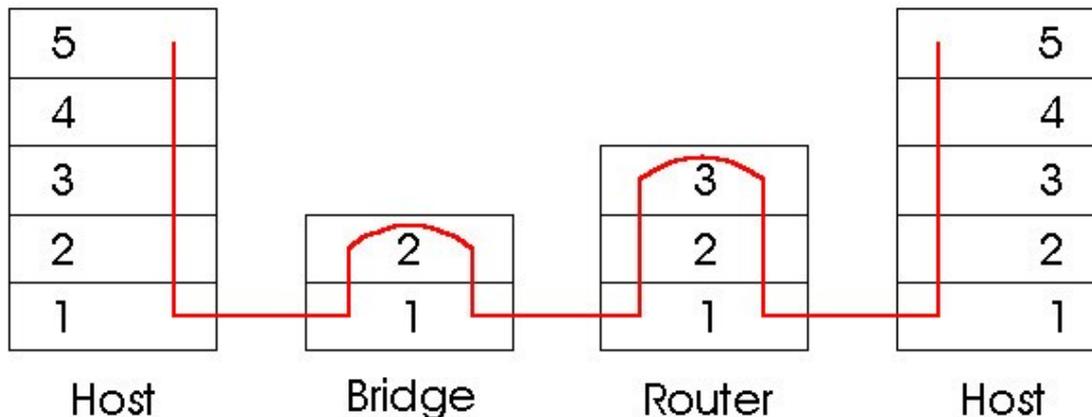
- Switch con muchas interfaces
- Cada host tiene conexión directa al switch
- No hay colisiones; full duplex



