

# Capítulo 6

## redes inalámbricas y móviles

*Computer Networking: A Top Down  
Approach Featuring the Internet*

# Capítulo 6: 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 6: Contenidos

## 6.1 Introducción

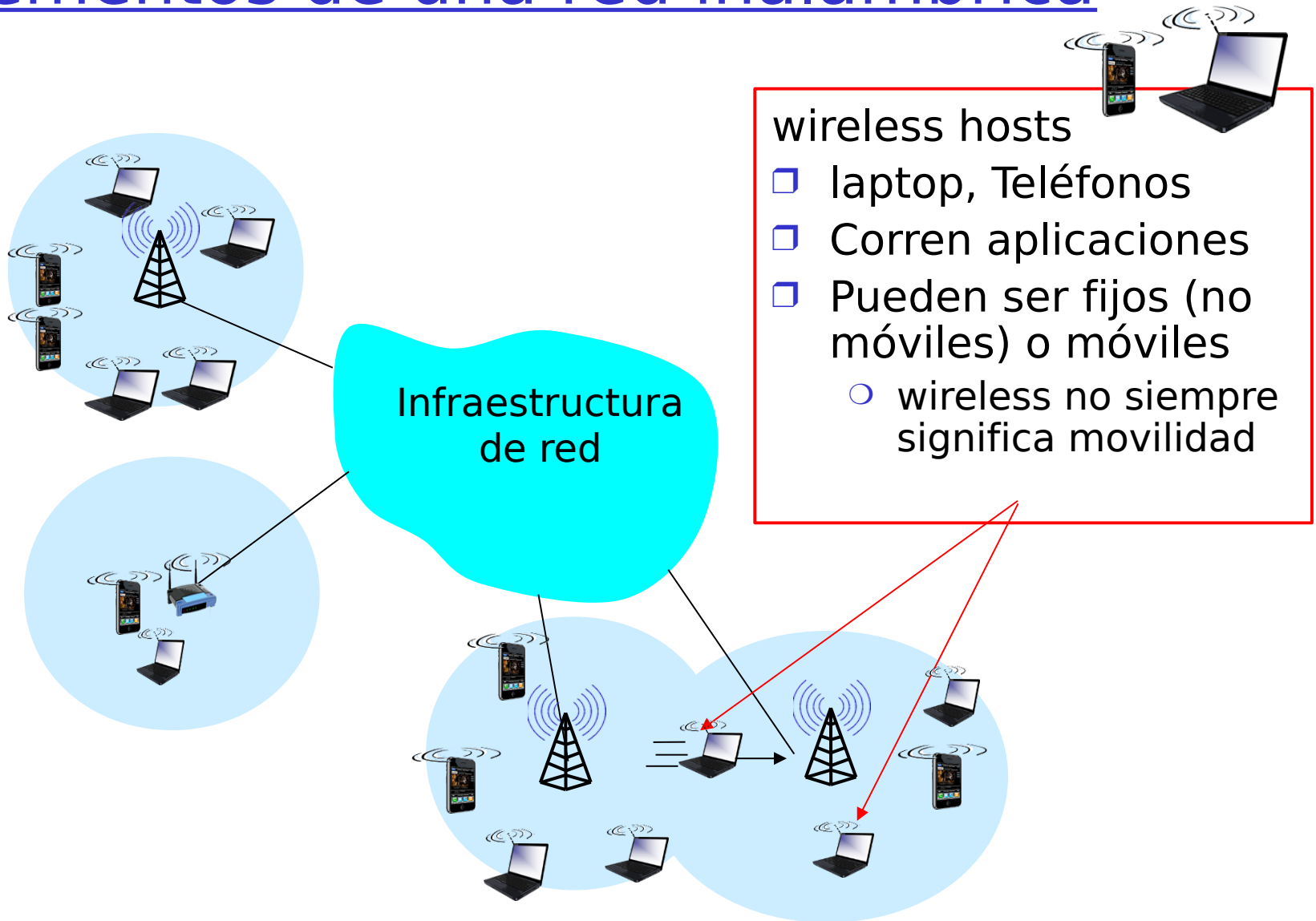
### Wireless

- ❑ 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., 3G, LTE)

