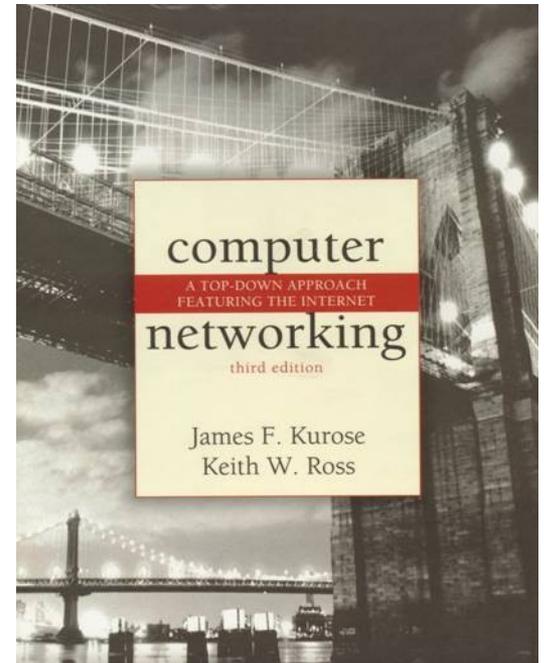


# Capítulo 6

## redes inalámbricas y móviles



*Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet,*  
3<sup>rd</sup> 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, y teléfonos con 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