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

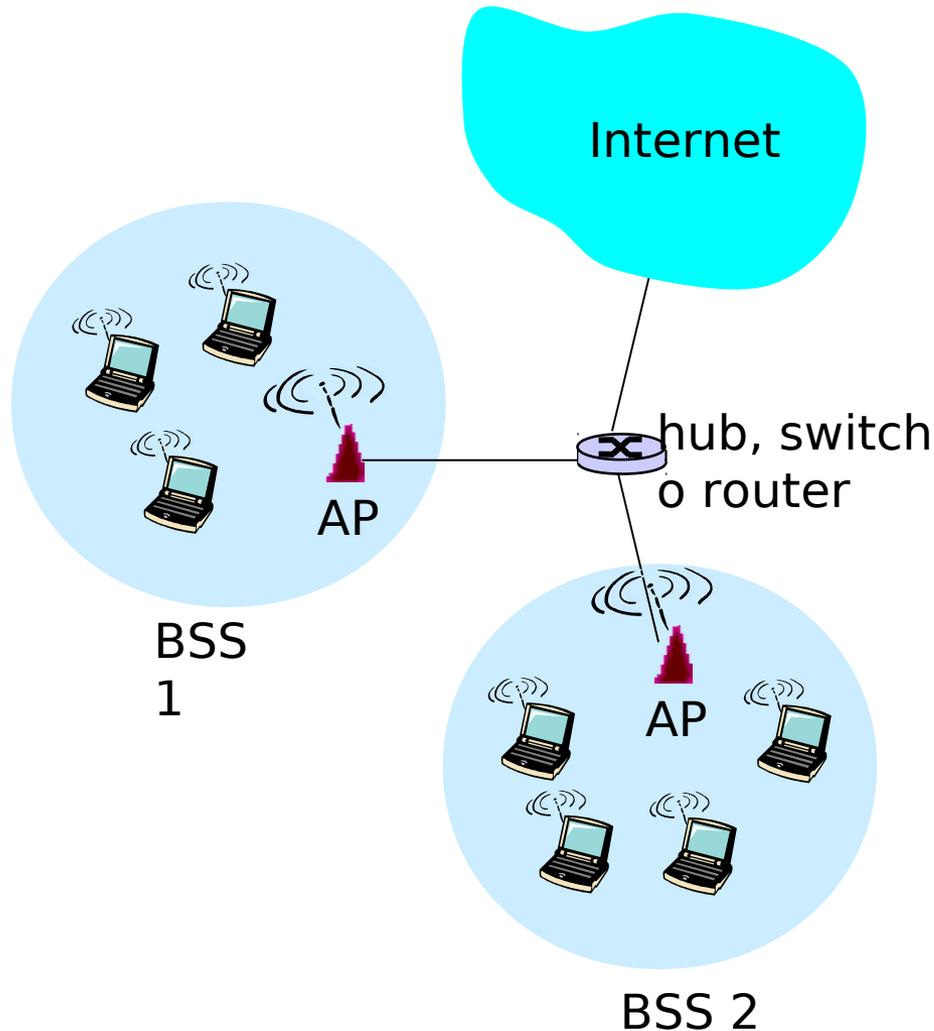
▣ 802.11g

- ▣ 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



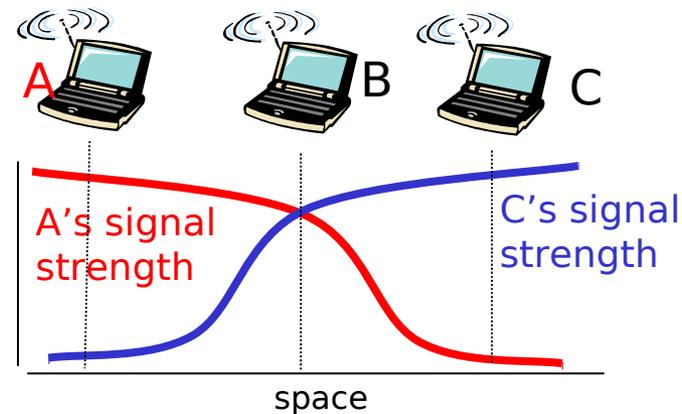
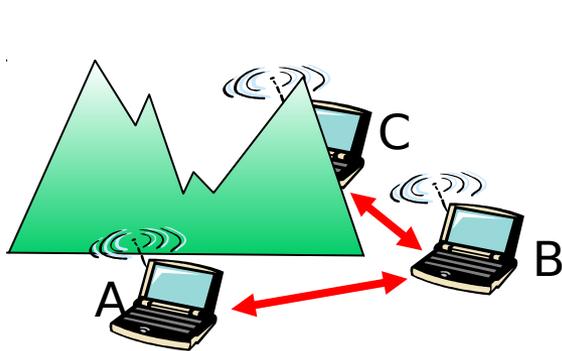
- Hosts inalámbricos se comunican con estación base
 - Estación base= access point (AP)
- Basic Service Set (BSS) (aka “cell”) en modo infraestructura contiene:
 - Hosts inalámbricos
 - access point (AP): Estación base
- Modo ad hoc: sólo hosts

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)



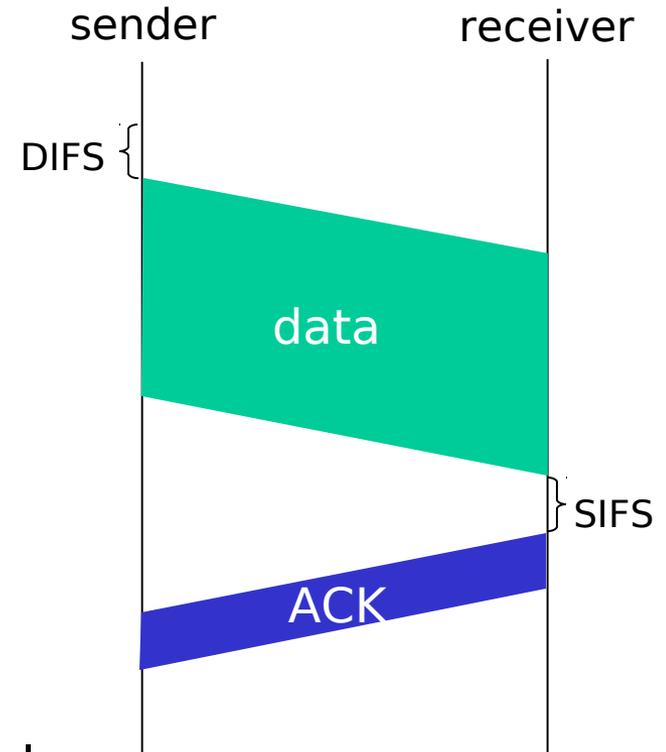
IEEE 802.11 Protocolo MAC: CSMA/CA

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)