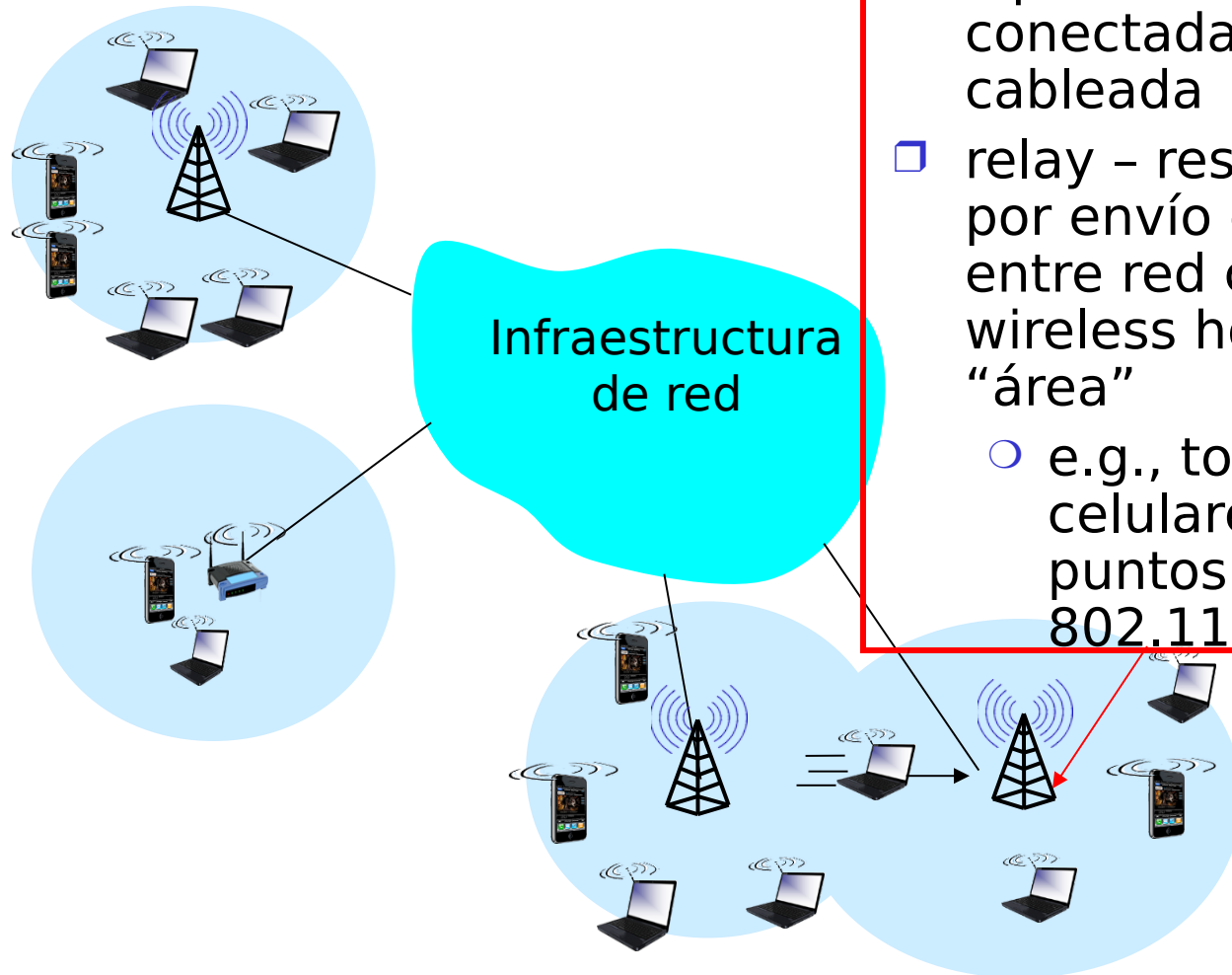
### Movilidad

- ❑ 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

# Elementos de una red inalámbrica