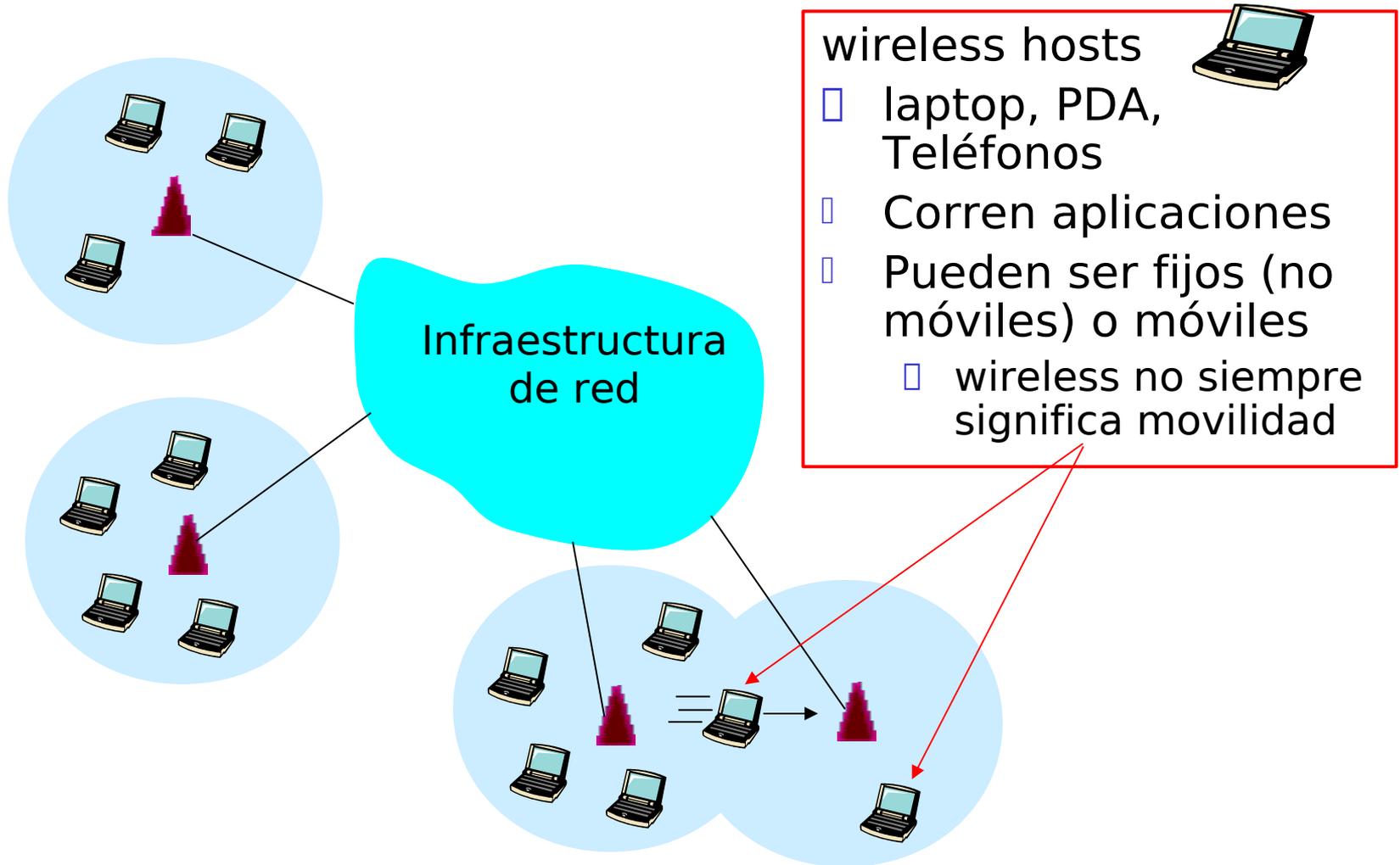
### Wireless

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

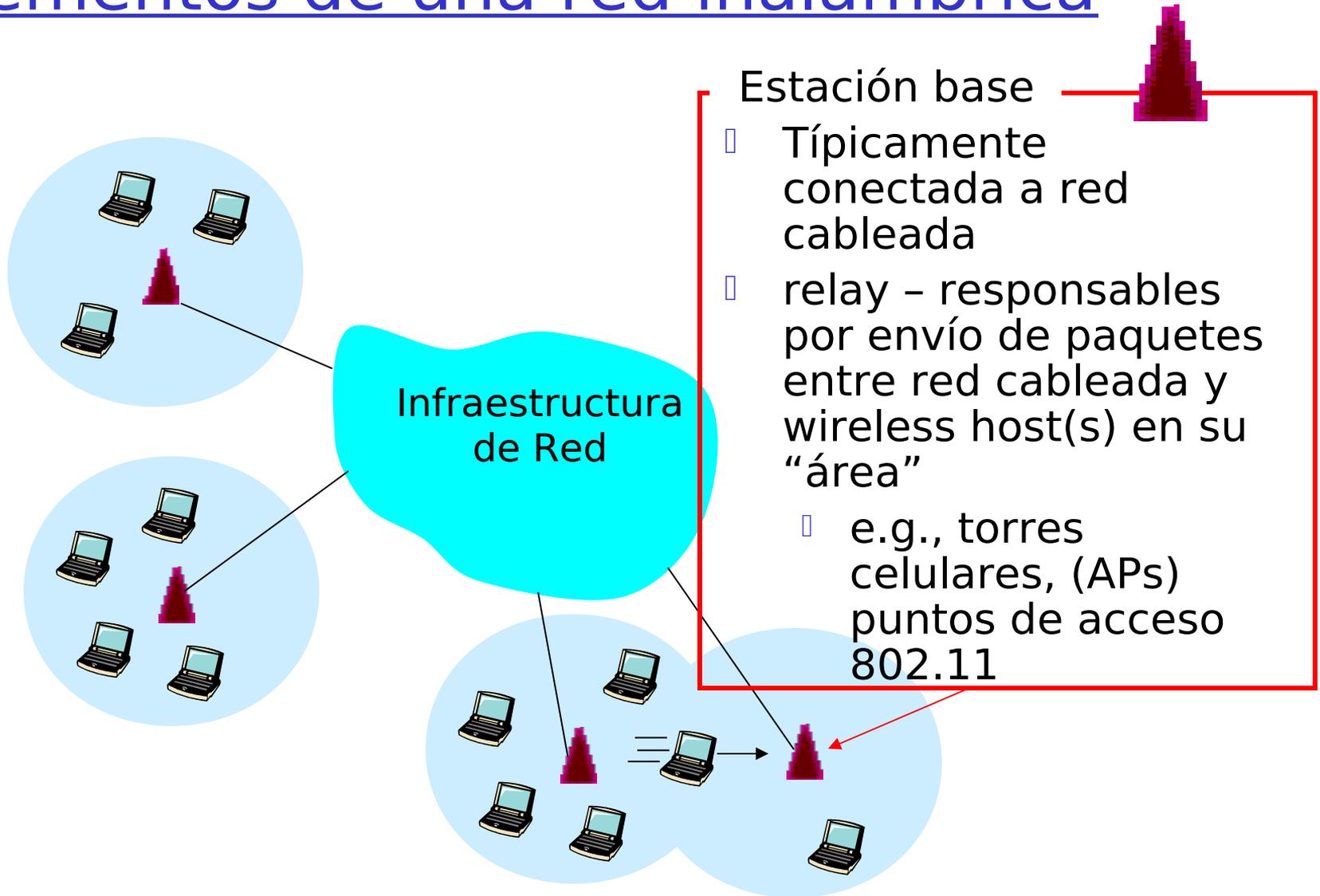
### Movilidad

- 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

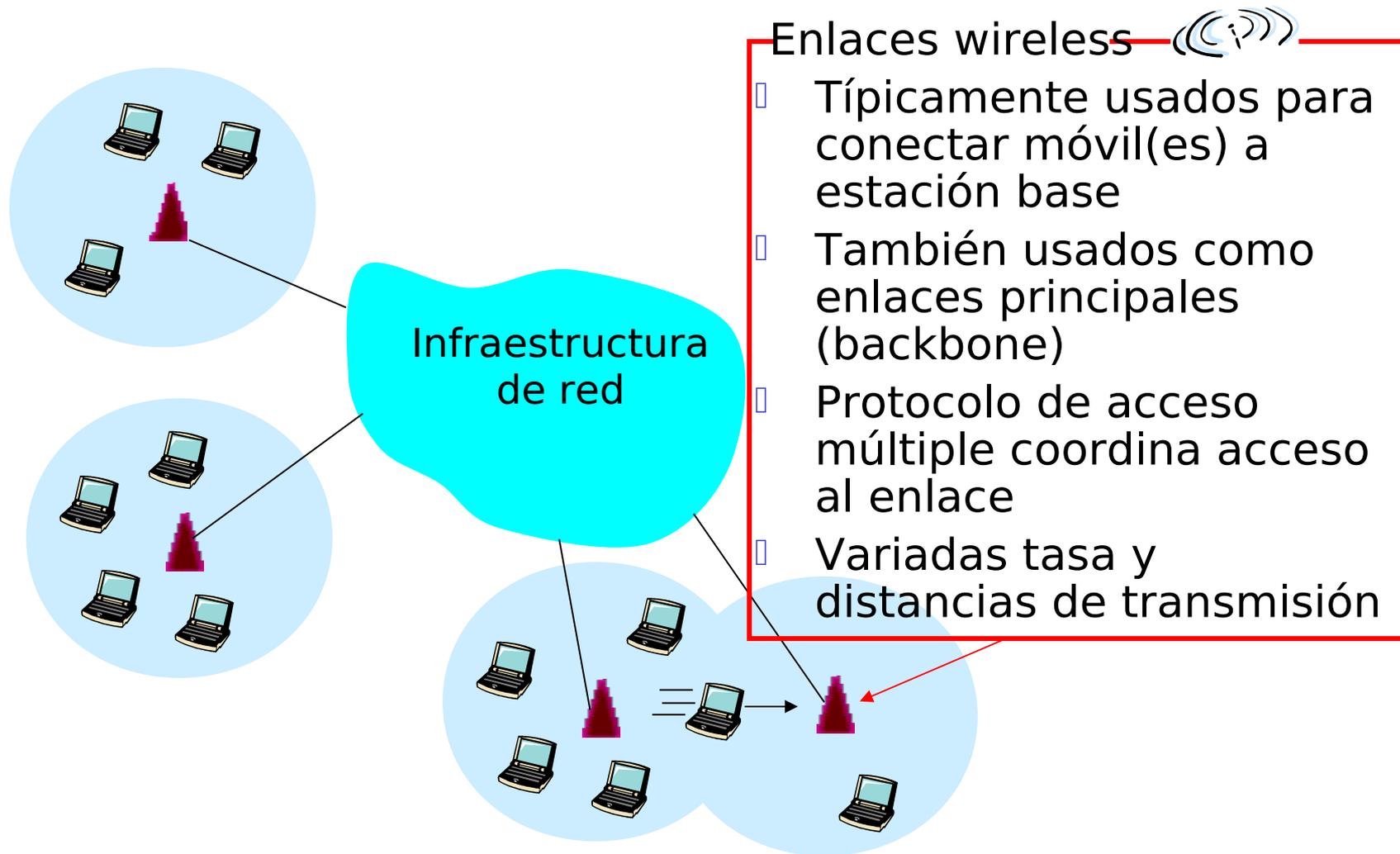
# Elementos de una red inalámbrica



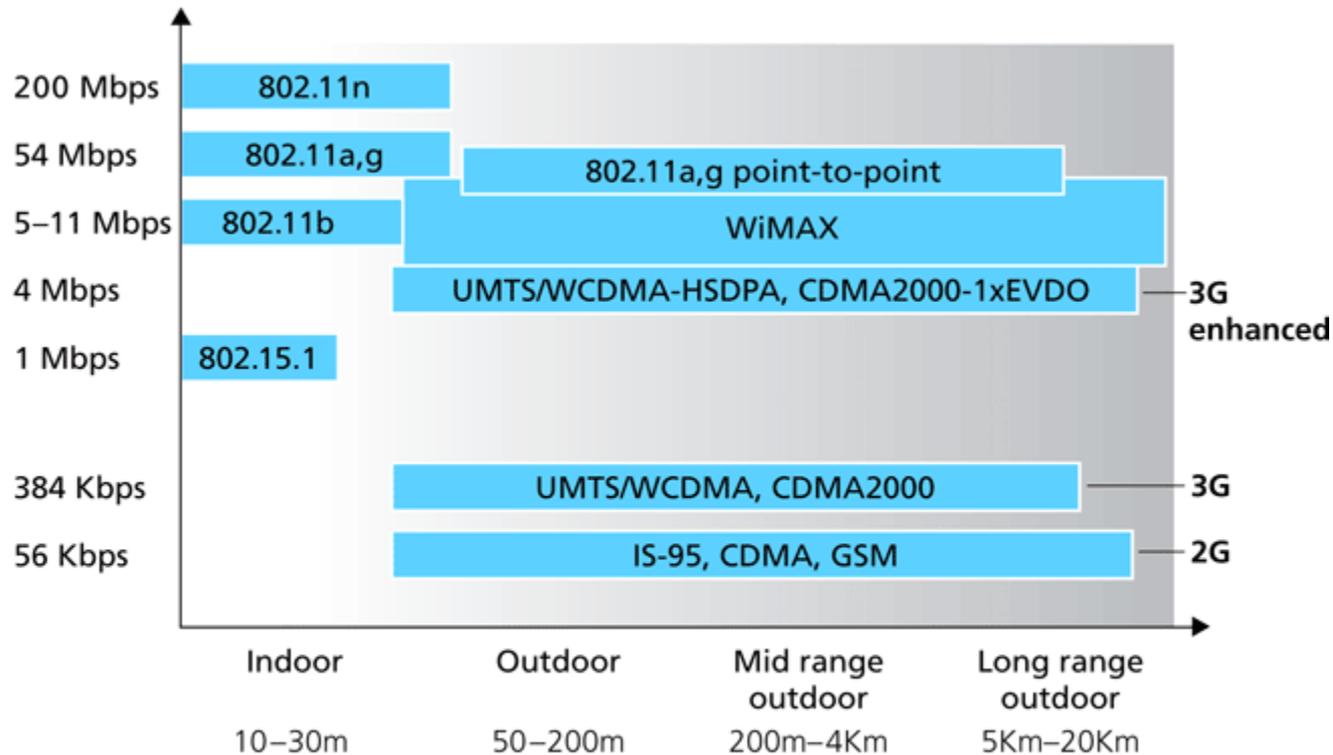
# Elementos de una red inalámbrica



# Elementos de una red inalámbrica



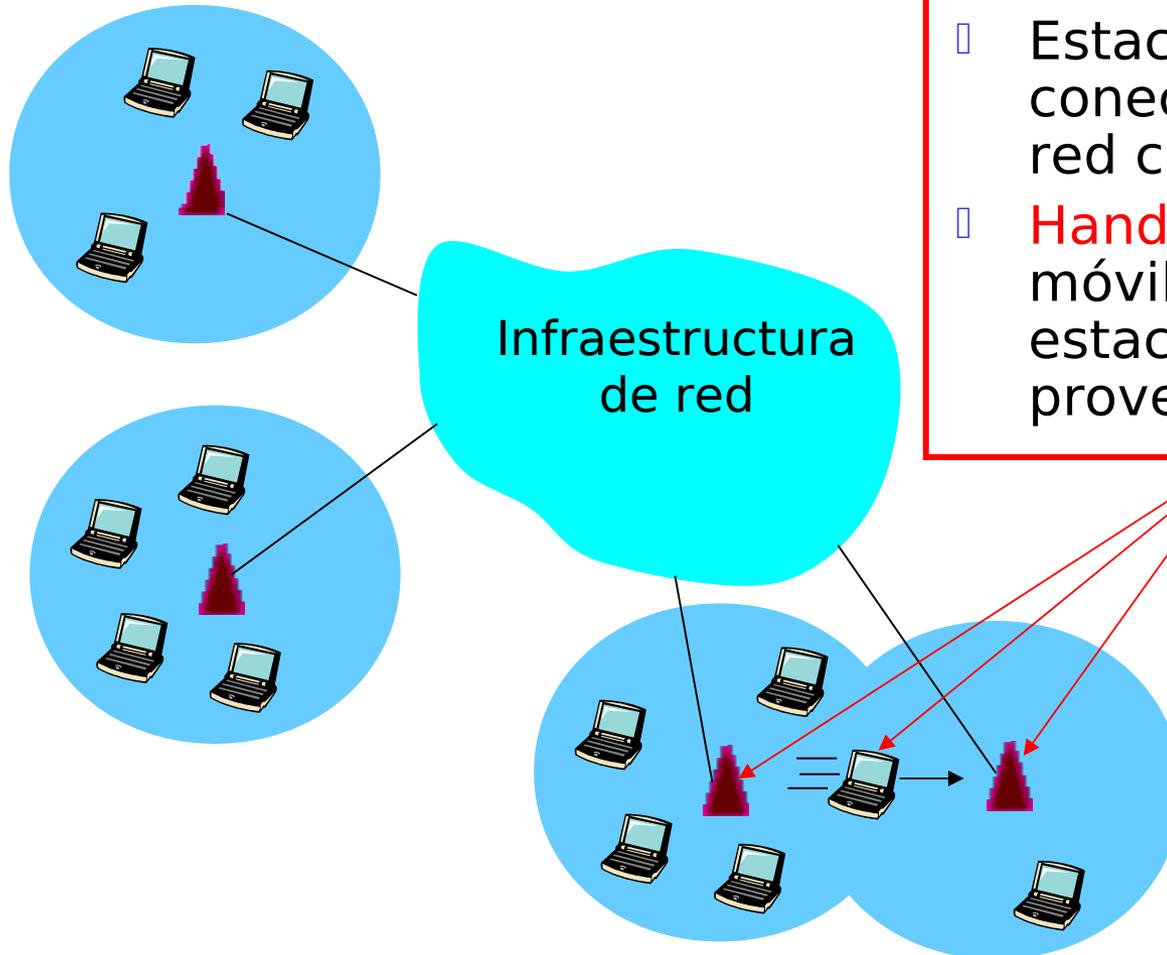
# Características de estándares de enlaces inalámbricos