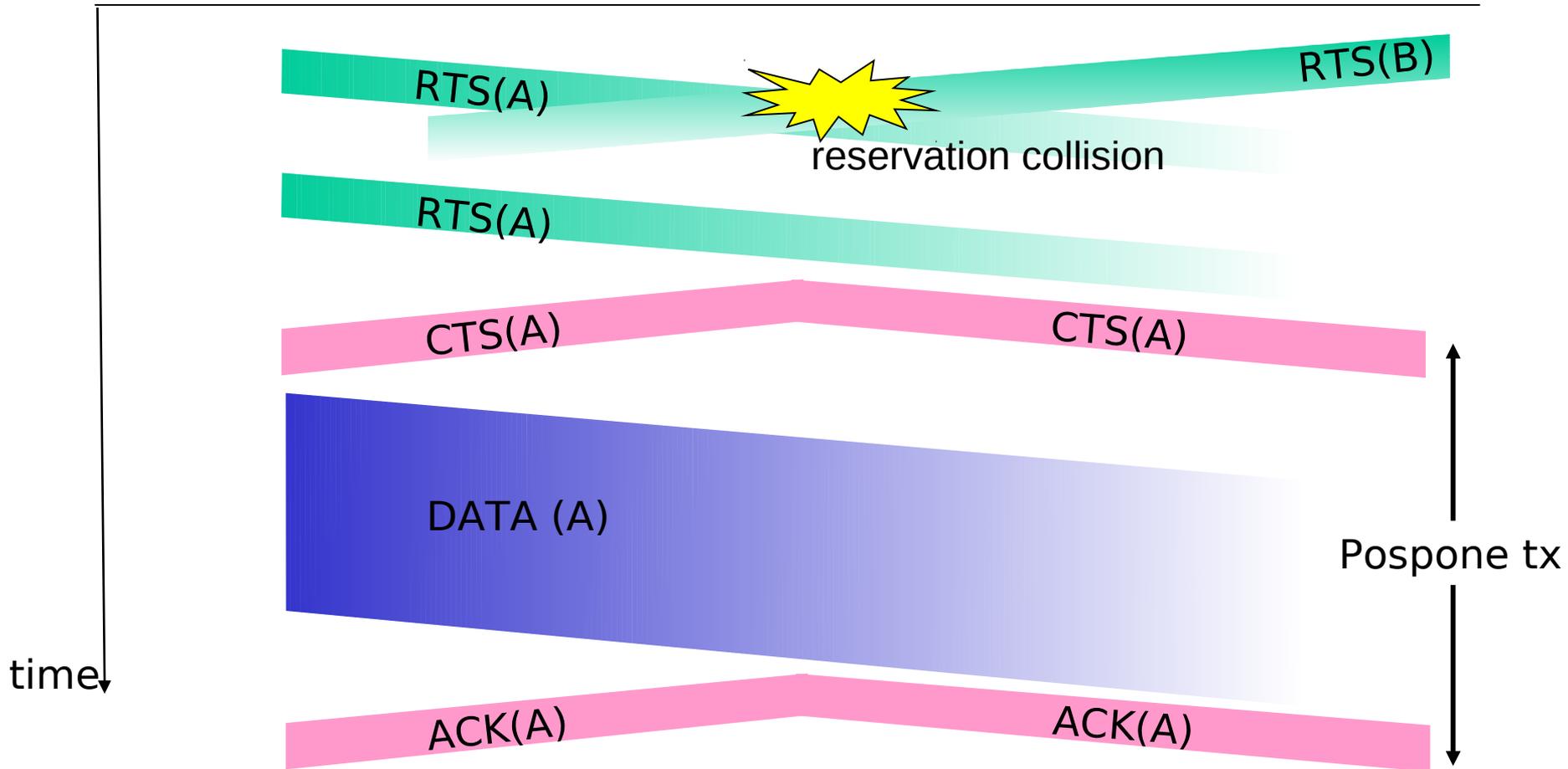
Abolición de colisiones (cont.)

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!

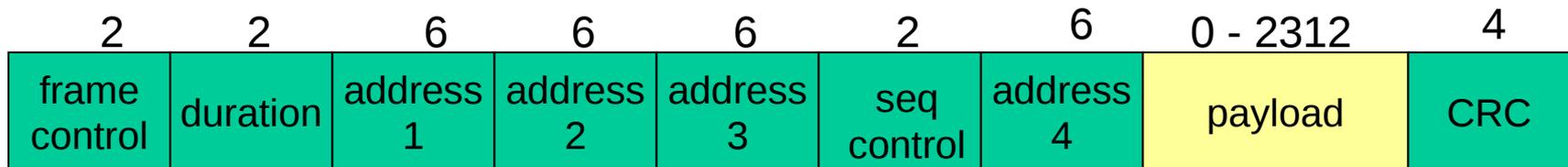
Abolición de Colisiones: RTS-CTS



• ¿Qué mecanismo propone Wifi para resolver el problema de terminal oculto?

