

Capítulo 7: Redes inalámbricas y móviles

*7° Edición: Computer Networking: A Top
Down Approach
Jim Kurose & Keith Ross*

Capítulo 7: Redes Inalámbricas y Móviles

Antecedentes previos:

- ❑ # subscriptores de teléfonos inalámbricos (móviles) ahora supera # subscriptores de teléfonos cableados (5 a 1)!
- ❑ # de dispositivos inalámbricos conectados a Internet iguala al # de dispositivos cableados conectados a Internet.
 - laptops, teléfonos con acceso a Internet
- ❑ Dos desafíos importantes (pero diferentes)
 - **Inalámbrico**: Comunicaciones sobre enlaces inalámbricos
 - **Movilidad**: Manejo de usuarios que cambian su punto de entrada a la red

Capítulo 7: Contenidos

7.1 Introducción

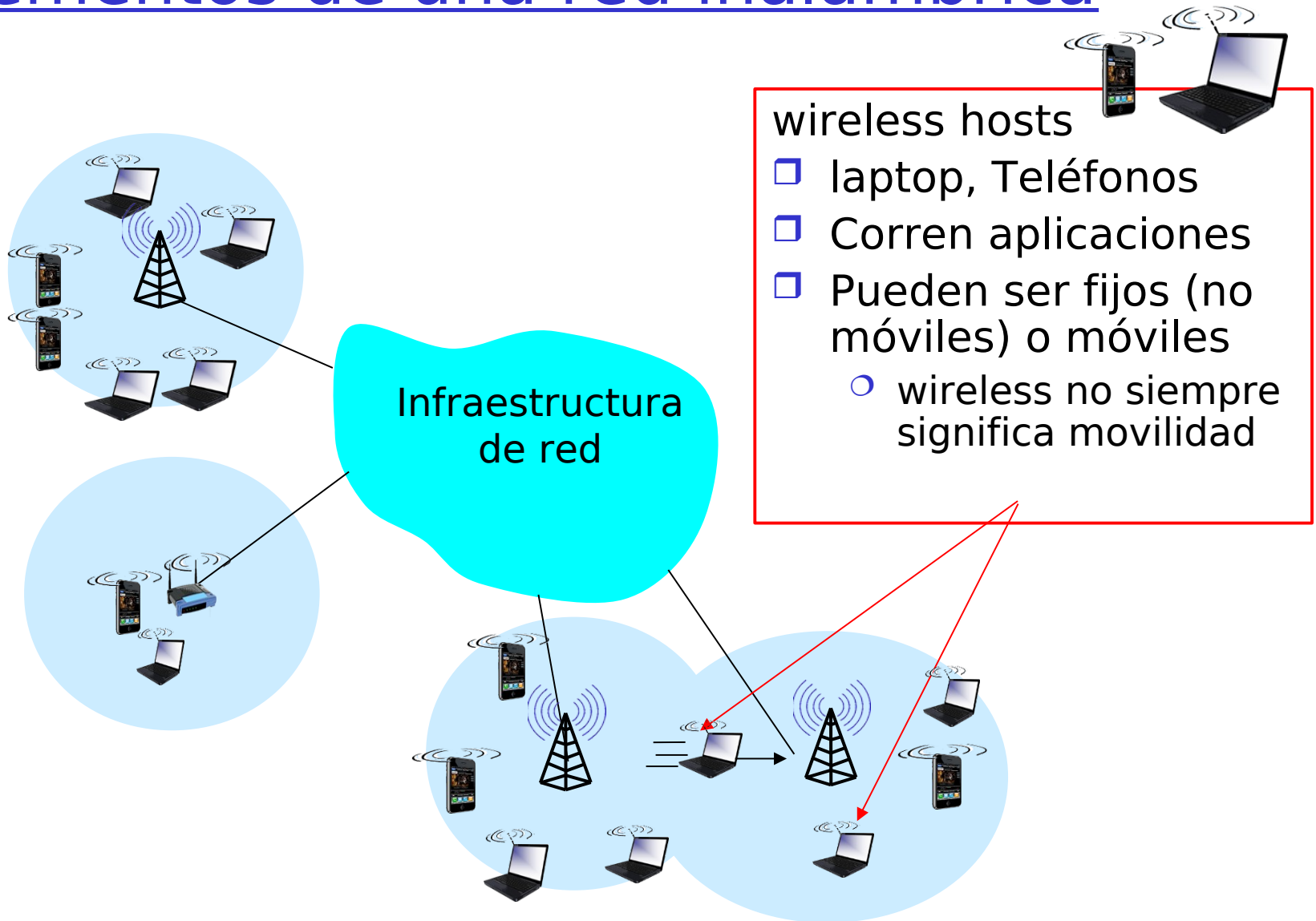
Wireless

- ❑ 7.2 Enlaces Wireless, características
 - CDMA
- ❑ 7.3 IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ❑ 7.4 Acceso a Internet vía celular
 - arquitectura
 - estándares (e.g., 3G, LTE)

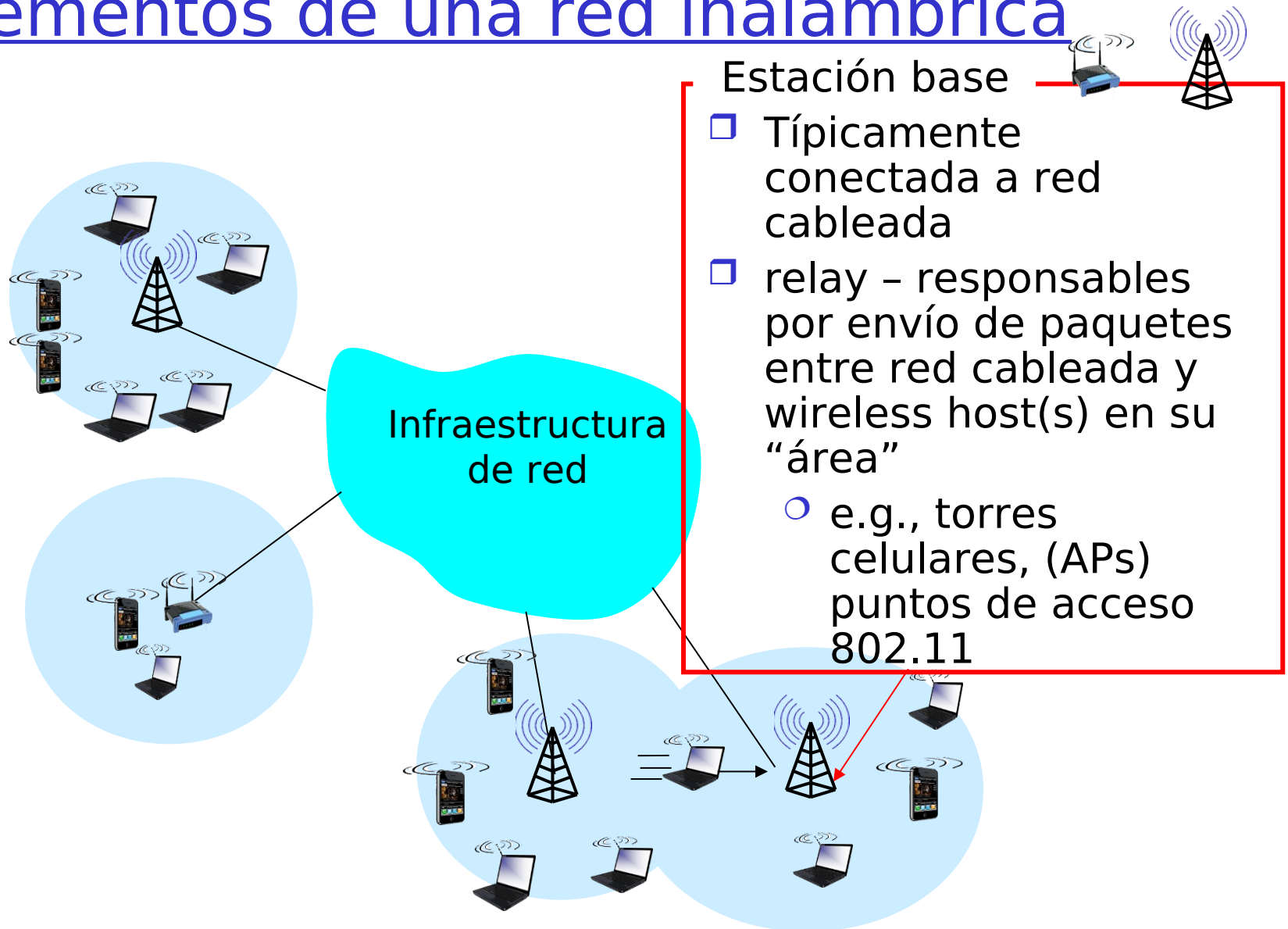
Movilidad

- ❑ 7.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ❑ 7.6 IP móvil
- ❑ 7.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ❑ 7.8 Movilidad y protocolos de capas superiores