**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 (2011).

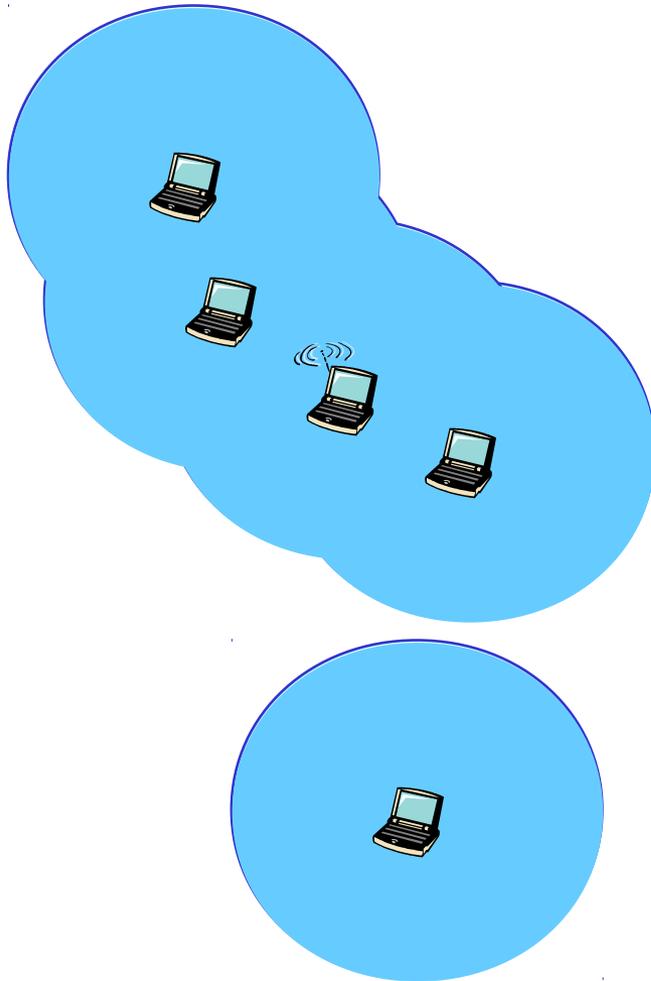
# Elementos de una Red Inalámbrica



## 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 en red entre ellos, proveen servicios de ruteo, asignación de direcciones, entre ellos

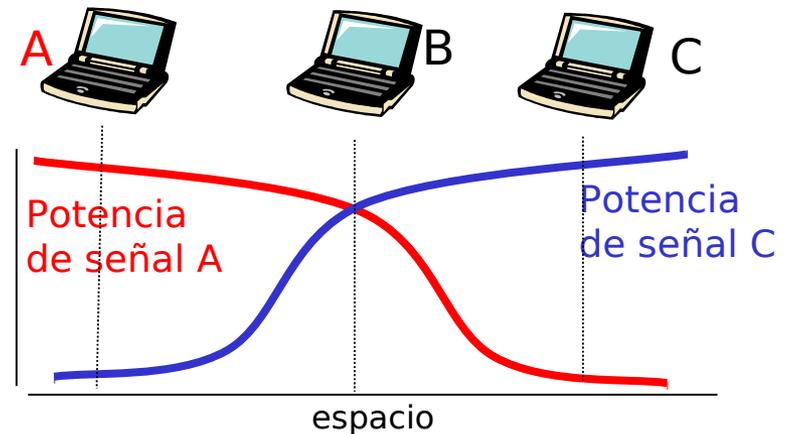
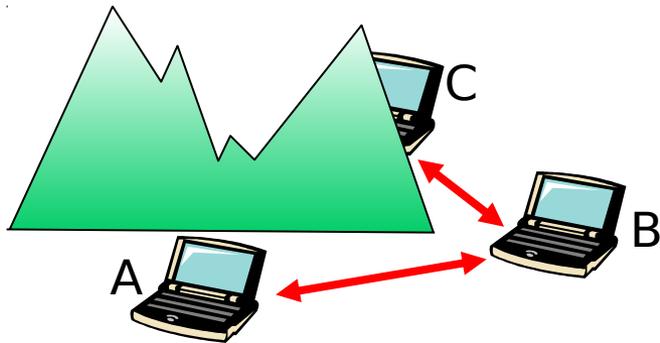
# Características de los enlaces inalámbricos

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.
- ▣ **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:

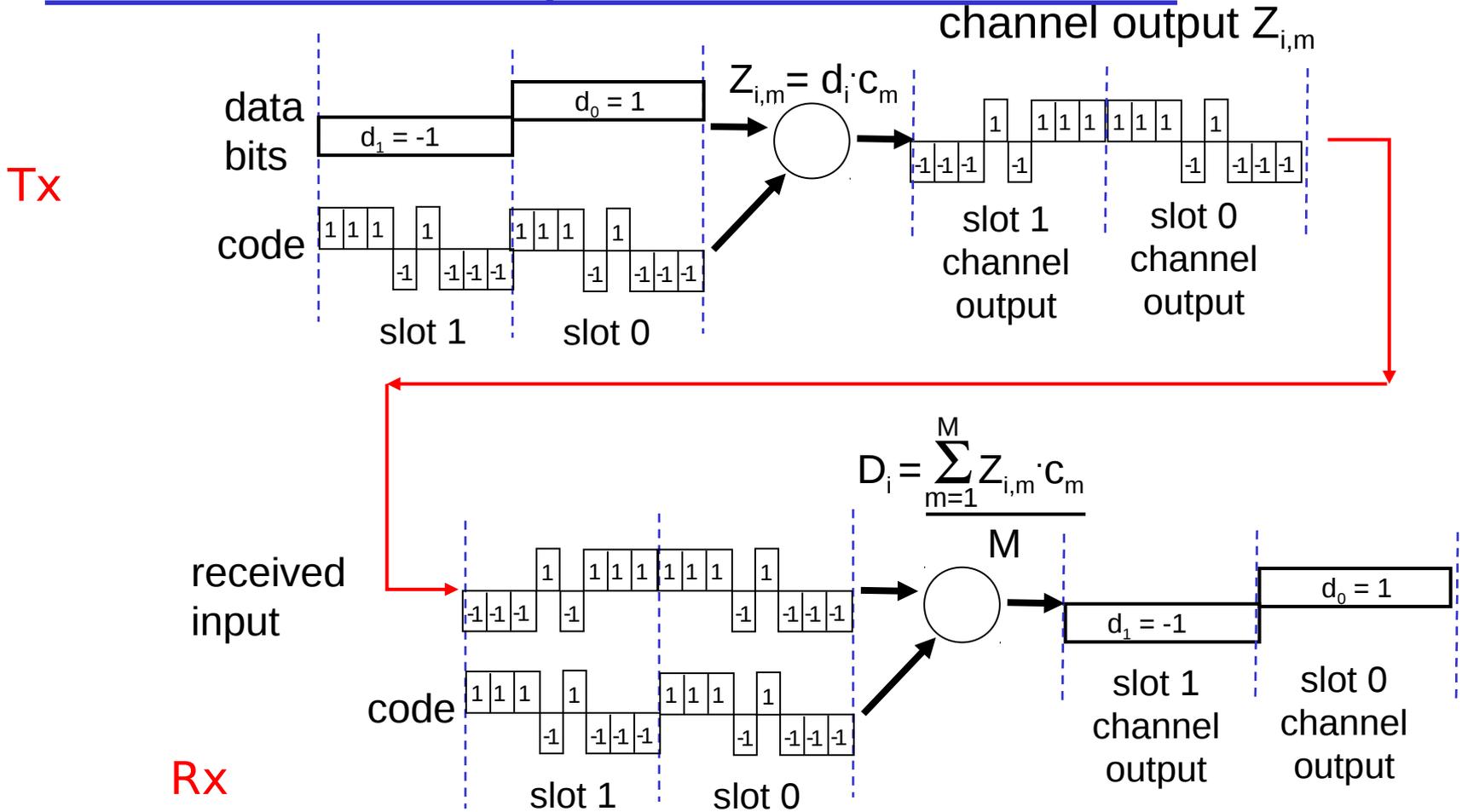
- B, A se escuchan
- B, C se escuchan
- A, C no se escuchan e interfieren en B

# 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.)

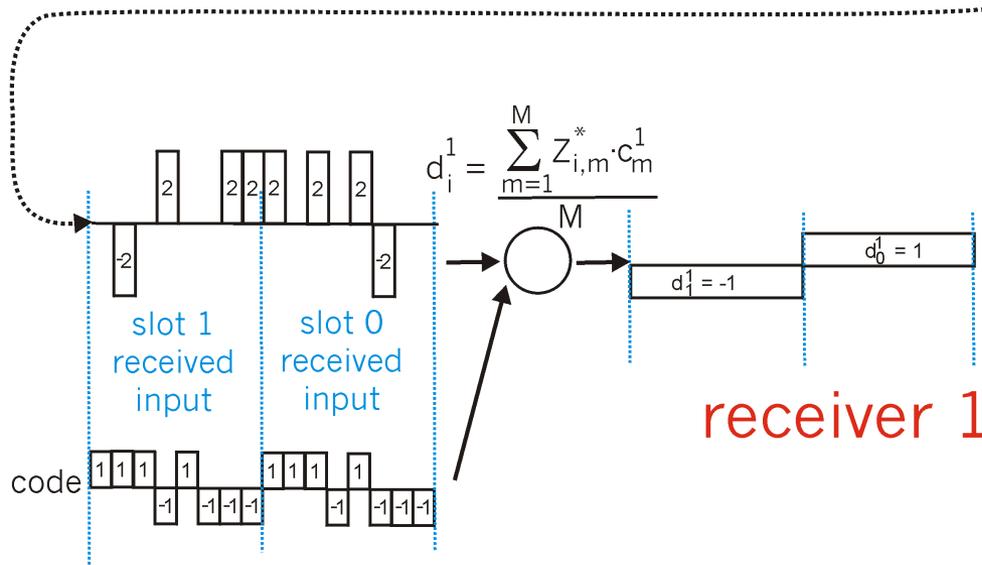
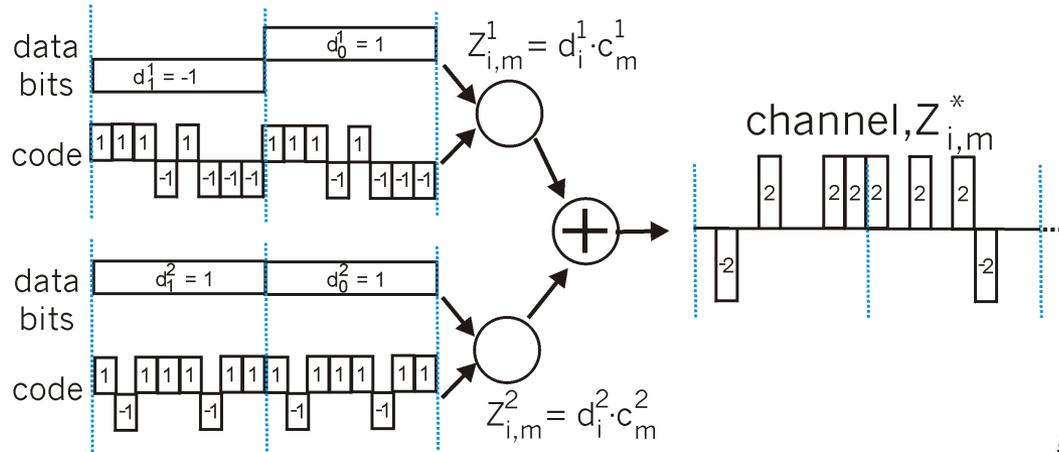
# CDMA

## 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 vía preguntas

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

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.