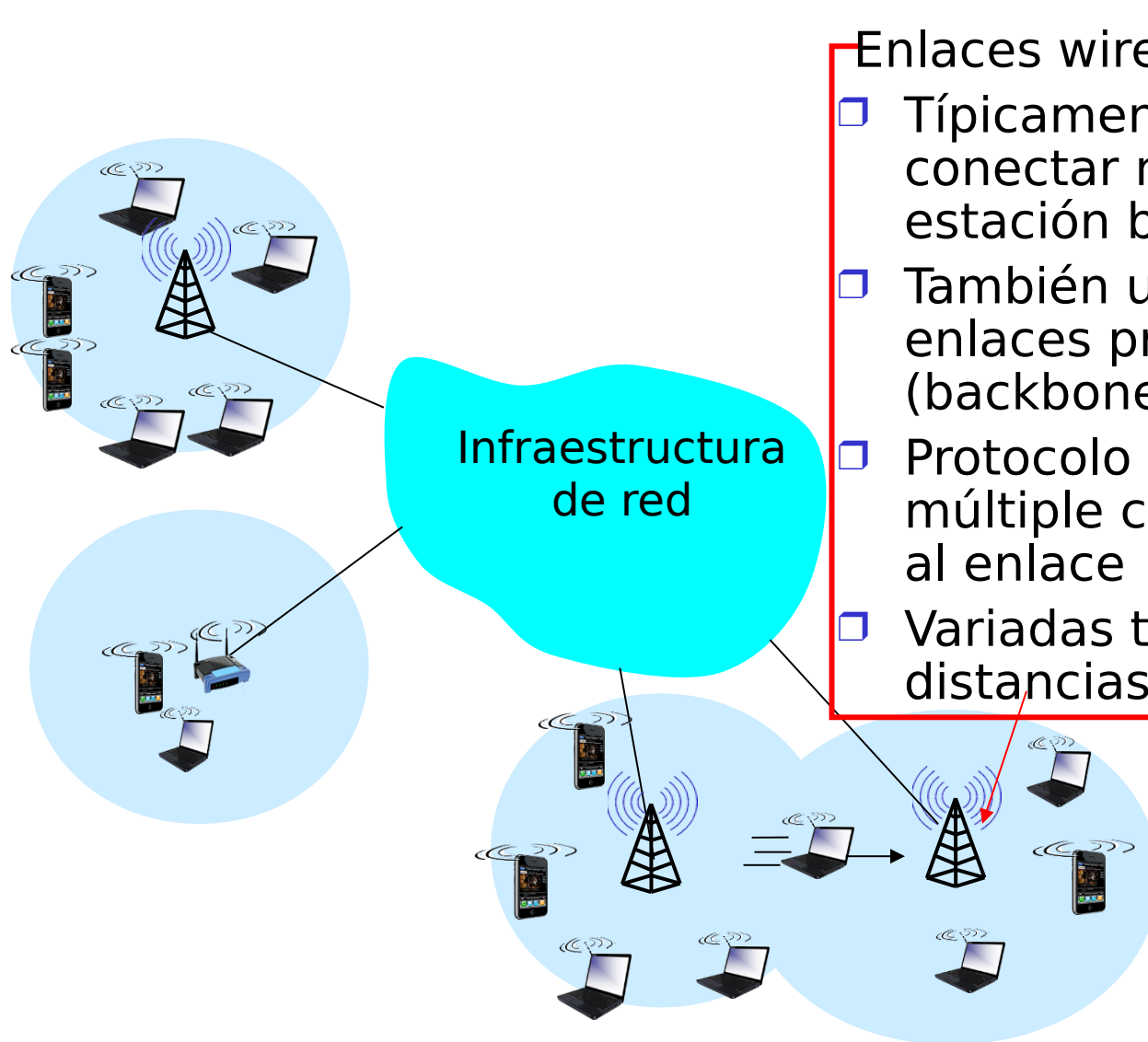
# Elementos de una red inalámbrica



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

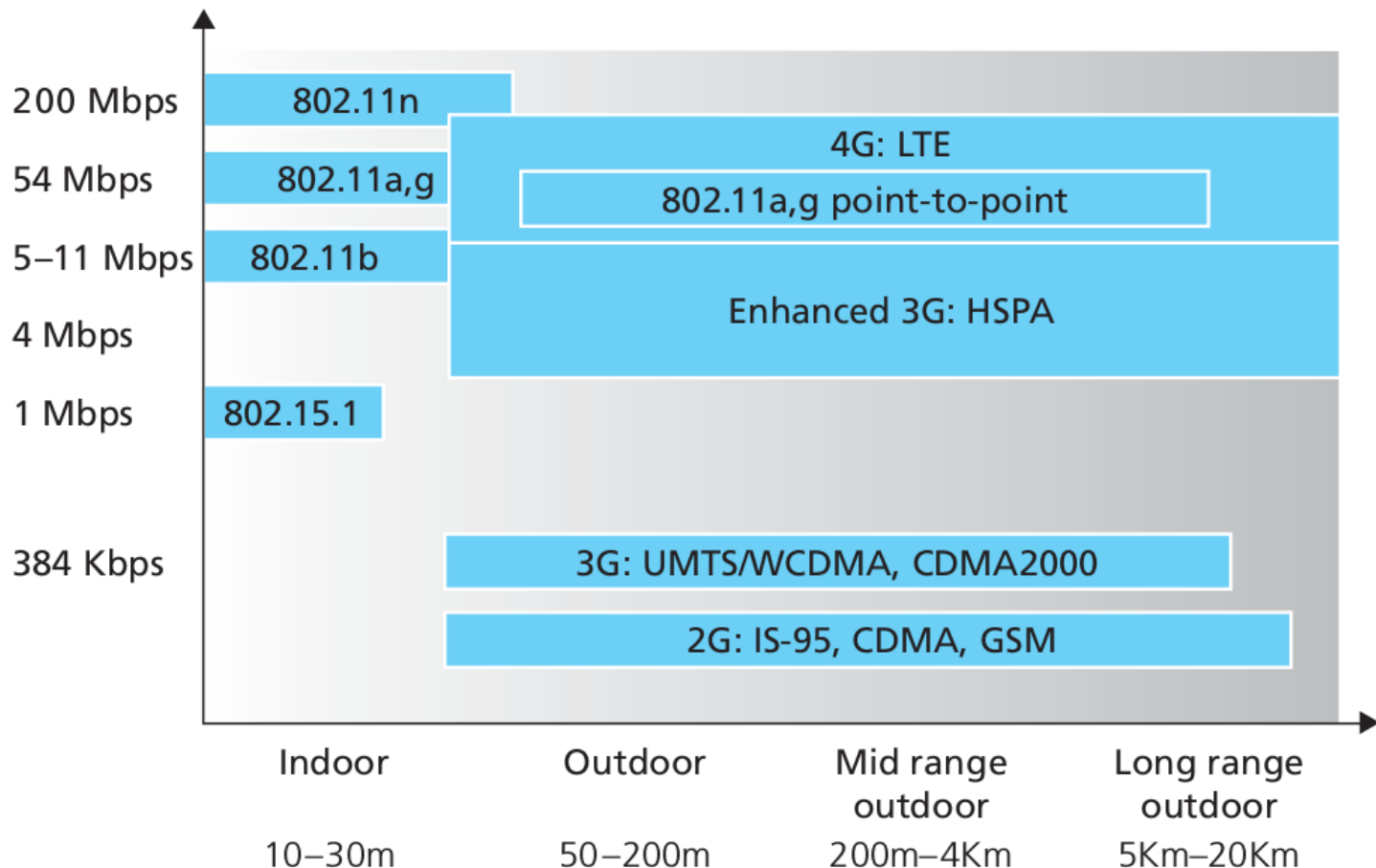