Elementos de una red inalámbrica



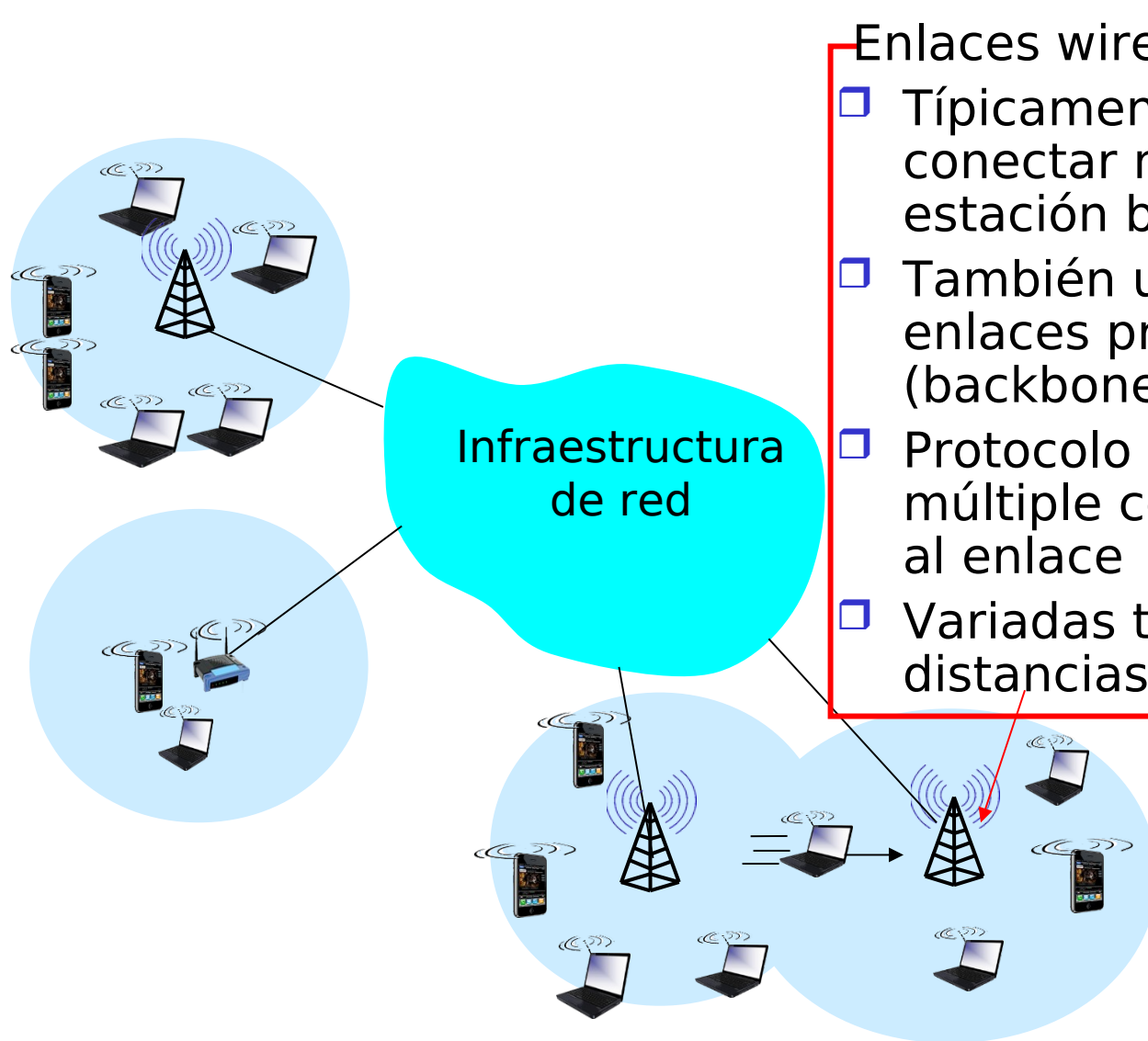
Elementos de una red inalámbrica



Estación base

- Típicamente conectada a red cableada
- relay - responsables por envío de paquetes entre red cableada y wireless host(s) en su "área"
 - e.g., torres celulares, (APs) puntos de acceso 802.11

Elementos de una red inalámbrica



Enlaces wireless 

- Típicamente usados para conectar móvil(es) a estación base
- También usados como enlaces principales (backbone)
- Protocolo de acceso múltiple coordina acceso al enlace
- Varias tasas y distancias de transmisión

Características de estándares de enlaces inalámbricos (6° Edición 2013)

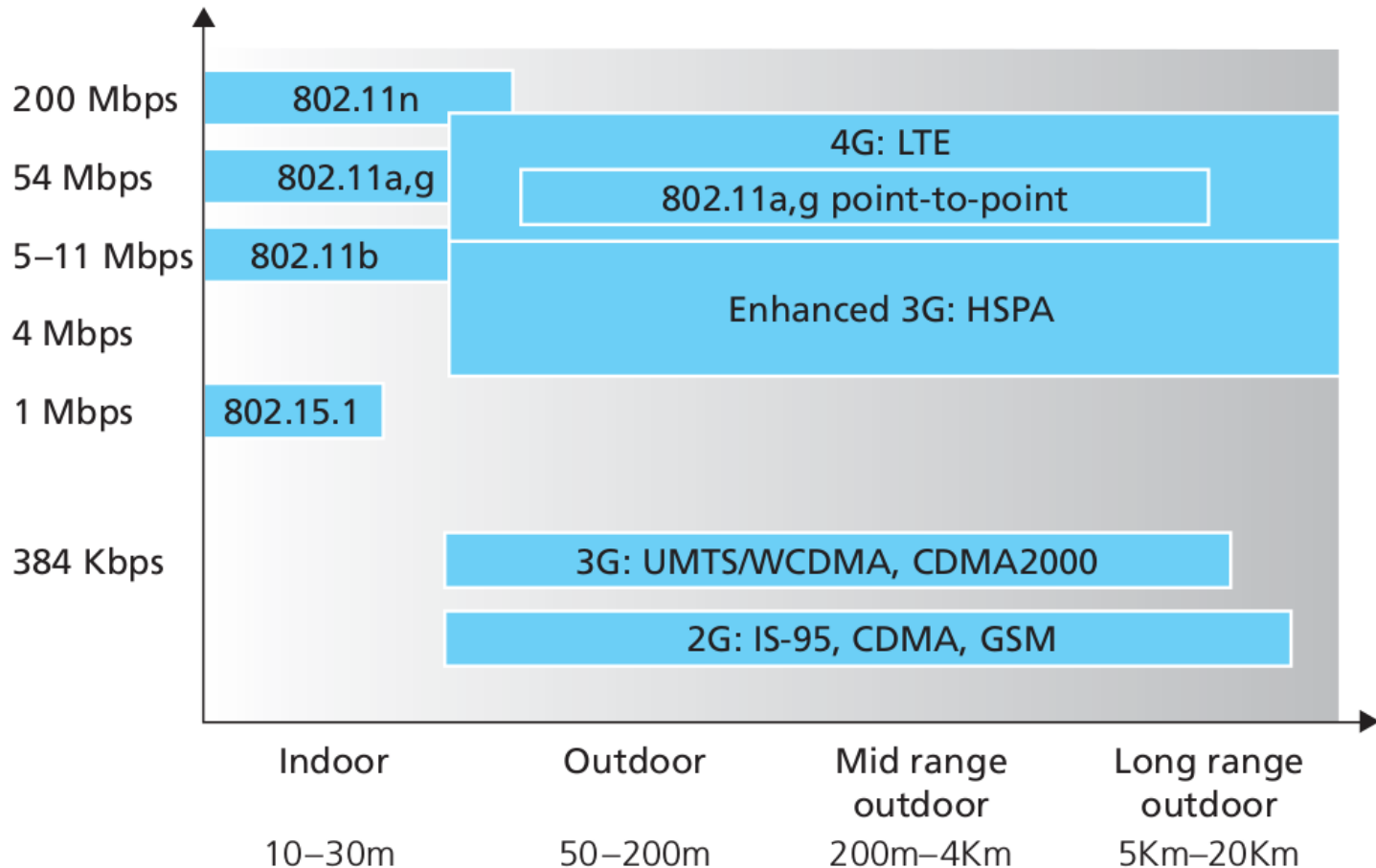
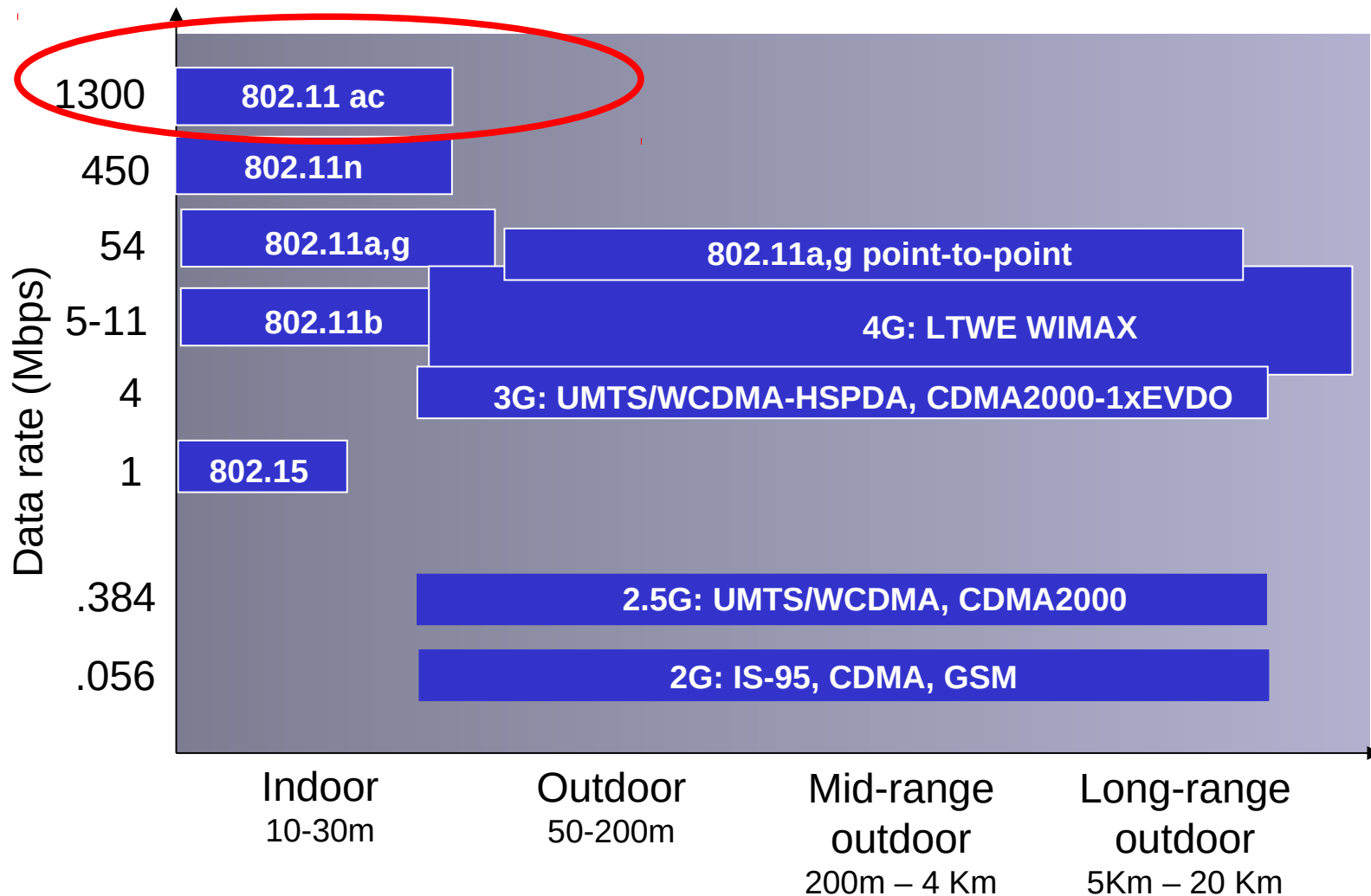
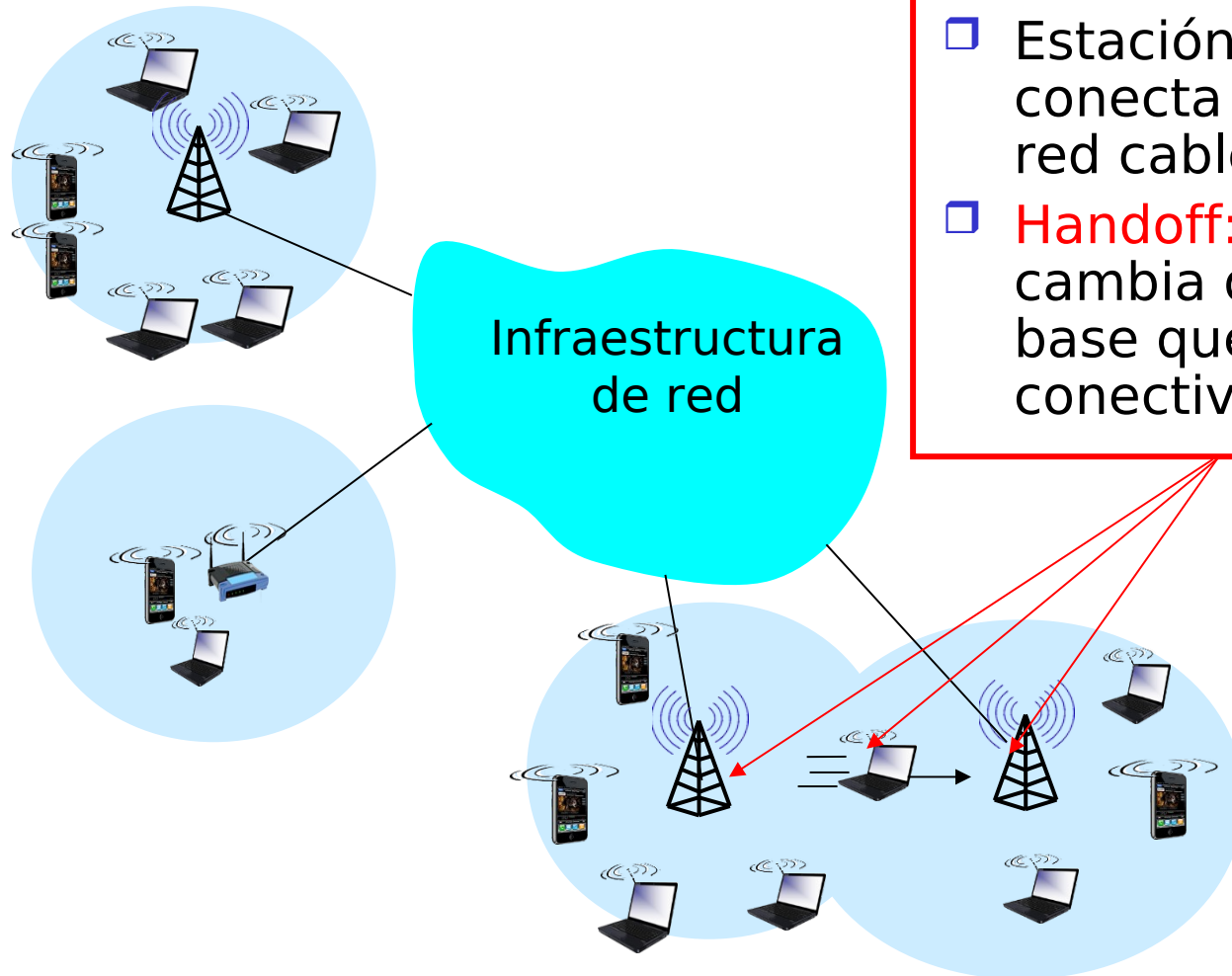