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.

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.

# 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

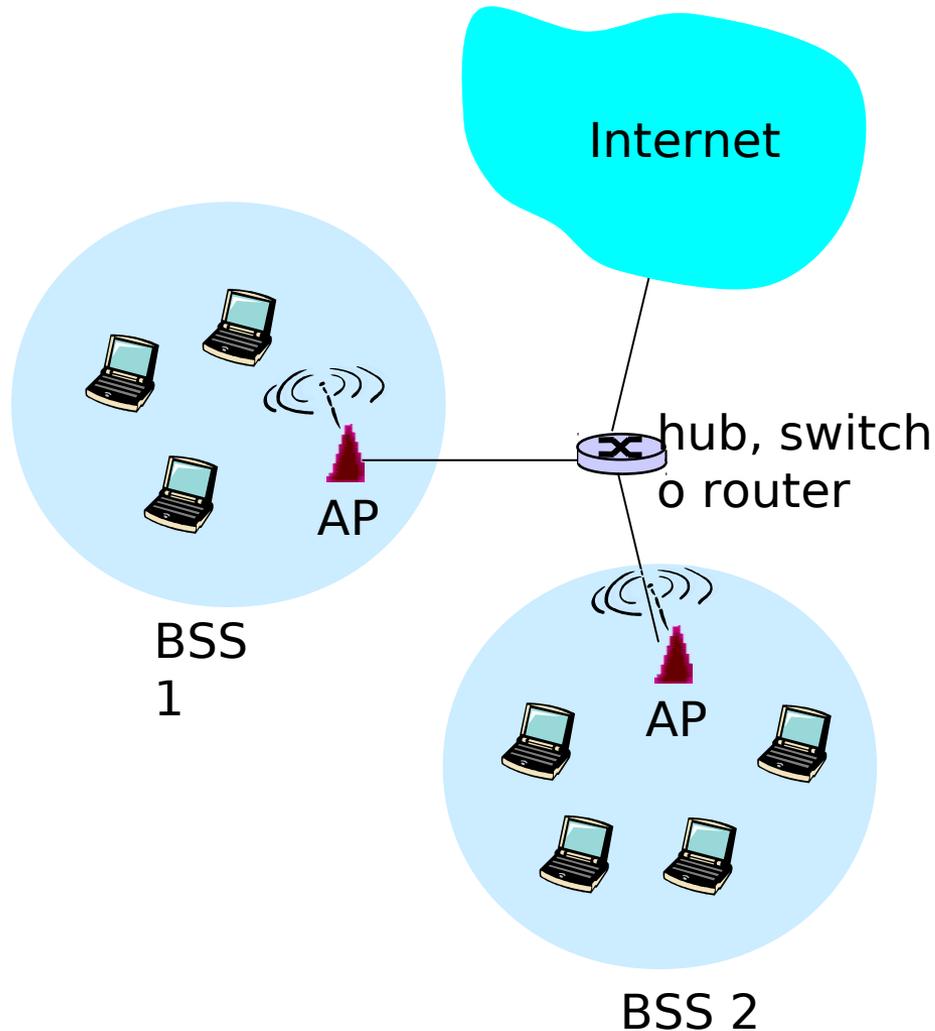
## ▣ 802.11g

- ▣ 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

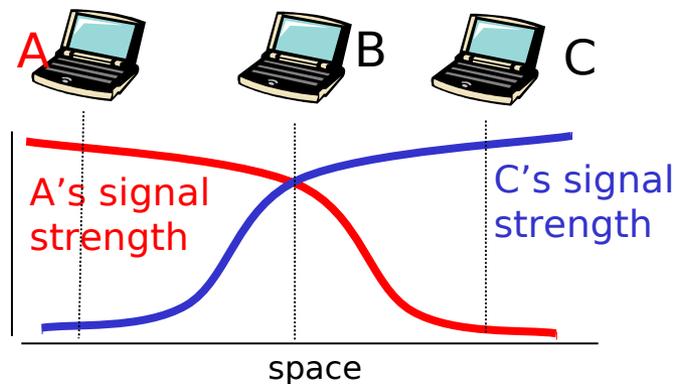
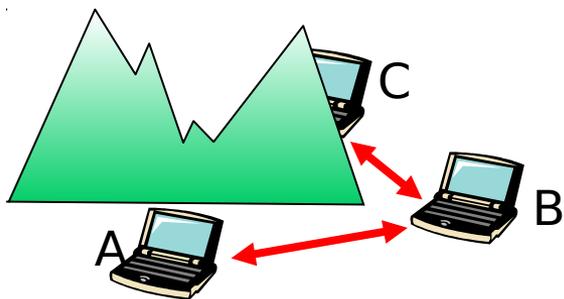
aka: **also known as**

# 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 que el de 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)



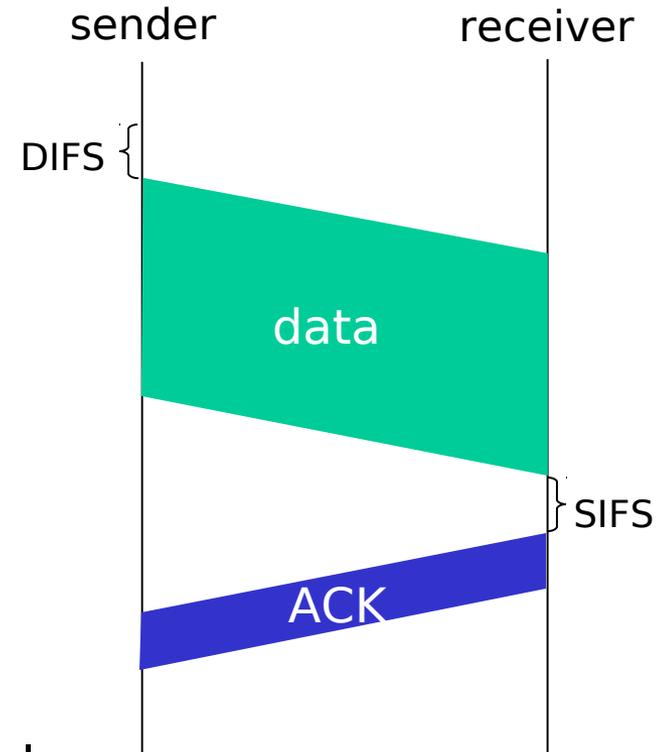
# IEEE 802.11 Protocolo MAC: CSMA/CA

## 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 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** (ACK necesario debido además a problema del terminal oculto)



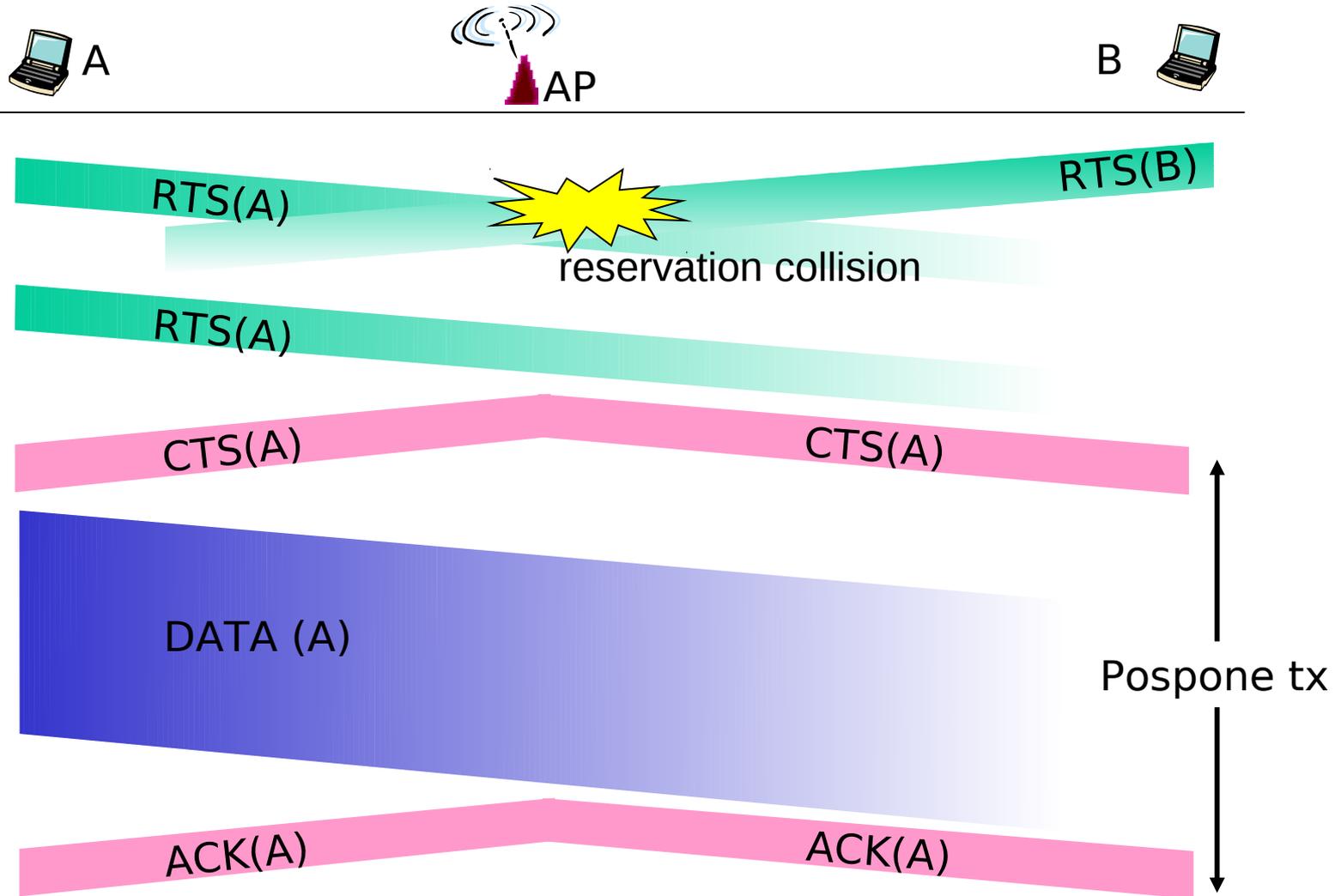
# Abolición de colisiones (cont.)