# Elementos de una red inalámbrica



## Enlaces wireless

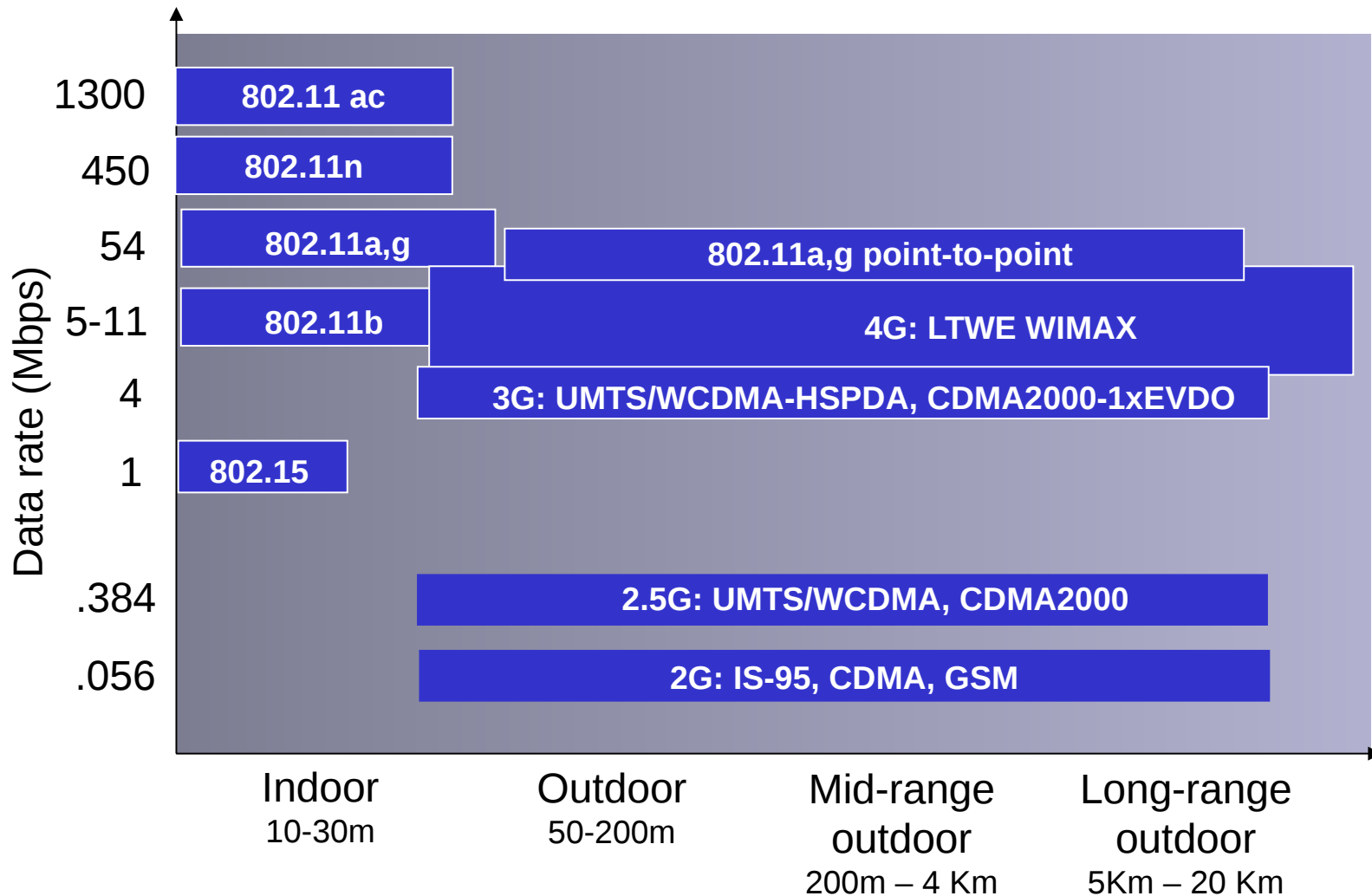
- Típicamente usados para conectar móvil(es) a estación base
- También usados como enlaces principales (backbone)
- Protocolo de acceso múltiple coordina acceso al enlace
- Variadas tasa y distancias de transmisión