Figure 6.2 ♦ Link characteristics of selected wireless network standards

Características de estándares de enlaces inalámbricos (7° Edición 2016)



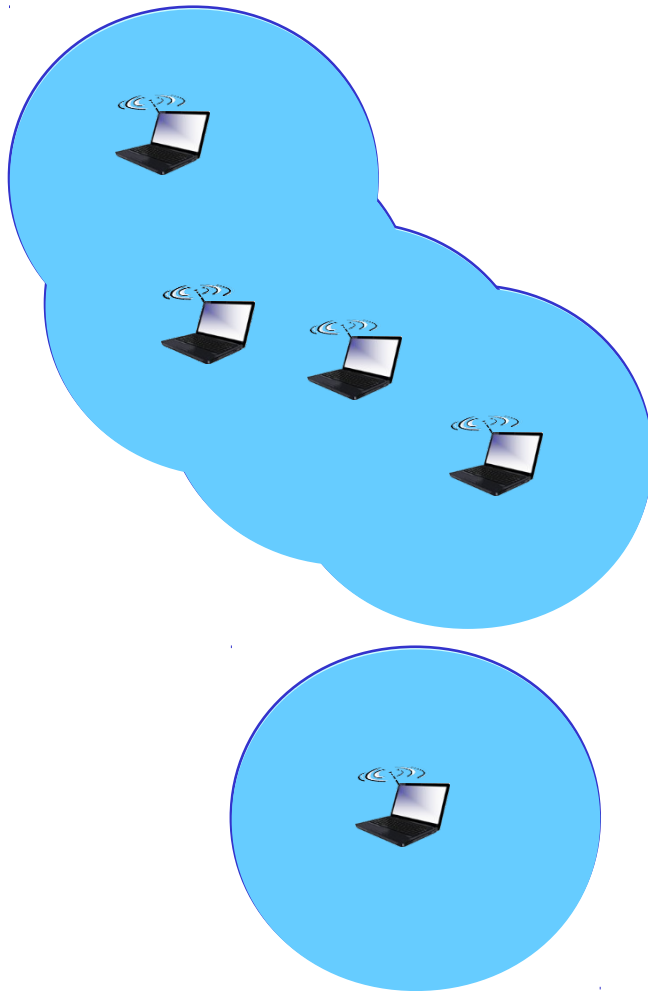
Elementos de una red inalámbrica



Modo infraestructura

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

Elementos de una red inalámbrica



Modo Ad hoc

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

Taxonomía de redes inalámbricas

	single hop	multiple hops
infraestructura (e.g., APs)	host conectados a estación base (WiFi, WiMAX, celular) la cual los conecta a Internet	host podrían pasar a través de varios nodos inalámbricos para conectarse a Internet: <i>mesh net</i>
Sin infraestructura	No hay estación base no hay conexión a Internet (Bluetooth, ad hoc nets)	No hay estación base, no hay conexión a Internet. Podrían pasar por varios nodos para llegar a un nodo inalámbrico dado MANET, VANET

Capítulo 7: Contenidos

7.1 Introducción

Wireless

- ❑ 7.2 Enlaces Wireless, características
 - CDMA
- ❑ 7.3 IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ❑ 7.4 Acceso a Internet vía celular
 - arquitectura
 - estándares (e.g., 3G, LTE)

Movilidad

- ❑ 7.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ❑ 7.6 IP móvil
- ❑ 7.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ❑ 7.8 Movilidad y protocolos de capas superiores

Características de los enlaces inalámbricos (1)