- Wifi usa mensajes RTS (request to send) y CTS (clear to send) para reservar el canal y así permitir que a través de los CTS los terminales ocultos se enteren del uso del canal por parte de otro terminal. Además estos mensajes señalan el tiempo que el canal es reservado.
- Veremos con detención más adelante.

Trama 802.11: direccionamiento



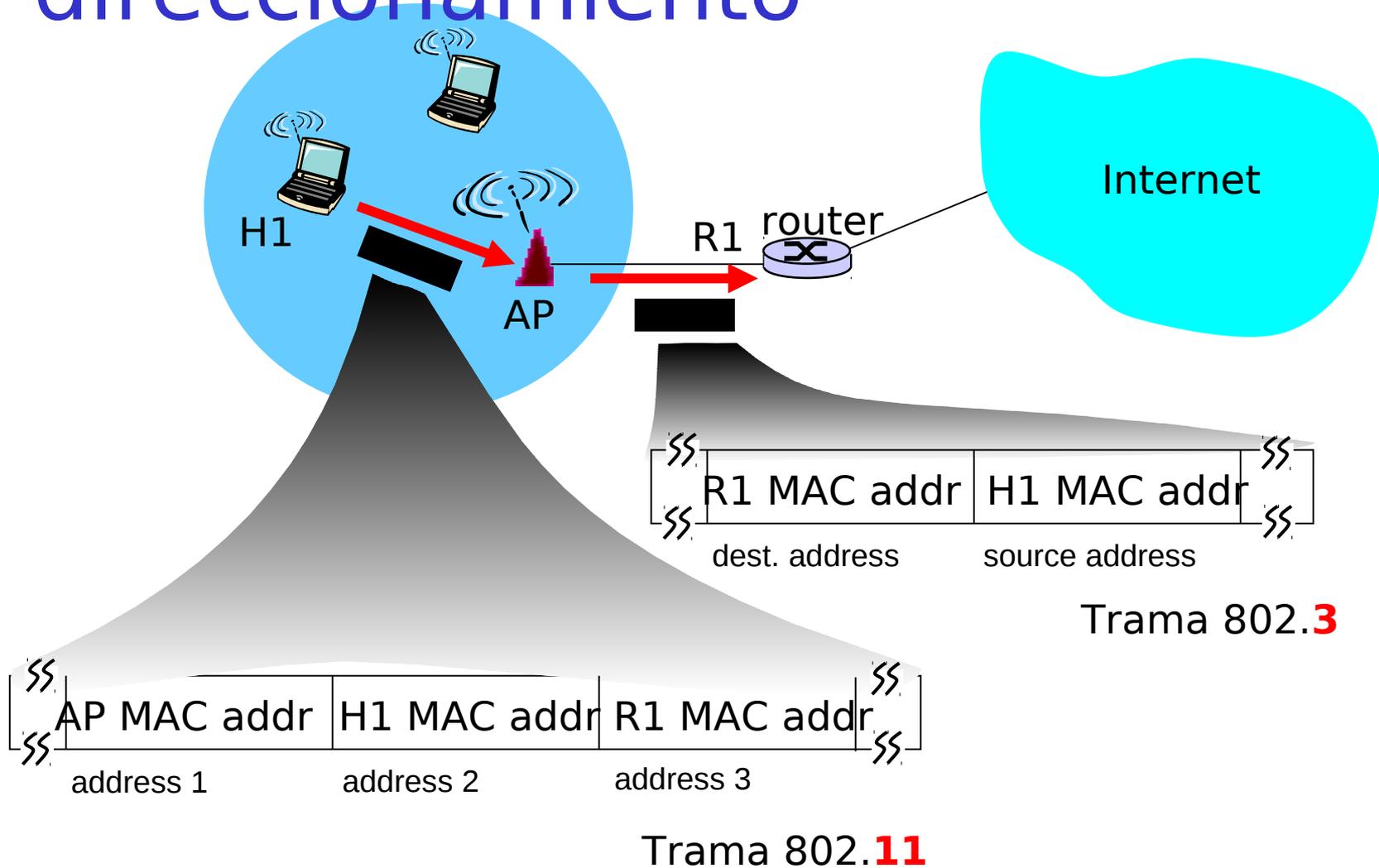
Address 1: dir. MAC del host wireless o AP receptor de trama