*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!

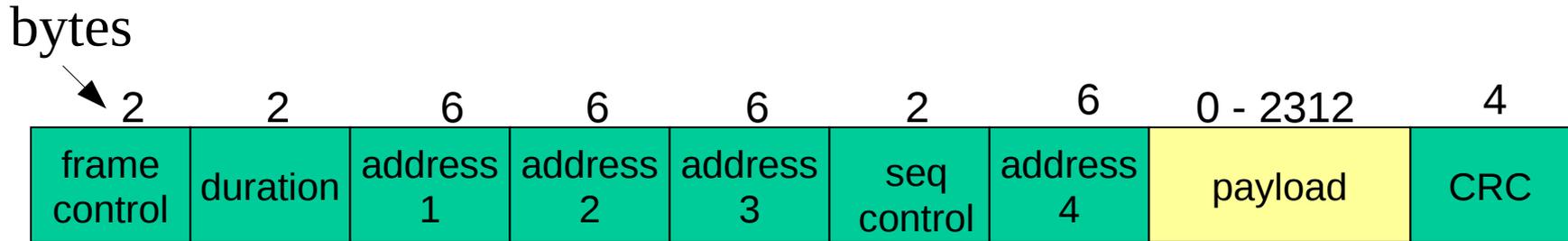
# Abolición de Colisiones: RTS-CTS



# • ¿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



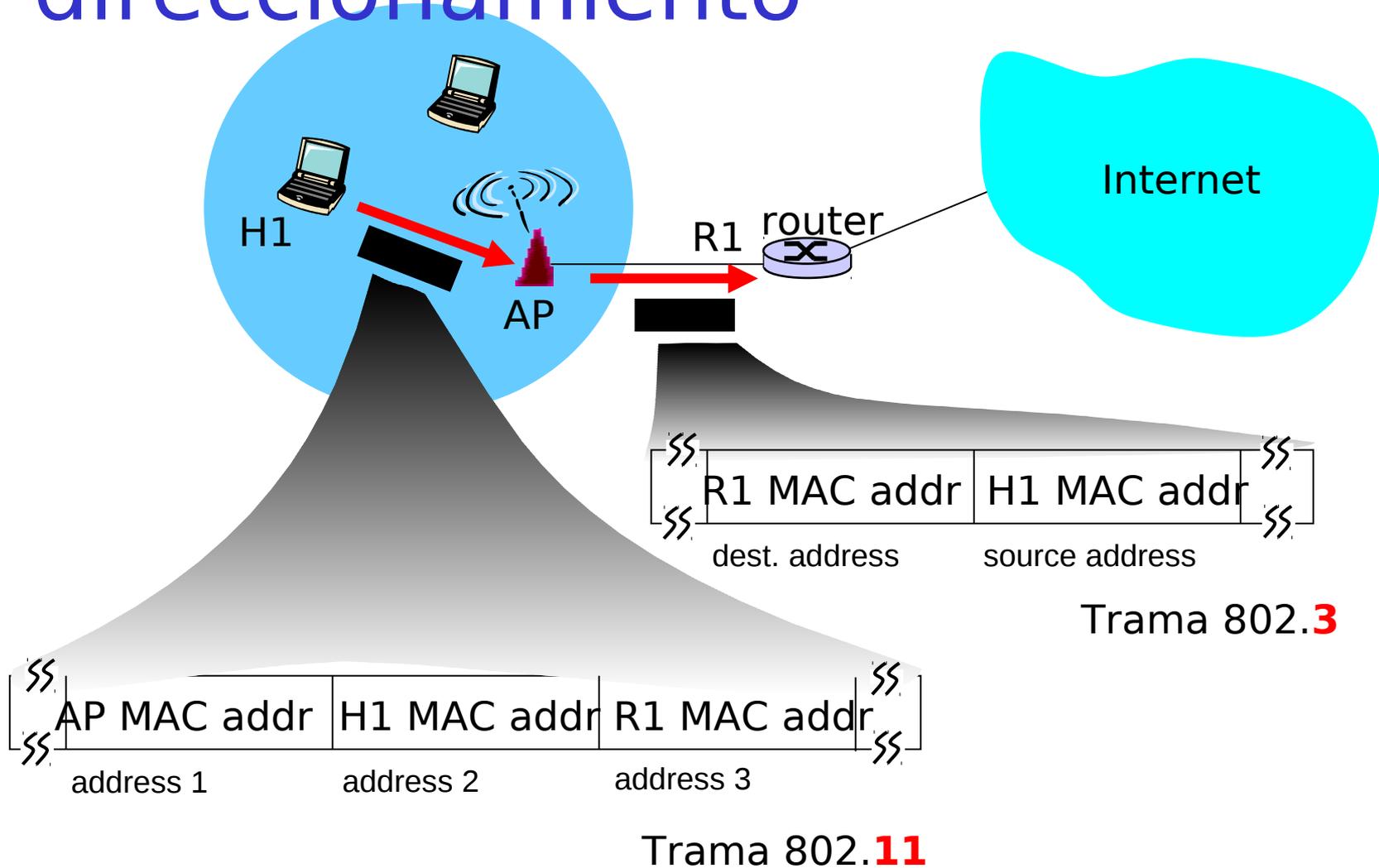
**Address 1:** dir. MAC del host wireless o AP **receptor** de trama

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

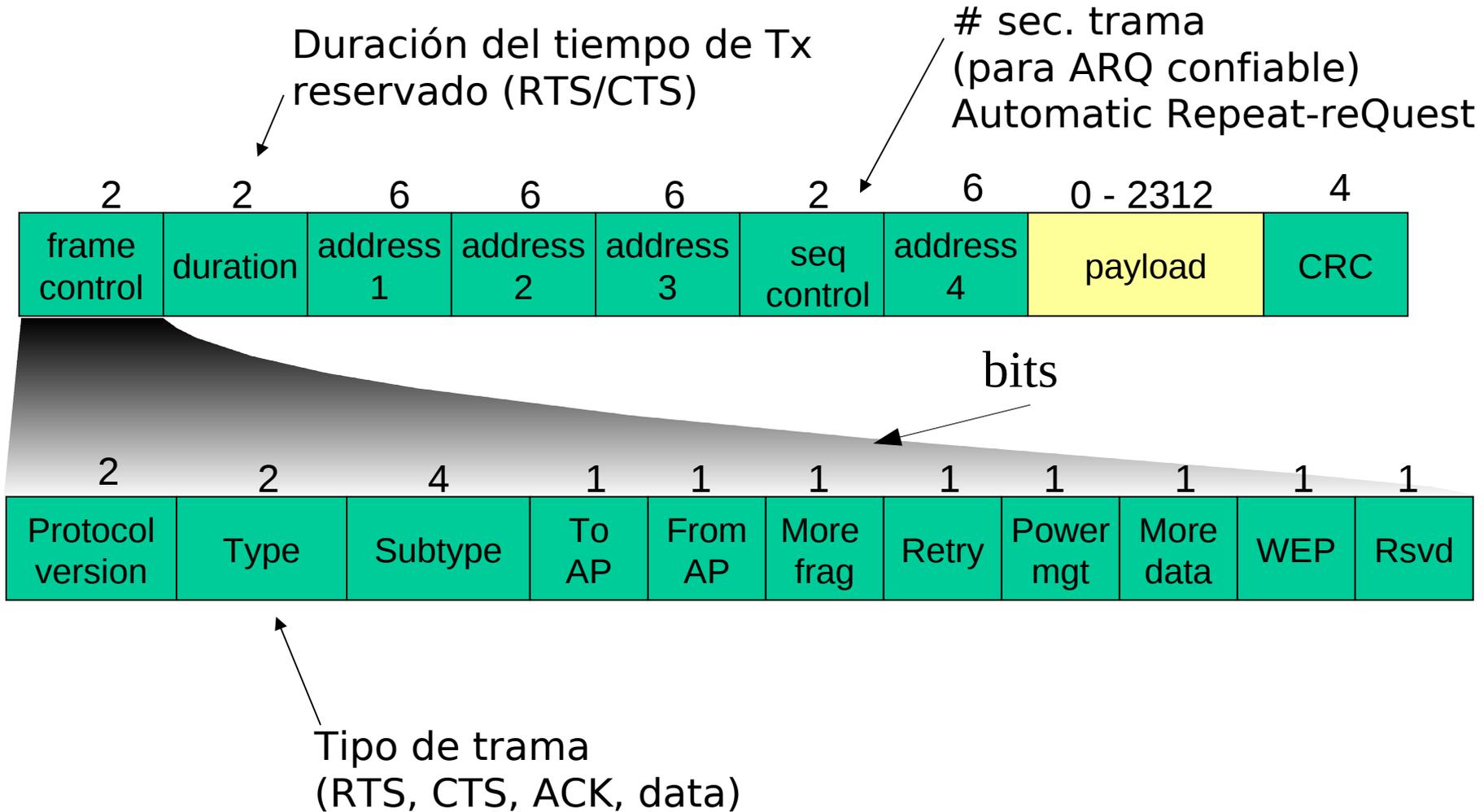
**Address 3:** dir. MAC De interfaz del router al cual el AP está conectado ¿Qué valor lleva este campo cuando se comunican dos hosts wireless?