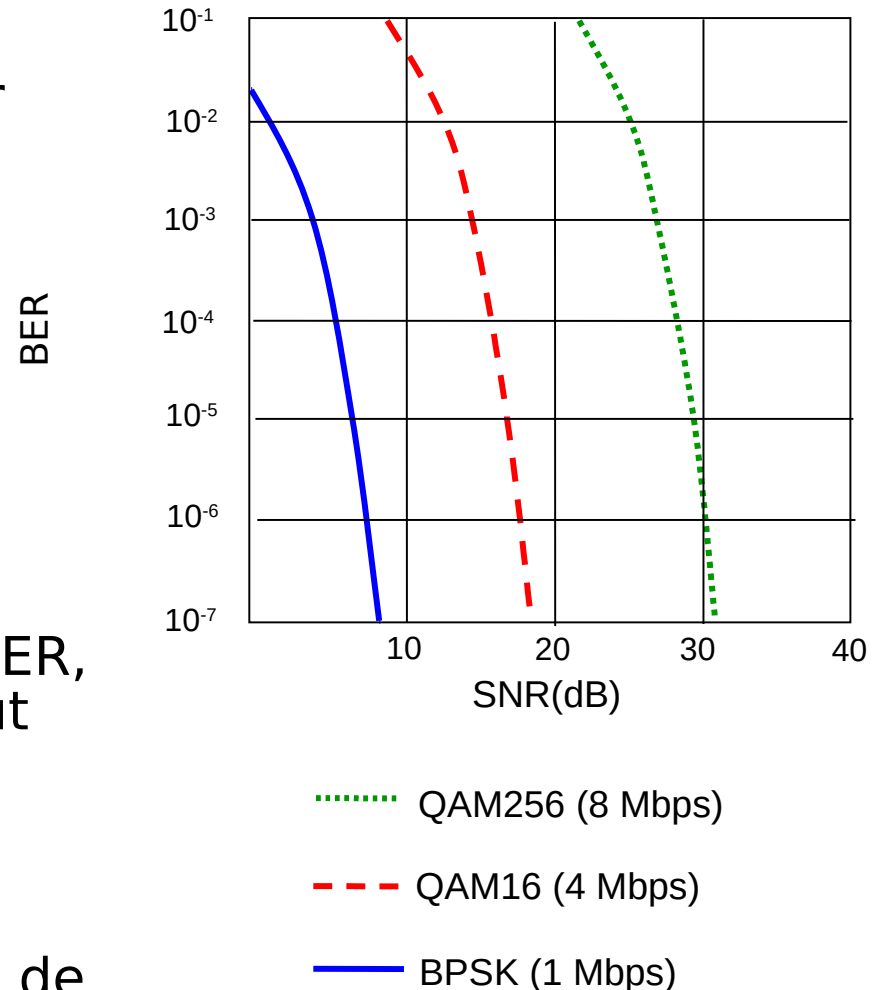
Diferencias con enlaces cableados

- **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 dispositivos interfieren también (e.g. motores).
- **Propagación multitrayectoria:** señal de radio se refleja en objetos y tierra, llega a destino con diferencias de tiempo

... Hacen las comunicaciones vía enlaces inalámbricos (incluso punto a punto) mucho más difíciles.

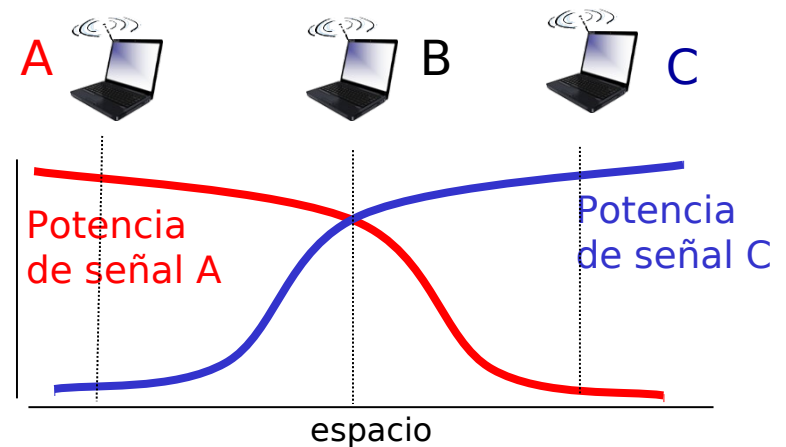
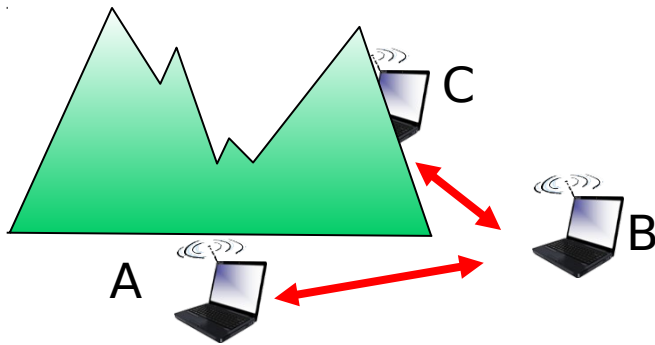
Características de enlaces inalámbricos (2)

- SNR: signal-to-noise ratio
 - gran SNR – facilita extraer señal del ruido (“algo bueno”)
- *Compromiso SNR versus BER (Bit Error Rate)*
 - *Dado una capa física:* subir potencia → aumenta SNR → reduce BER
 - *Dado SNR:* elegir capa física que cumpla requerimiento BER, generando mayor throughput
 - SNR puede cambiar con movilidad → se debe adaptar la capa física dinámicamente. (técnica de modulación, tasa, potencia)



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

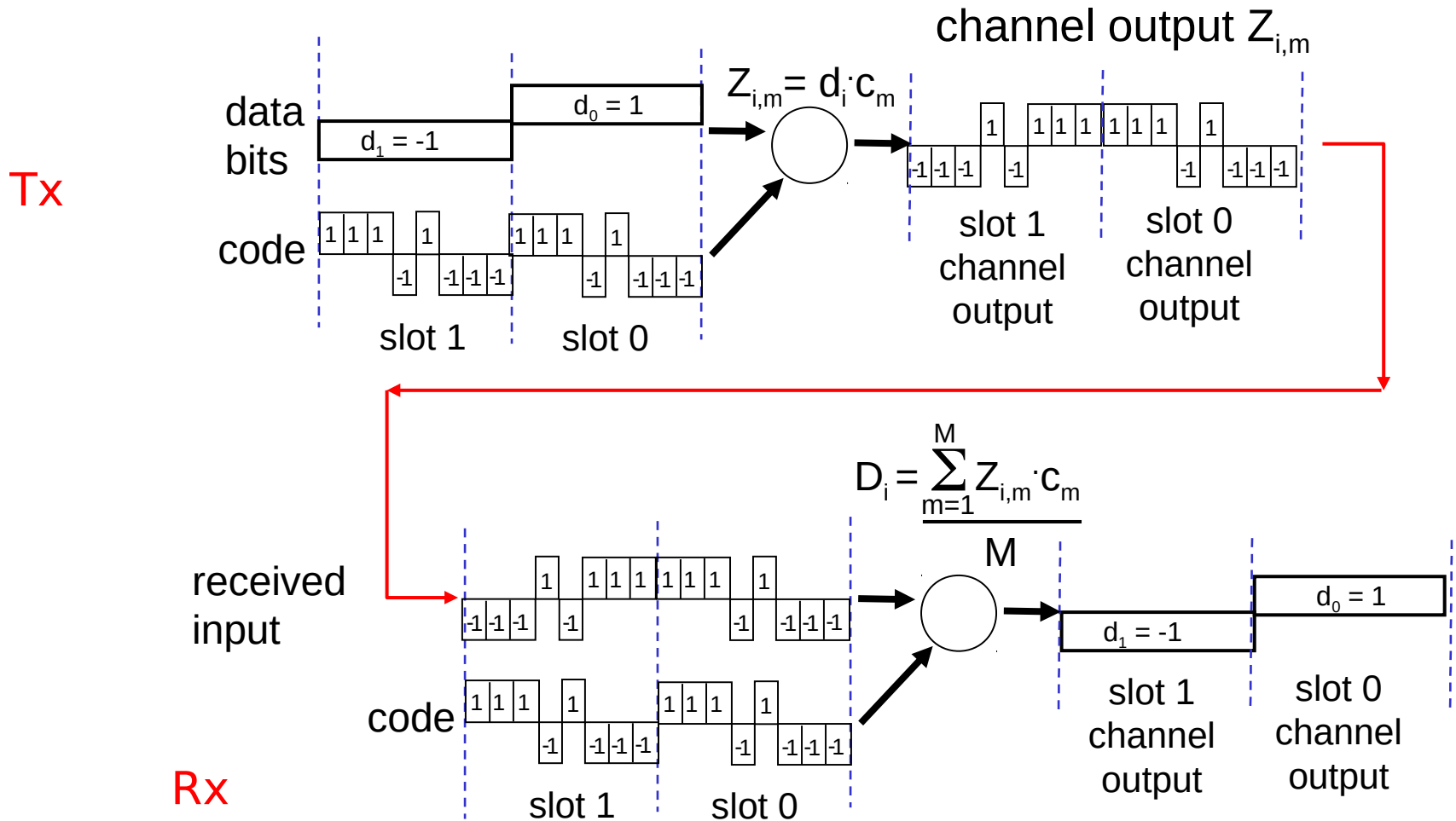
Decaimiento de señal:

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

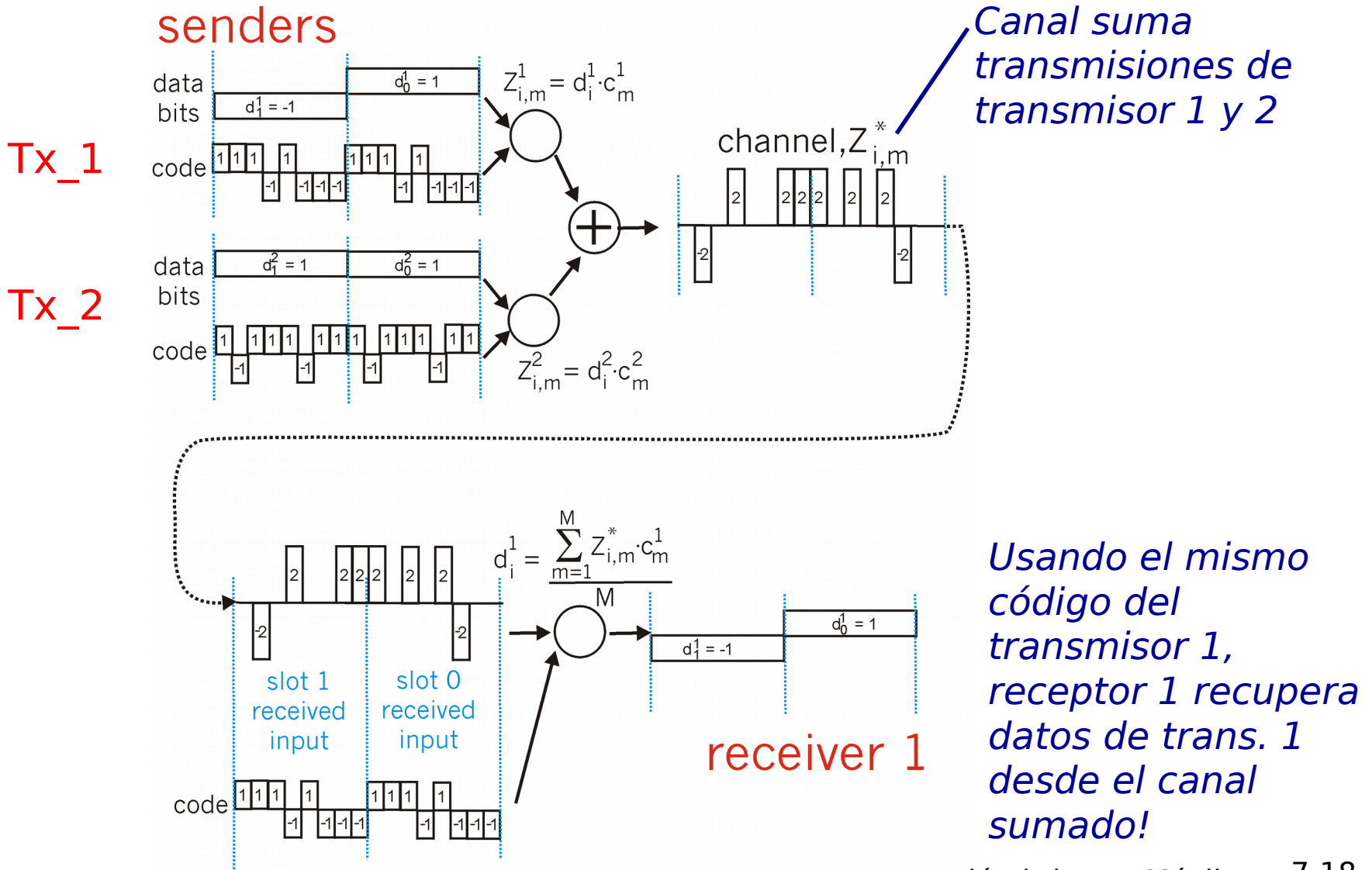
Acceso múltiple por División de Código - Code Division Multiple Access (CDMA)

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

CDMA: Codificación/Decodificación



CDMA: interferencia de dos-Txs



Capítulo 7: Contenidos

7.1 Introducción

Wireless

- ❑ 7.2 Enlaces Wireless, características
 - CDMA
- ❑ **Paréntesis Revisión 802.3**
- ❑ 7.3 IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ❑ 7.4 Acceso a Internet vía celular
 - arquitectura
 - estándares (e.g., 3G, LTE)

Movilidad

- ❑ 7.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ❑ 7.6 IP móvil
- ❑ 7.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ❑ 7.8 Movilidad y protocolos de capas superiores

Paréntesis: Revisión 802.3 vía preguntas

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

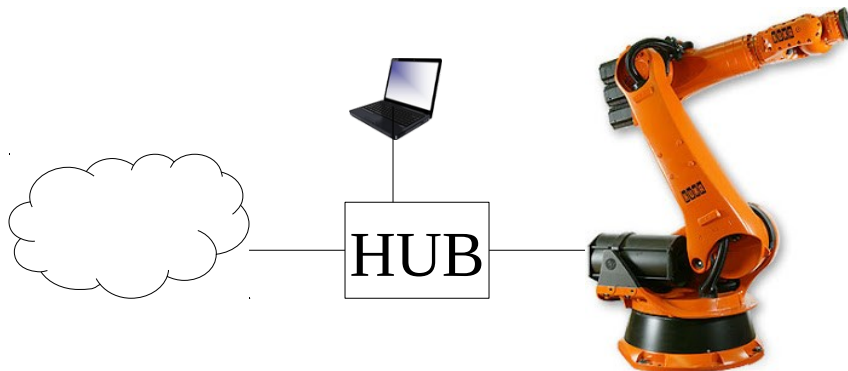
En el pasado, algunas implementaciones de ARP actualizaban la asociación IP-MAC al recibir un mensaje de respuesta ARP aún cuando no se había difundido una consulta ARP. Muestre cómo esta debilidad pudo ser explotada para hacer pasar por una máquina intermedia el tráfico que se desea enviar al router.



- 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.

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 los 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.



Alguien 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 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 del switch está activo, todos los pares receptores de los equipos del hub lo estará. El envío de datos por parte del switch en este caso generará colisión.
- ❑ Nota: Hoy es común que los equipos soporten auto-negociación. Así un switch puede identificar quién está del otro lado y así no utilizar CSMA/CD, permitiendo comunicación full-duplex.

Fin Revisión ... 802.3

Capítulo 7: Contenidos

7.1 Introducción

Wireless

- ❑ 7.2 Enlaces Wireless, características
 - CDMA
- ❑ Paréntesis Revisión 802.3
- ❑ 7.3 IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ❑ 7.4 Acceso a Internet vía celular
 - arquitectura
 - estándares (e.g., 3G, LTE)

Movilidad

- ❑ 7.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ❑ 7.6 IP móvil
- ❑ 7.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ❑ 7.8 Movilidad y protocolos de capas superiores

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

❑ 802.11a

- Rango 5-6 GHz
- hasta 54 Mbps

❑ 802.11g

- Rango 2.4-2.5 GHz
- hasta 54 Mbps

❑ 802.11n

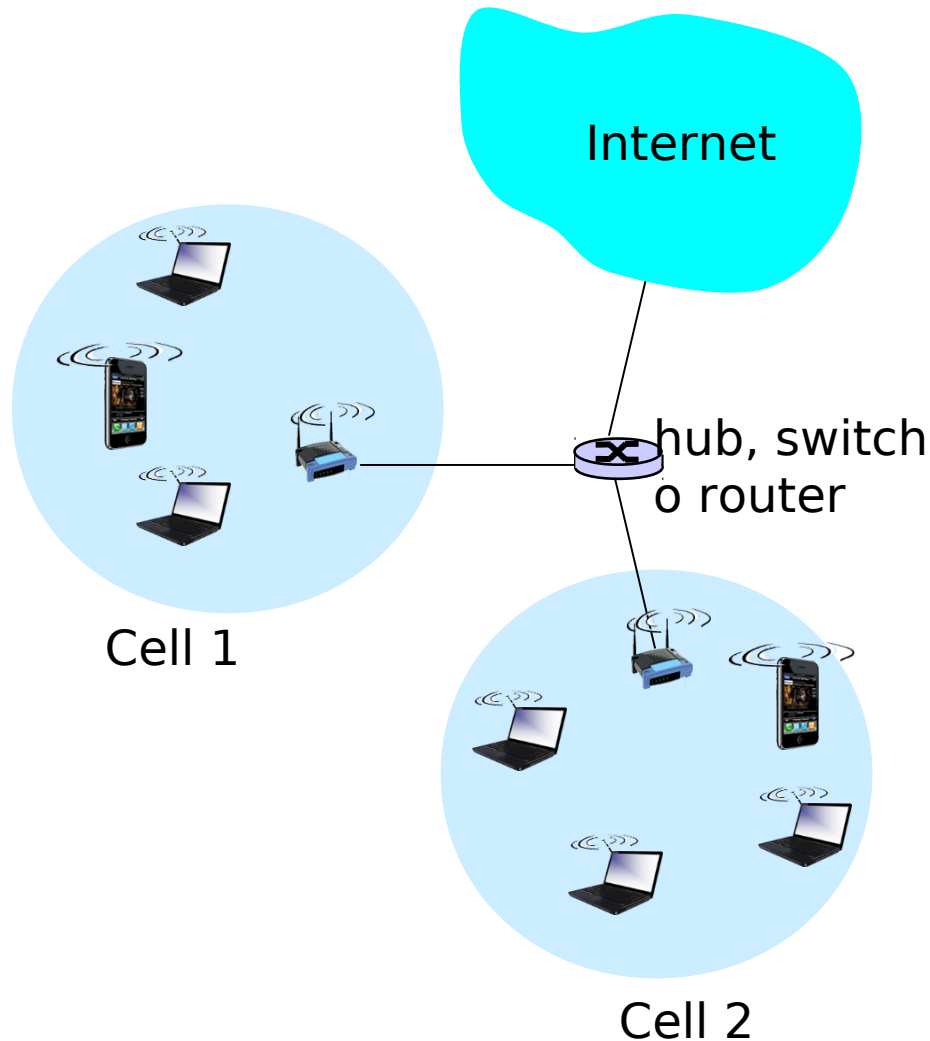
- Antenas múltiples
- Rango 2.4-2.5 GHz
- Hasta ~400 Mbps

❑ 802.11 ac

- Antenas múltiples
- Rango 5 GHz
- Hasta 1.3 Gbps

- ❑ 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: solo hosts

aka: **also known as**

802.11: Canales

- 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 que el de AP vecino!