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



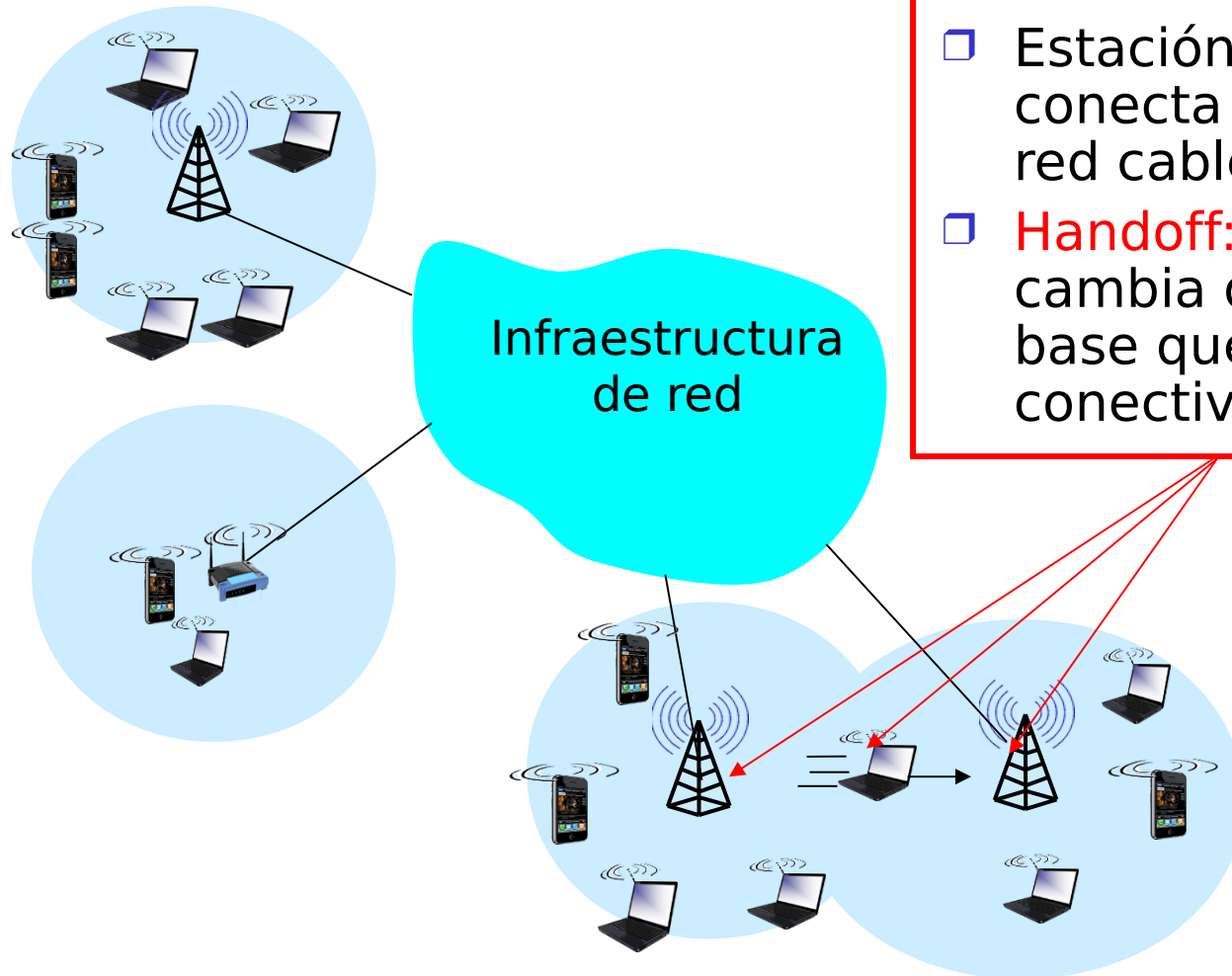
**Figure 6.2** ♦ Link characteristics of selected wireless network standards