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

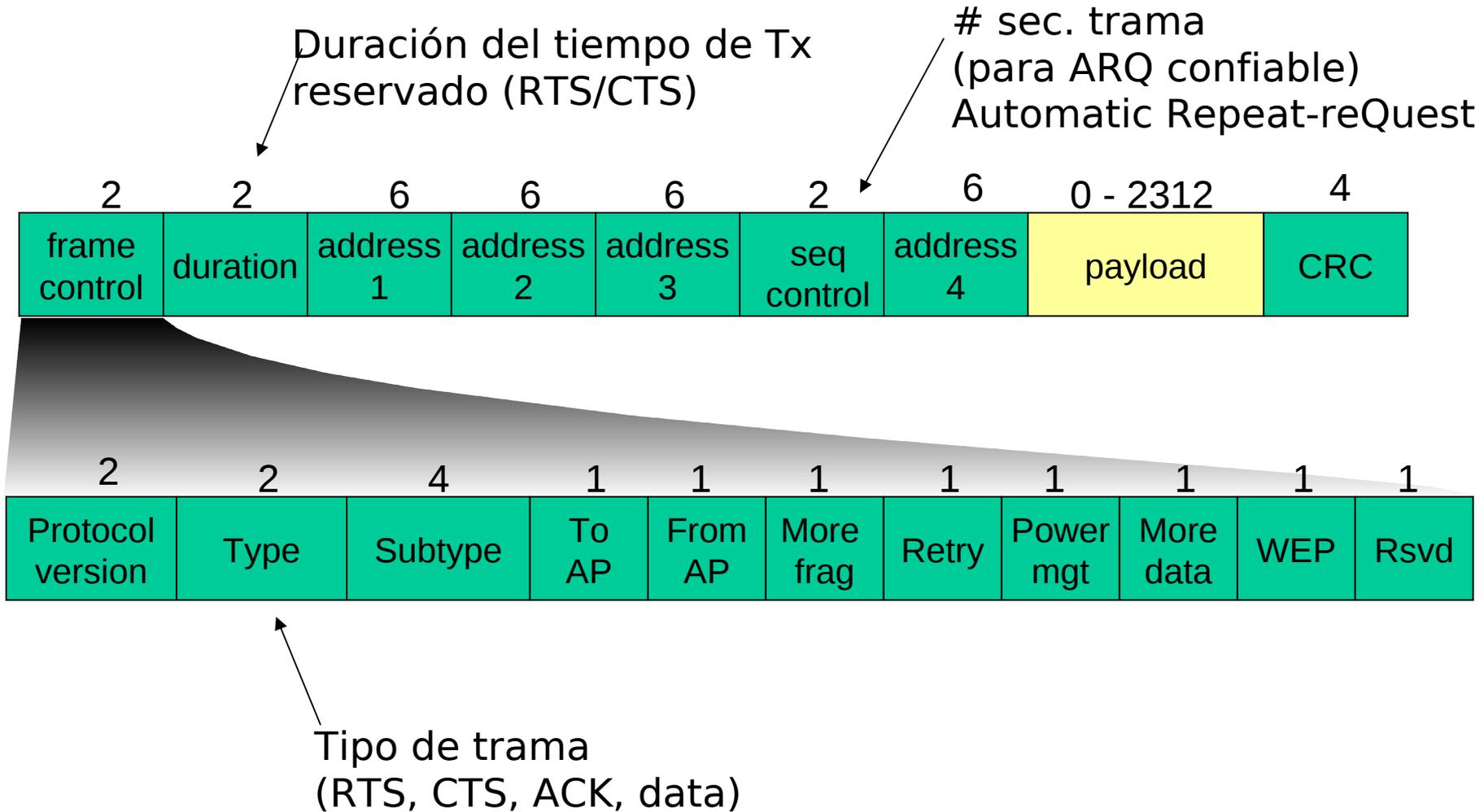
Address 3: dir. MAC De interfaz del router al cual el AP está conectado