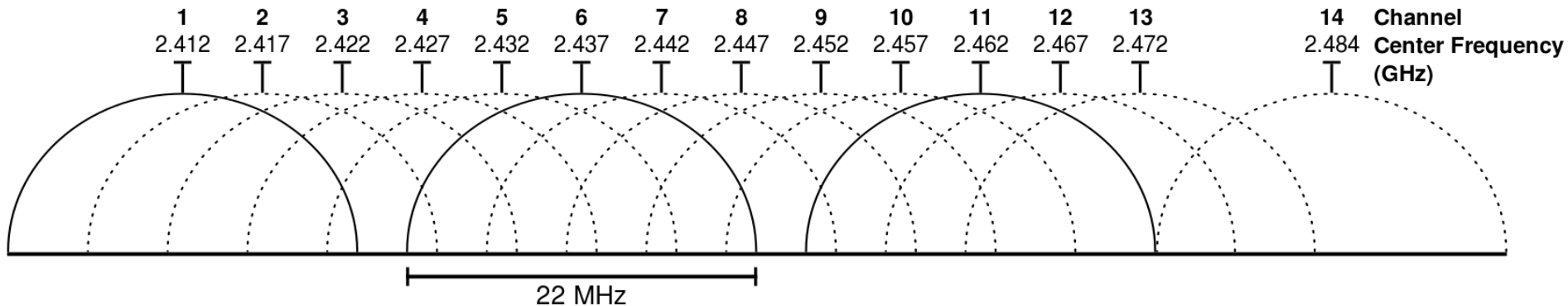


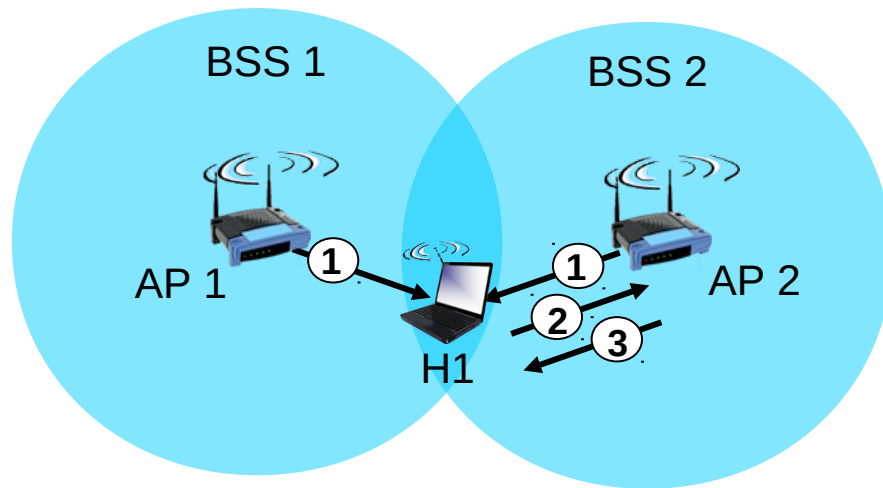
Image by Michael Gauthier, Wireless Networking in the Developing World

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_\(802.11b,g_WLAN\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_(802.11b,g_WLAN).png)

802.11: Asociación

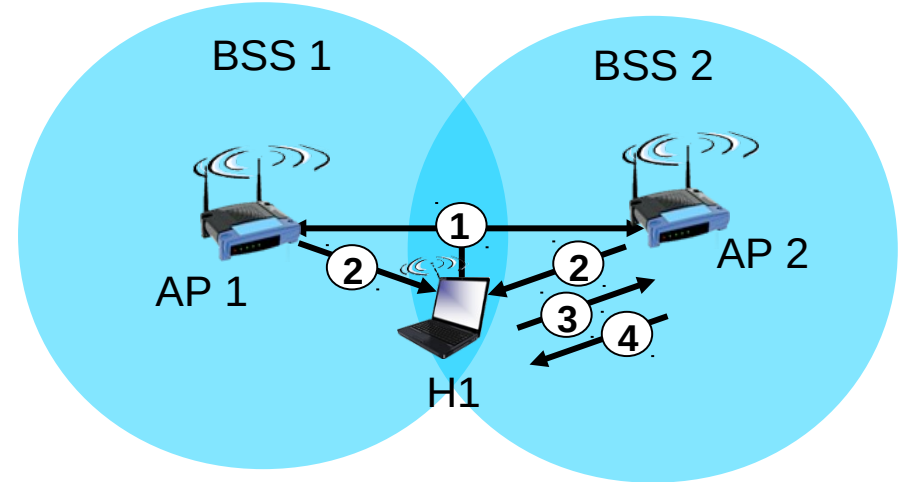
- ❑ hosts: deben *asociarse* con AP
 - Rastrea canales, escuchando por *trama beacon* (trama faro) que contiene el nombre del AP (SSID, Service Set ID) y dirección MAC
 - selecciona AP a cual asociarse
 - Puede efectuar autenticación [Capítulo 8]
 - Típicamente corre DHCP para obtener IP en la subred del AP

802.11: Exploración (del móvil) pasiva/activa



Exploración pasiva:

- (1) Trama beacon enviada por APs
- (2) Trama association Request enviada: H1 al AP elegido
- (3) Trama association Response enviada desde AP a H1



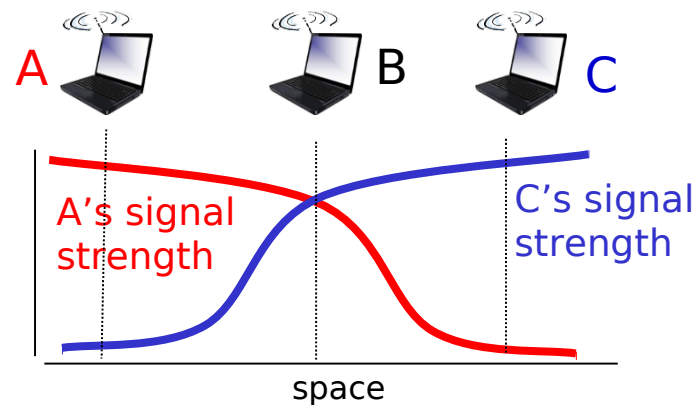
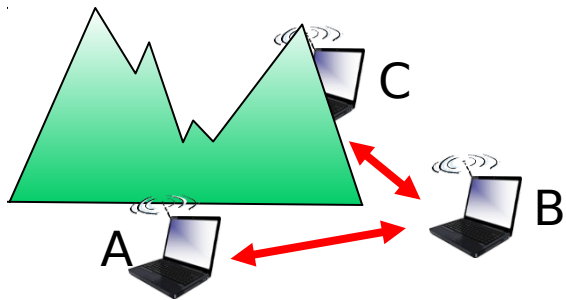
Exploración Activa:

- (1) Trama Probe Request difundida desde H1
- (2) Tramas Probe Response enviadas desde APs
- (3) Trama Association Request enviada: H1 a AP elegido
- (4) Trama Association Response enviada desde AP a H1

Móvil es pasivo o activo

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 por: terminal oculto, desvanecimiento
 - meta: *abolir colisiones*: CSMA/C(ollision)A(voidance)



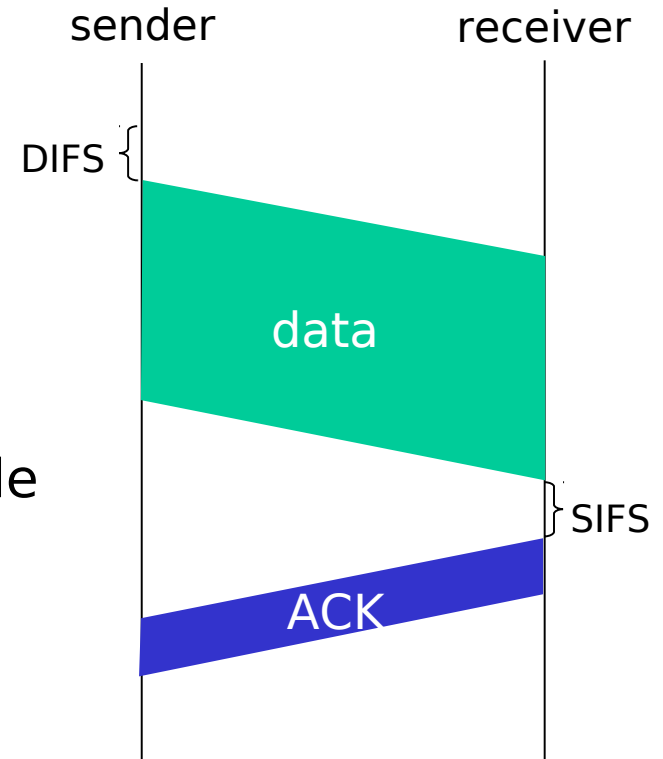
IEEE 802.11 Protocolo MAC: CSMA/CA

802.11 Tx (usando solo CSMA)

- 1 si sensa canal libre por **DIFS** (Distributes Inter-frame Space), entonces transmite trama entera (no CD)
- 2 si sensa canal ocupado, entonces
 - Inicia tiempo de backoff aleatorio
 - Timer se decrementa 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** (Short Inter-frame Spacing)
(ACK necesario debido además a problema del terminal oculto).