**Address 4:** usada sólo en modo ad hoc

# Trama 802.11: direccionamiento

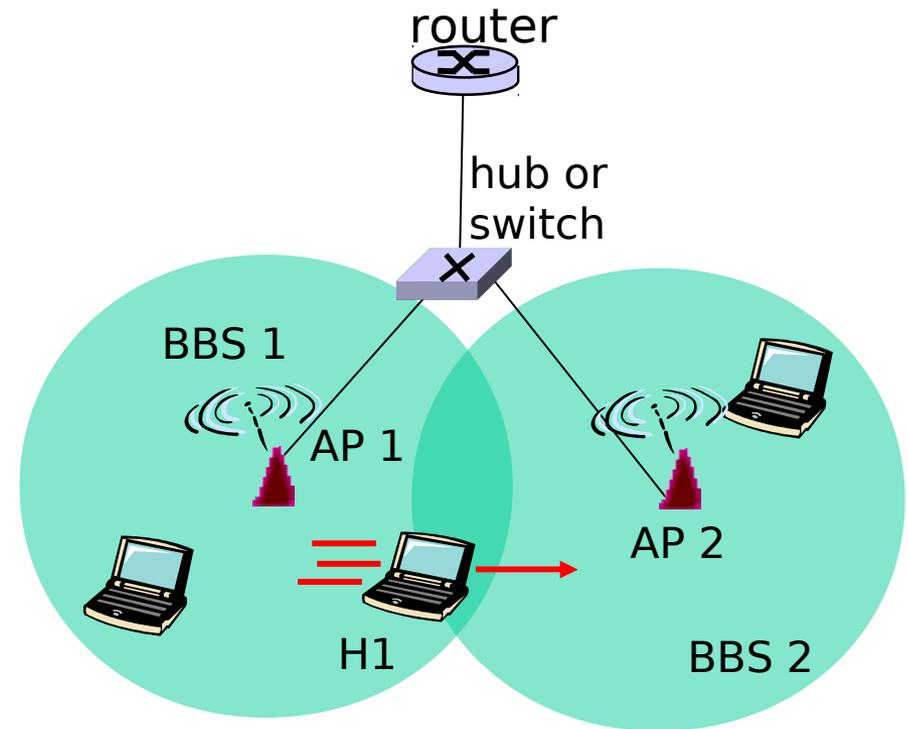


# Trama 802.11: cont.



# 802.11: movilidad dentro de la misma subred

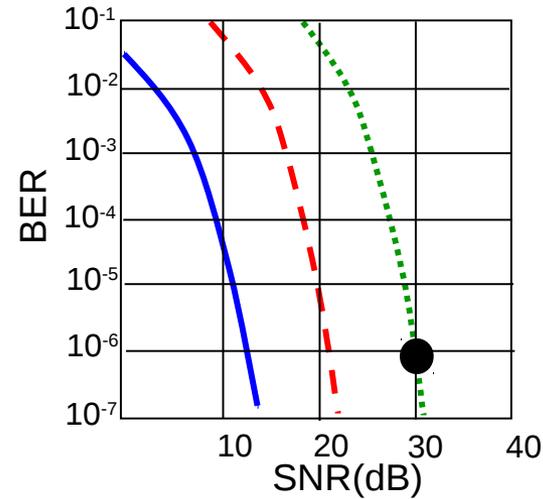
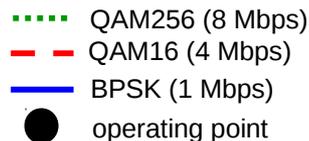
- H1 permanece en la misma subred IP: dir IP se mantiene igual
- switch: qué AP está asociado con H1?
  - Auto-aprendizaje (Ch. 5): switch verá tramas de H1 y recuerda qué puerta del switch es usada para llegar a H1
- Cuando H1 se asocia a AP2, el switch aprende nueva ubicación de H1



# 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

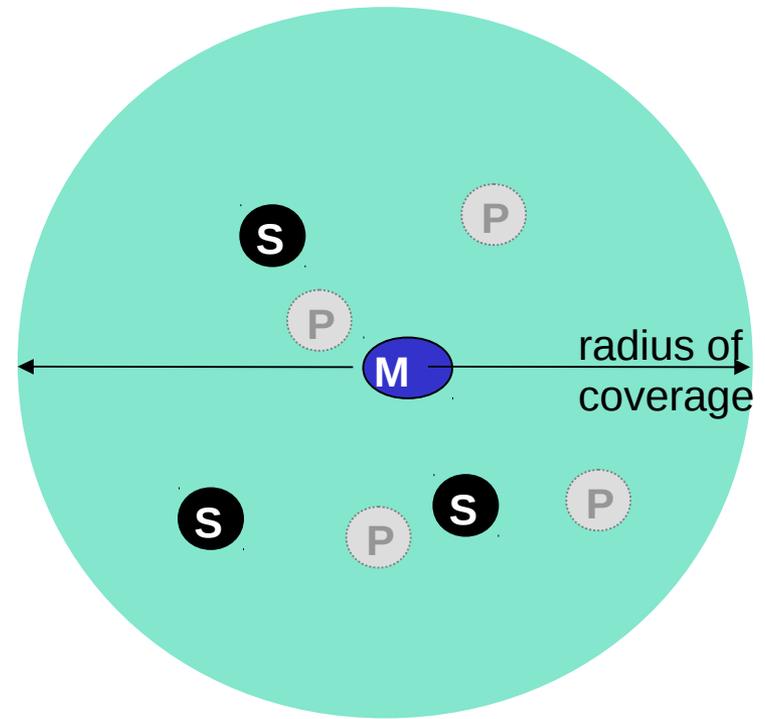
# 802.11: Capacidades avanzadas

## *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 ser transmitidas
  - node 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

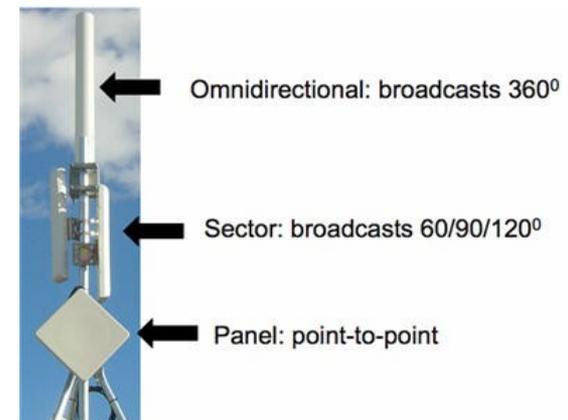
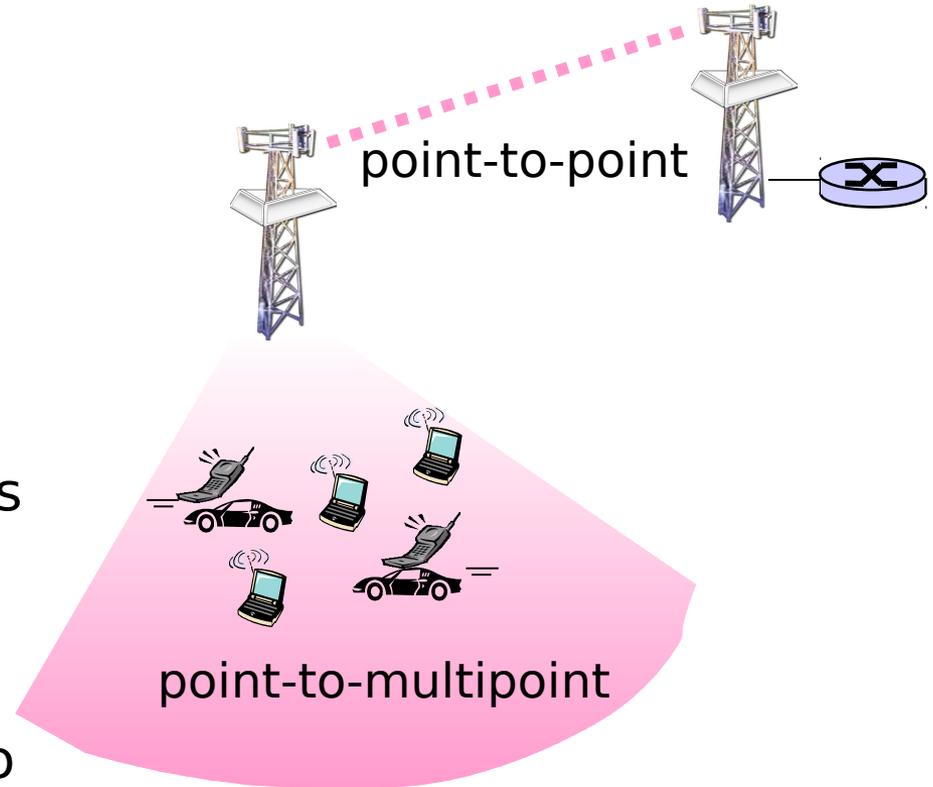
- Menos de 10 m diámetro
- Reemplazo de cables (mouse, keyboard, headphones)
- ad hoc: no infraestructura
- maestro/esclavos:
  - Esclavos requieren permiso para Tx (al maestro)
  - Maestro concede permiso
- 802.15: evoluciona de especificación Bluetooth
  - Banda de radio 2.4-2.5 GHz
  - hasta 721 kbps