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





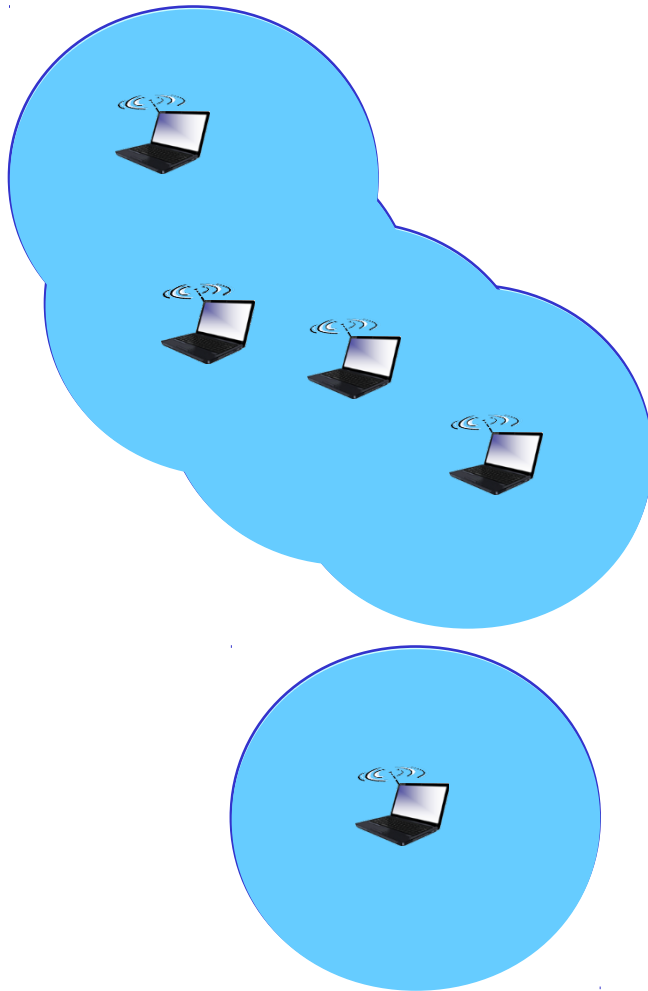
# Elementos de una red inalámbrica



## 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 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

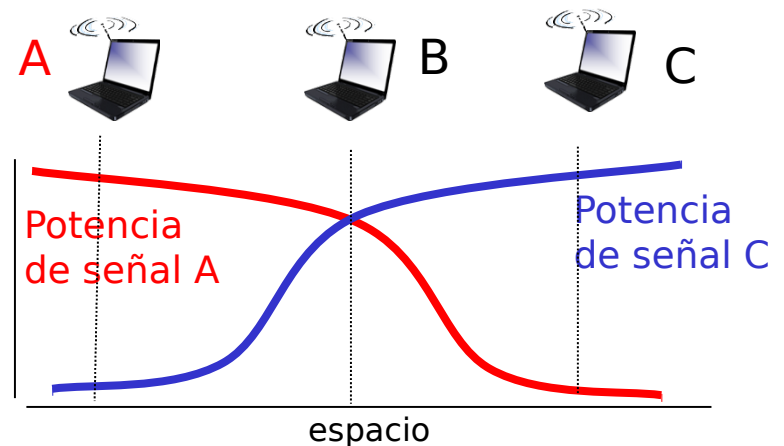
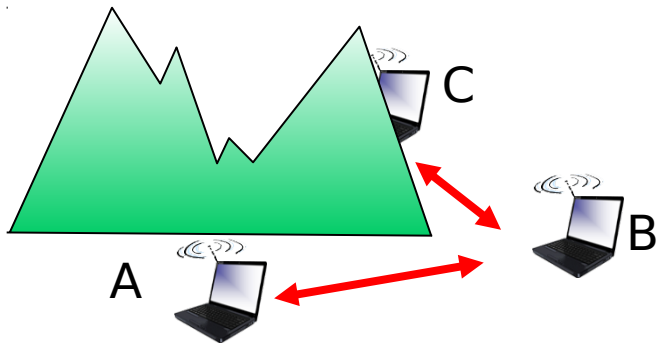
# Características de los enlaces inalámbricos