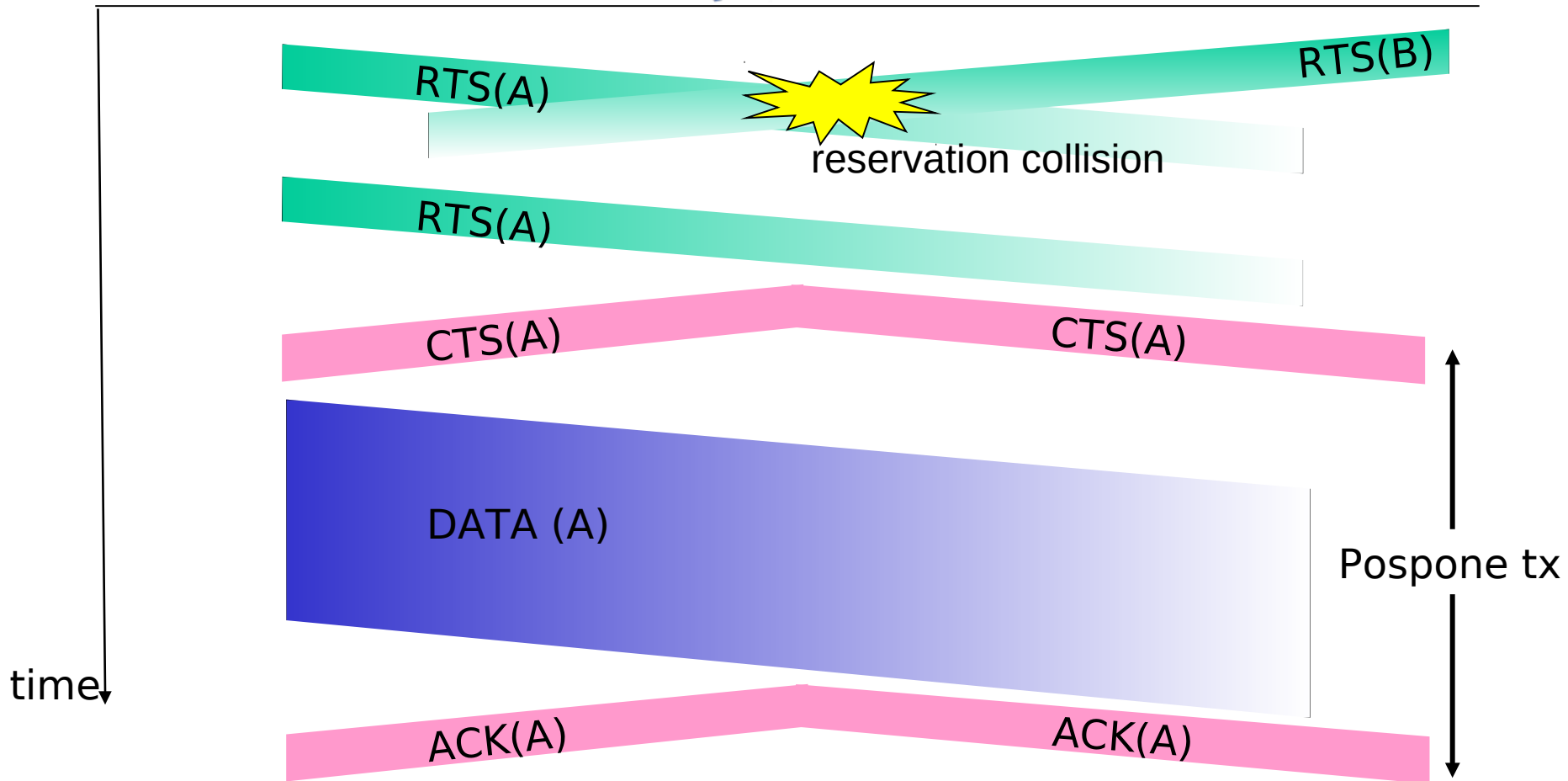
Abolición de colisiones: 802.11 ahora con CA

idea: permitir a Tx “reservar” el canal en lugar de usar 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!

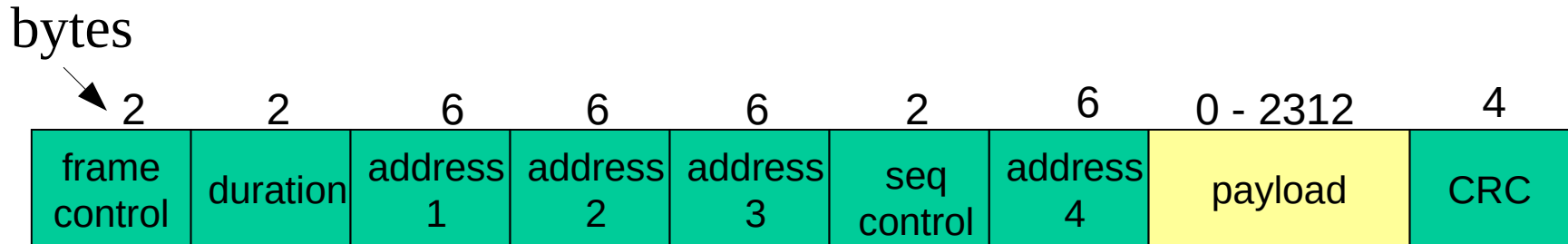
Abolición de Colisiones: RTS-CTS



- ¿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.
- Lo veremos con detención más adelante.

Trama 802.11: direccionamiento



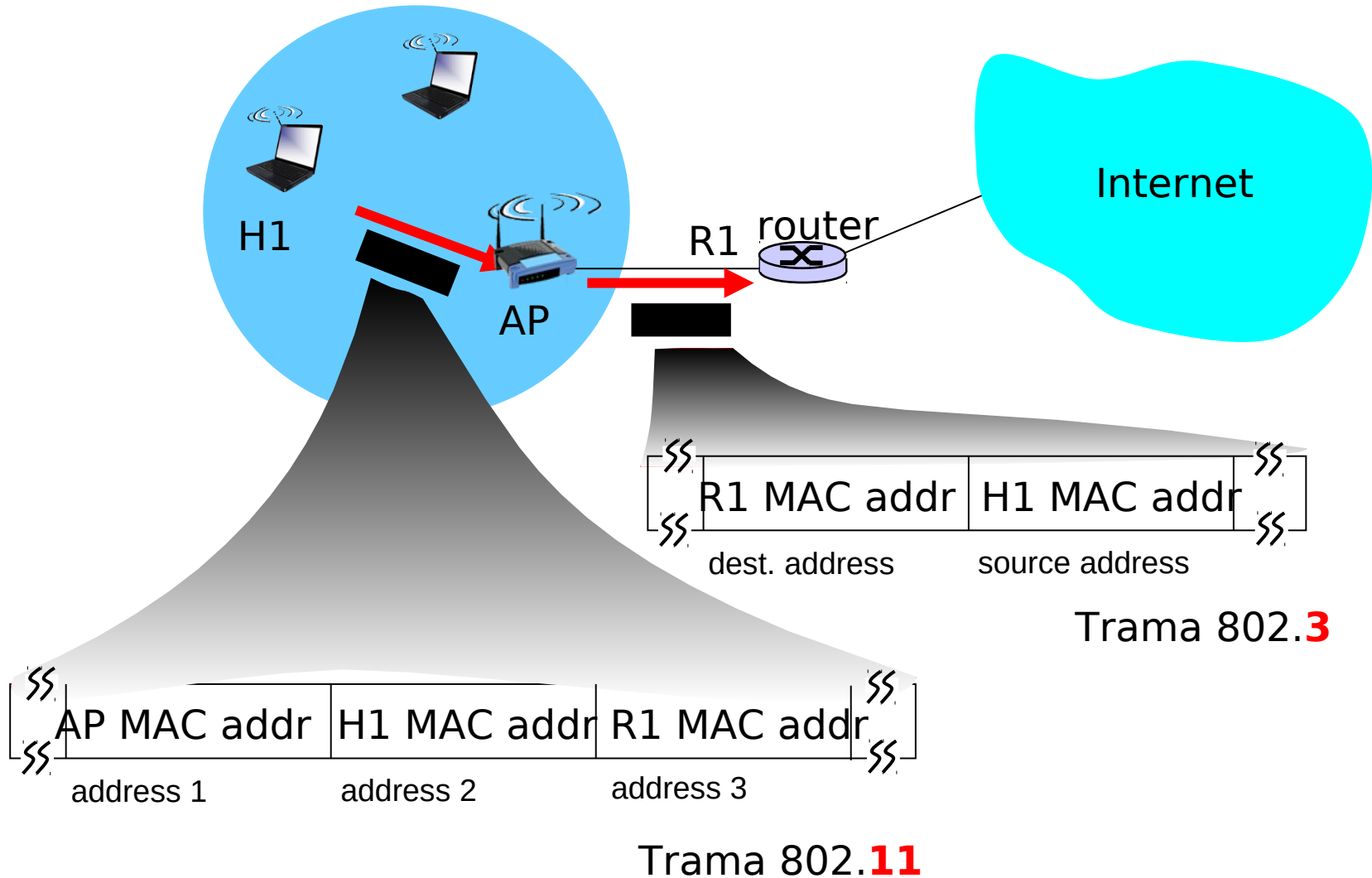
Address 1: dir. MAC del receptor de trama (host wireless o AP)