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

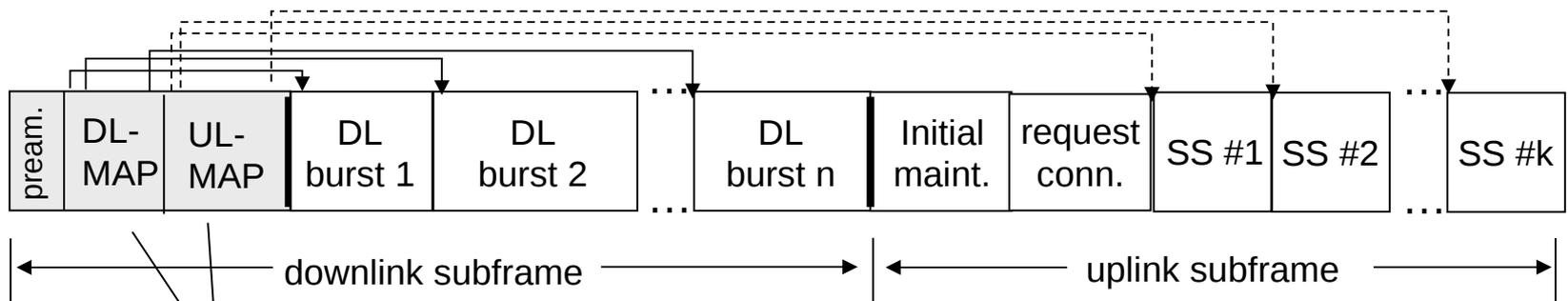
# 802.16: WiMAX

- ▮ Similar a 802.11 & red celular: usa estación base
  - ▮ Transmisiones entre hosts y estación base son con antena omnidireccional
  - ▮ Entre estaciones bases con antena punto-a-punto
- ▮ Diferencia con 802.11:
  - ▮ rango ~ 6 millas (“ciudad en lugar de cafetería”)
  - ▮ ~14 Mbps



# 802.16: WiMAX: itineración downlink, uplink

- Transmisión de tramas
  - down-link subframe: estación base a nodo
  - uplink subframe: node a estación base



Estación base dice a nodos quien recibirá datos (DL map) y quien podrá enviar (UL map), y cuando

- Estándar WiMAX provee mecanismo para itineración, pero no el algoritmo de itineración

# 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

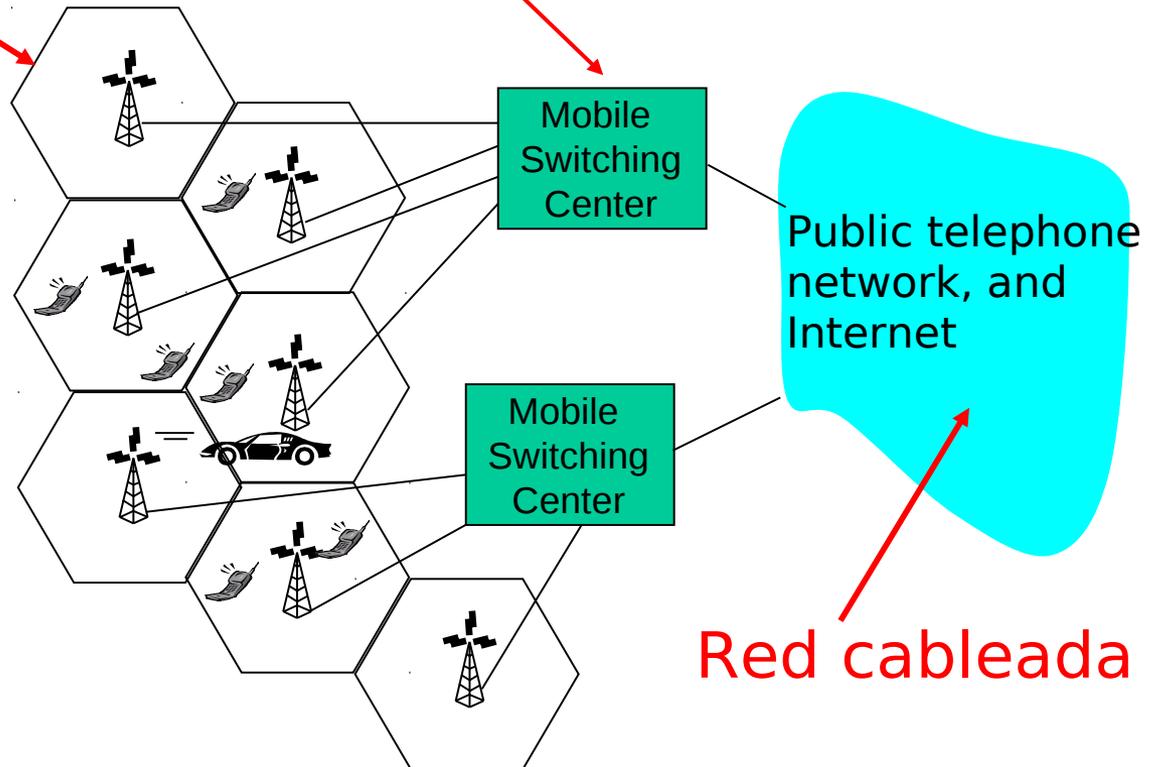
# Componentes de arquitectura de red Celular

## 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!)



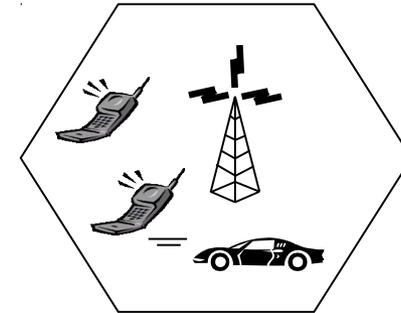
Red cableada

Nota: Falta el Base Station Controller (BSC)

# Redes Celulares: El primer salto

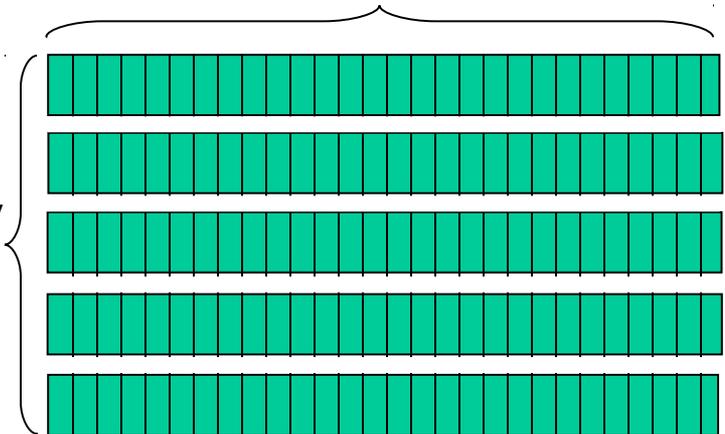
Dos técnicas para compartir espectro de radio entre móvil y BTS (base transceiver station o antena)

- **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

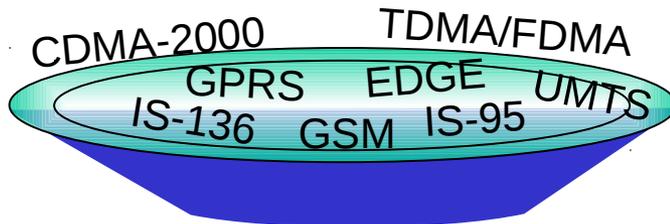


# Estándar Celulares: resumen breve

**Sistema 1G:** Sistema análogo sólo voz.

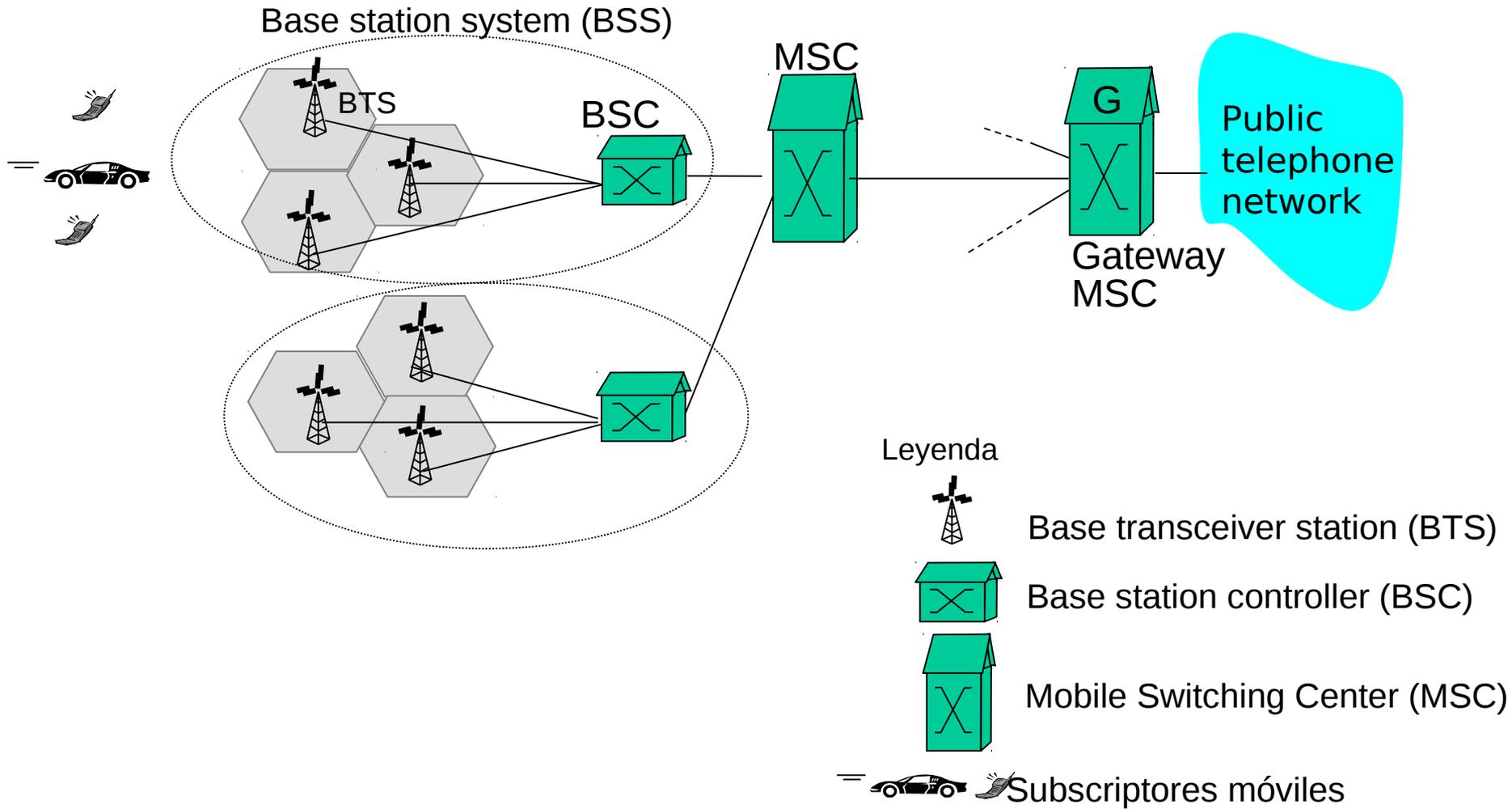
**Sistemas 2G :** canales de voz digital