Address 4: usada sólo en modo ad hoc

Trama 802.11: direccionamiento

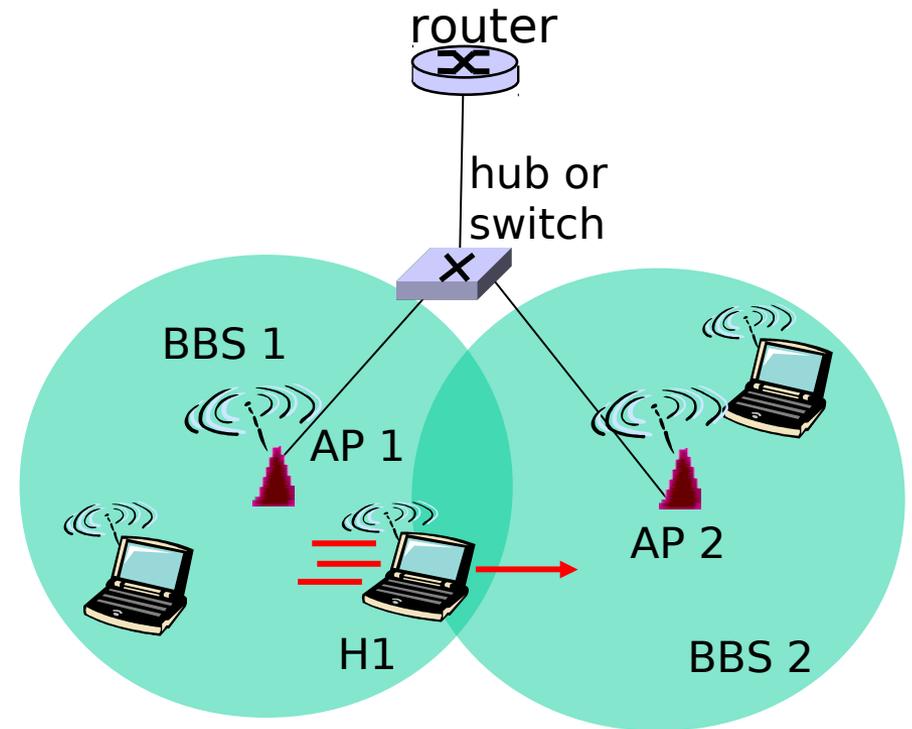


Trama 802.11: cont.



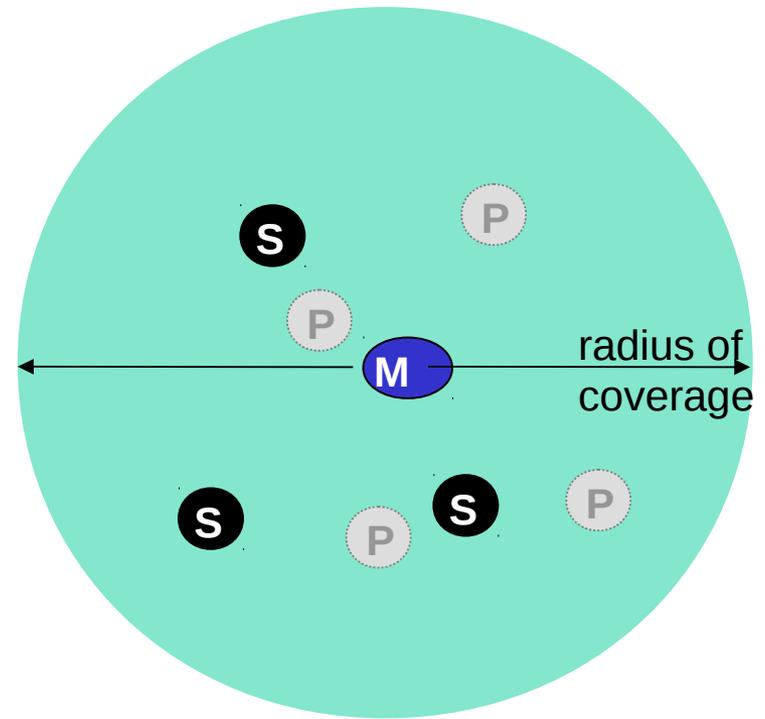
802.11: movilidad dentro de la misma subred