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

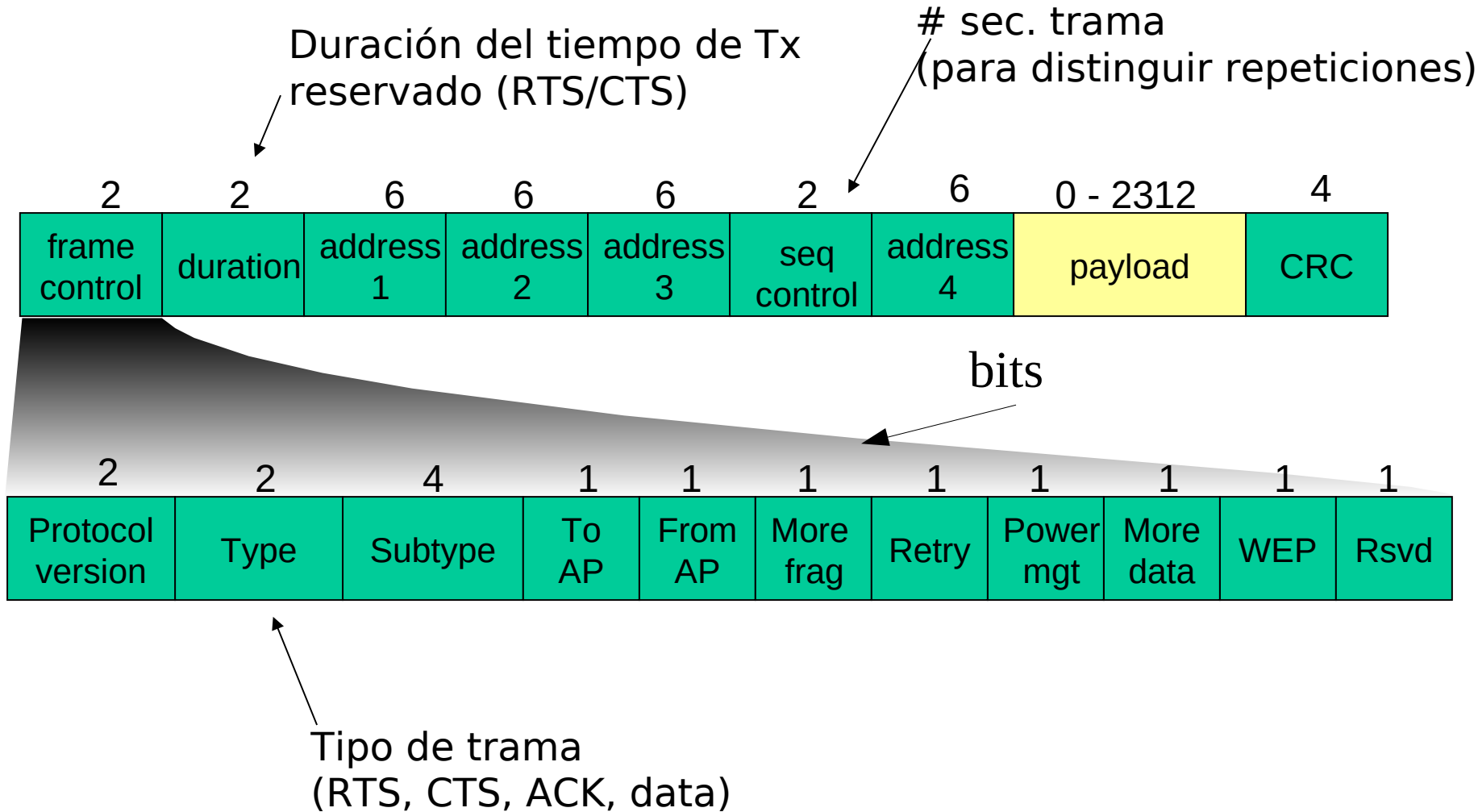
Address 3: dir. MAC De interfaz del router al cual el AP está conectado ¿Qué valor lleva este campo cuando se comunican dos hosts wireless?

Address 4: usada sólo en modo ad hoc

Trama 802.11: direccionamiento

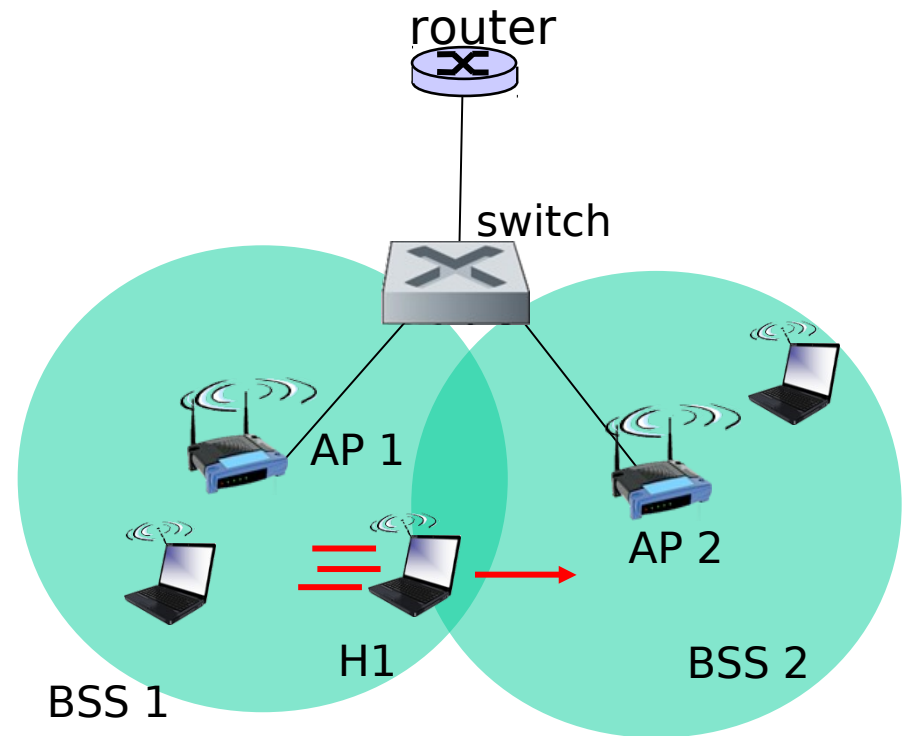


Trama 802.11: cont.



802.11: movilidad dentro de la misma subred

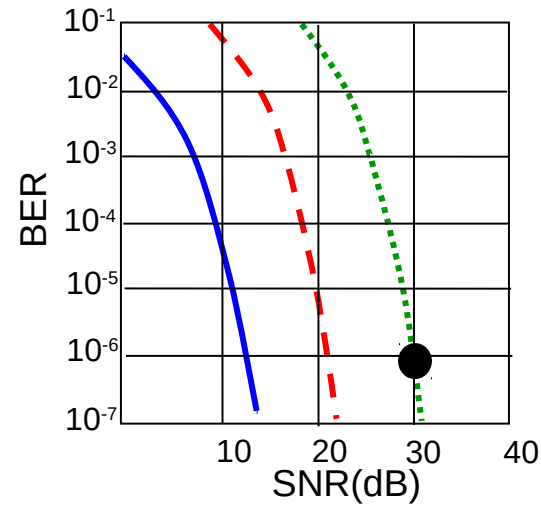
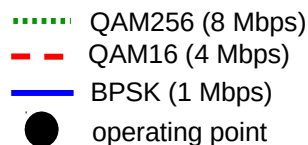
- ❑ H1 permanece en la misma subred IP: dir IP se mantiene igual
- ❑ switch: qué AP está asociado con H1?
 - Auto-aprendizaje (Ch. 6): switch verá tramas de H1 y recuerda qué puerta del switch es usada para llegar a H1
- ❑ Cuando H1 se asocia a AP2, el switch aprende nueva ubicación de H1



802.11: Capacidades avanzadas

Adaptación de tasa

- Estación base y móvil cambian dinámicamente su tasa de transmisión (técnica de modulación de capa física) según móvil se mueve y varía SNR (signal to noise ratio)



1. SNR decrece, BER (Bit error rate) aumenta cuando móvil se aleja de estación base
2. Cuando BER se hace muy alto, se cambia a menor tasa de transmisión y se consigue menor BER (menor tasa de error)

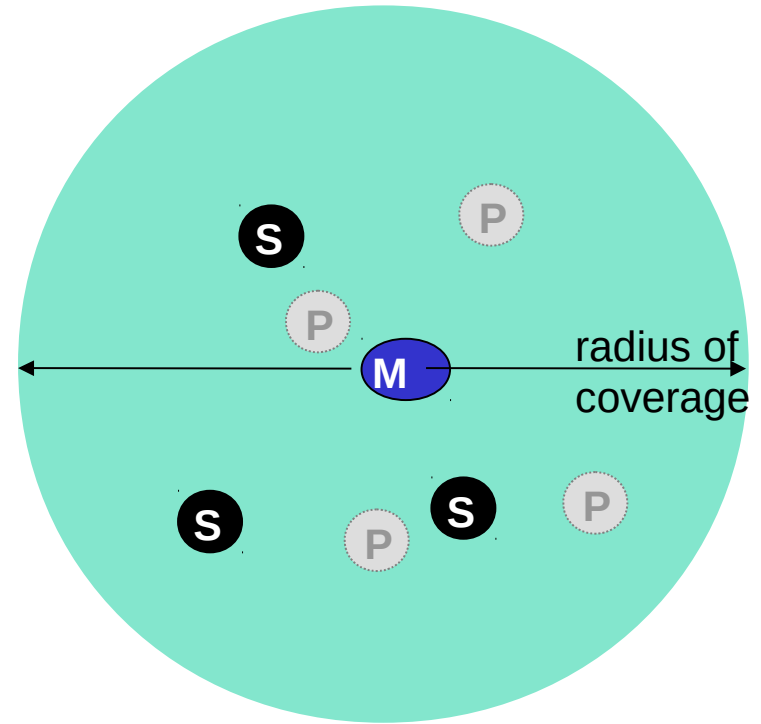
802.11: Capacidades avanzadas

Administración de Energía

- ❑ Nodo-hacia-AP: “Dormiré hasta el próxima trama beacon”
 - AP sabe a quien no transmitir
 - Nodo despierta antes del próximo beacon
- ❑ Trama beacon: contiene una lista de móviles con tramas esperando a ser transmitidas
 - Nodo permanece despierto si tiene tramas por recibir desde AP; de otra manera se vuelve a dormir hasta próximo beacon.

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 7: Contenidos

7.1 Introducción

Wireless

- ❑ 7.2 Enlaces Wireless, características
 - CDMA
- ❑ Paréntesis Revisión 802.3
- ❑ 7.3 IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ❑ 7.4 Acceso a Internet vía celular
 - arquitectura
 - estándares (e.g., 3G, LTE)

Movilidad

- ❑ 7.5 Principios: direccionamiento y ruteo de usuarios móviles
- ❑ 7.6 IP móvil
- ❑ 7.7 Manejo de movilidad en redes celulares
- ❑ 7.8 Movilidad y protocolos de capas superiores