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



No nos ahoguemos con tantas sigla:  
Usemos esto sólo como referencia

# 2G (voz) arquitectura de la red

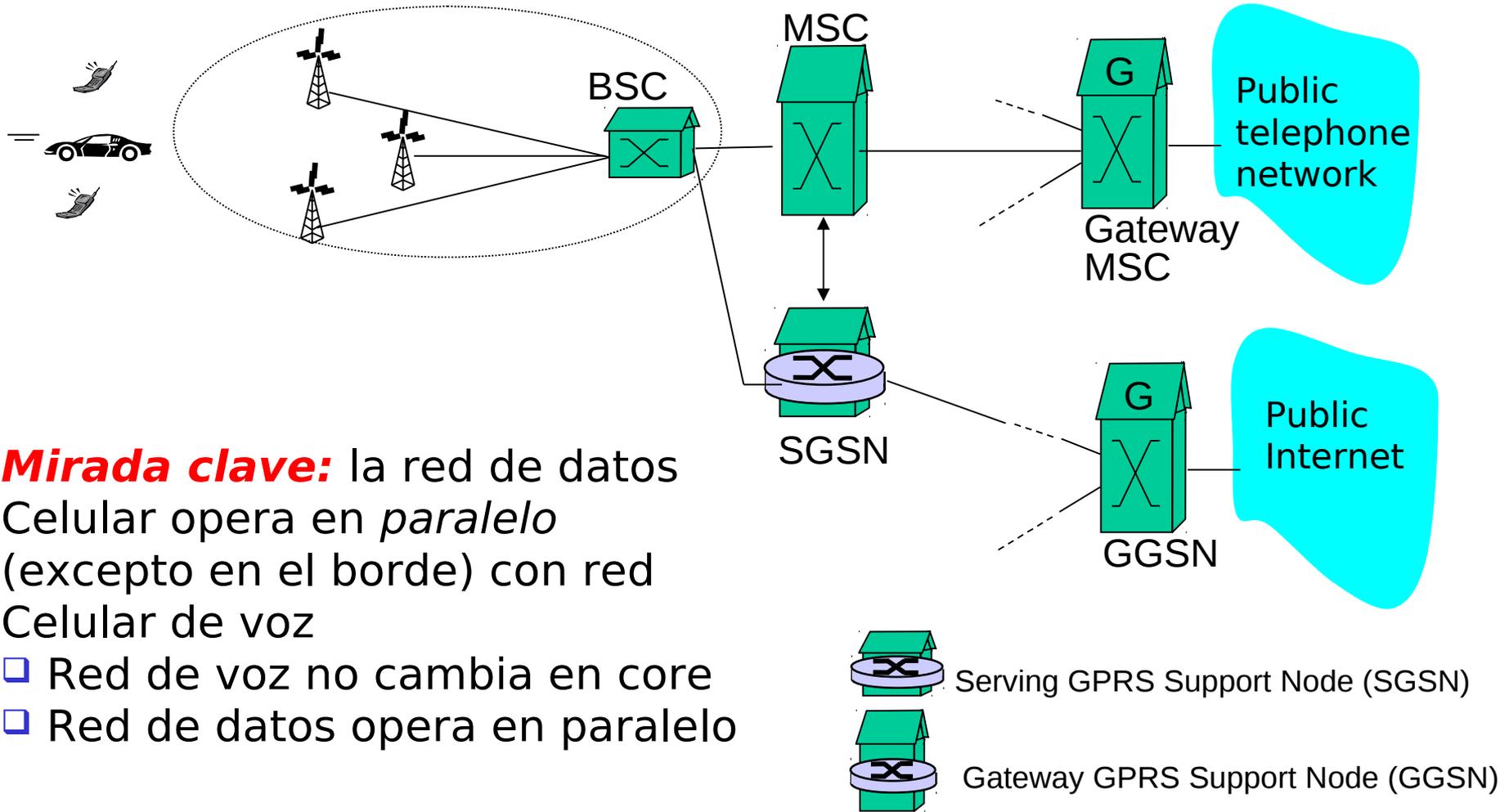


# Estándar Celulares: resumen breve

## 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

# 2.5G (voz + datos) arquitectura de red



**Mirada clave:** la red de datos Celular opera en *paralelo* (excepto en el borde) con red Celular de voz

- ❑ Red de voz no cambia en core
- ❑ Red de datos opera en paralelo

# Estándar Celulares: resumen breve

## Sistemas 3G: voz y datos

- Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)
  - Servicio de datos: High Speed Uplink/Downlink Packet Access (HSDPA/HSUPA): 3 Mbps
- CDMA-2000: CDMA en ranuras TDMA
  - Servicio de datos: 1xEvolution Data Optimized (1xEVDO) hasta 14 Mbps

..... más (y más interesante) tópicos celulares debido a movilidad

# Arquitectura 3G

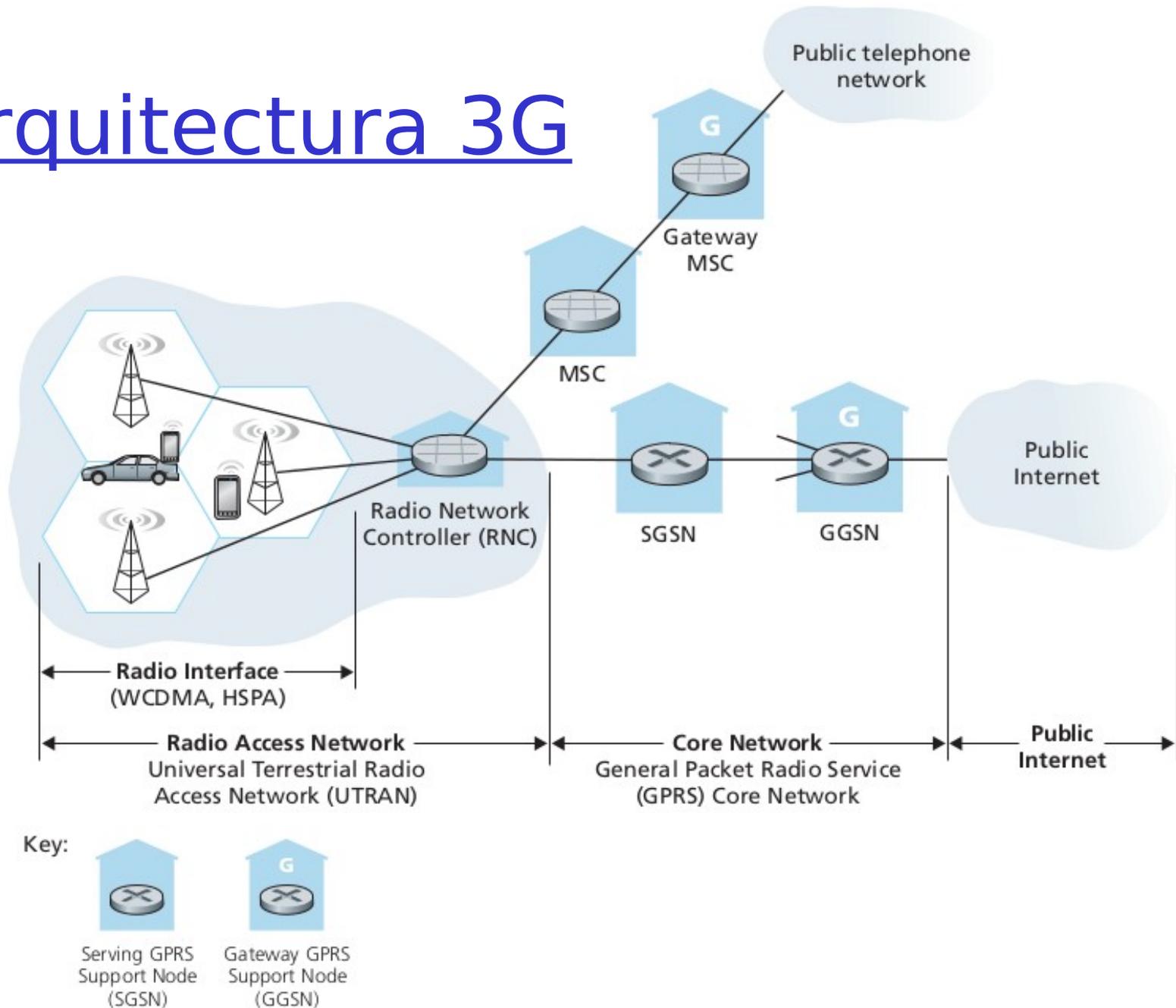


Figure 6.19 ♦ 3G system architecture