- 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

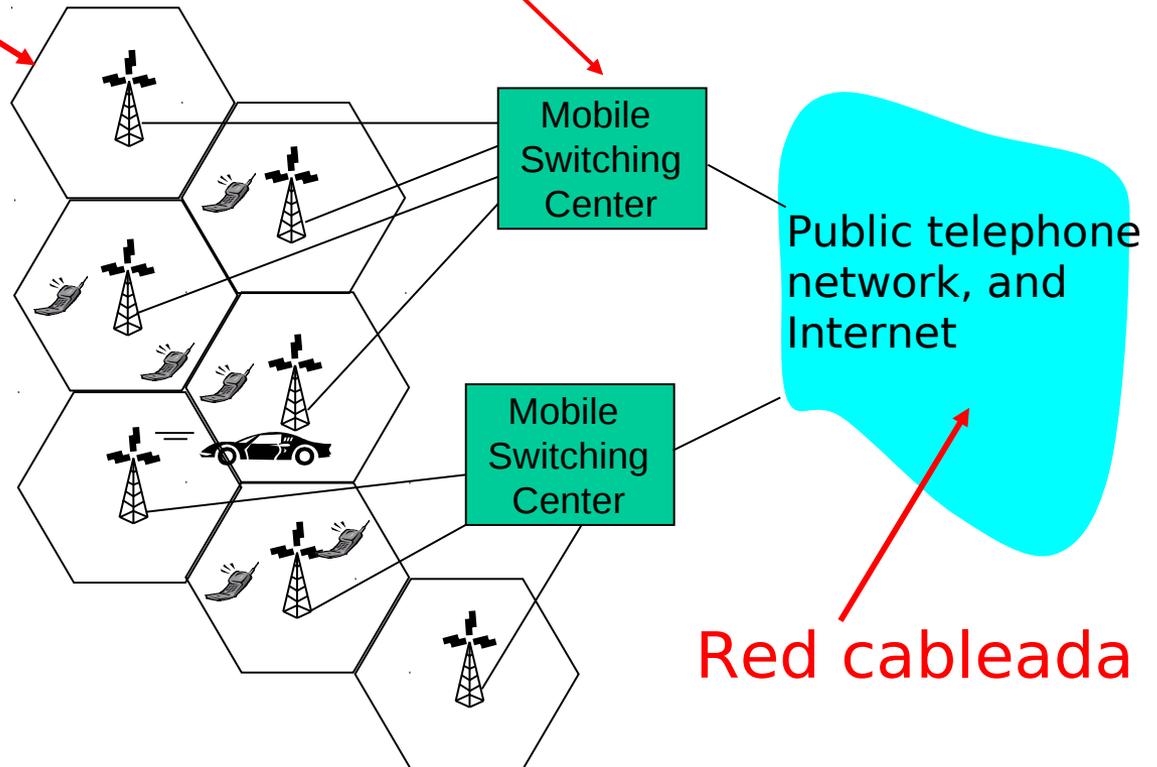
Componentes de arquitectura de red Celular

celdas

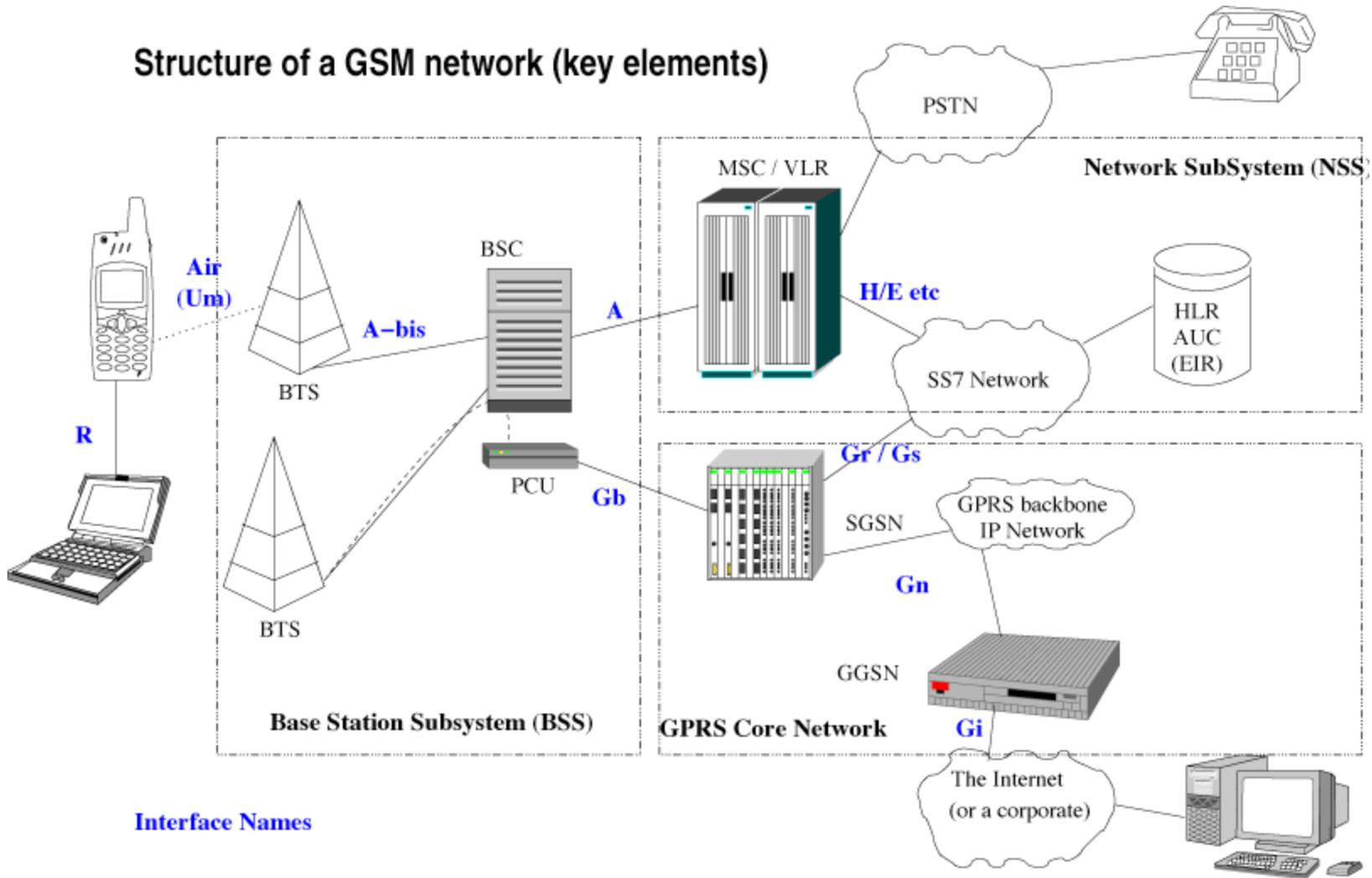
- ▣ cubre región geográfica
- ▣ *base station* (BS) análoga a 802.11 AP
- ▣ *usuarios móviles* conectados a red vía BS
- ▣ *interfaz aérea*: protocolo capa física y enlace entre móvil y BS

MSC

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



Structure of a GSM network (key elements)

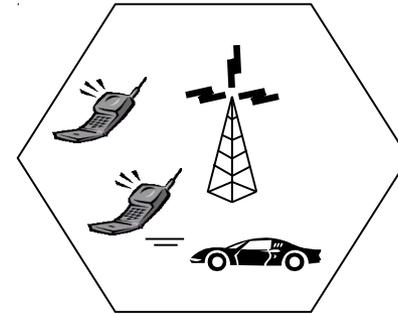


Fuente: [GSM: Wikipedia](#)

Redes Celulares: El primer salto

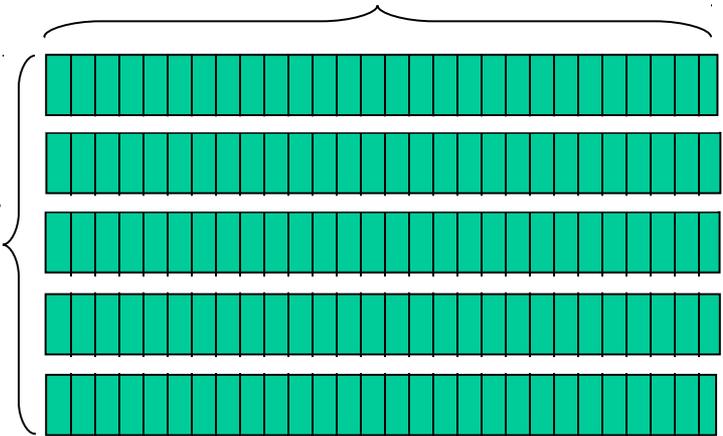
Dos técnicas para compartir espectro de radio entre móvil y BTS (base transceiver station o antena)

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



time slots

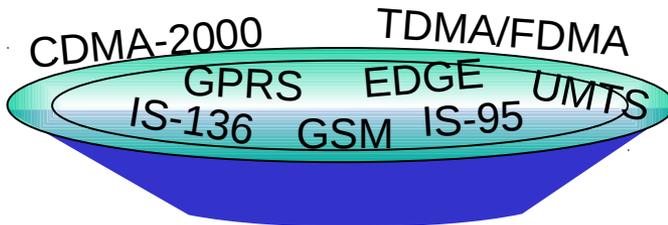
frequency bands



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 hoy -2008- 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

..... más (y más interesante) tópicos celulares debido a movilidad (estén sintonizados por detalles)