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:

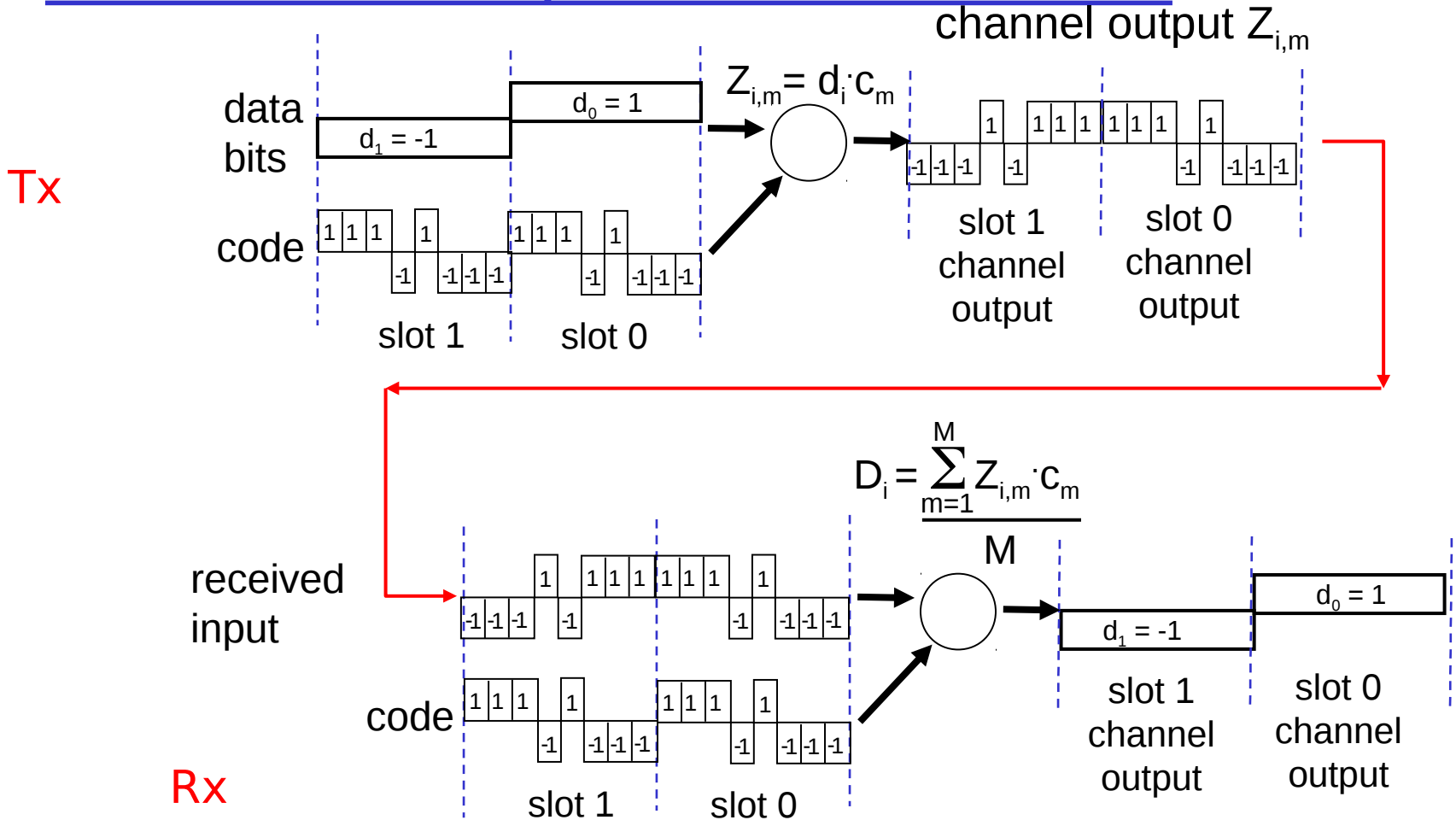
- B, A se escuchan
- B, C se escuchan
- A, C no se escuchan e interfieren en B

# 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.)

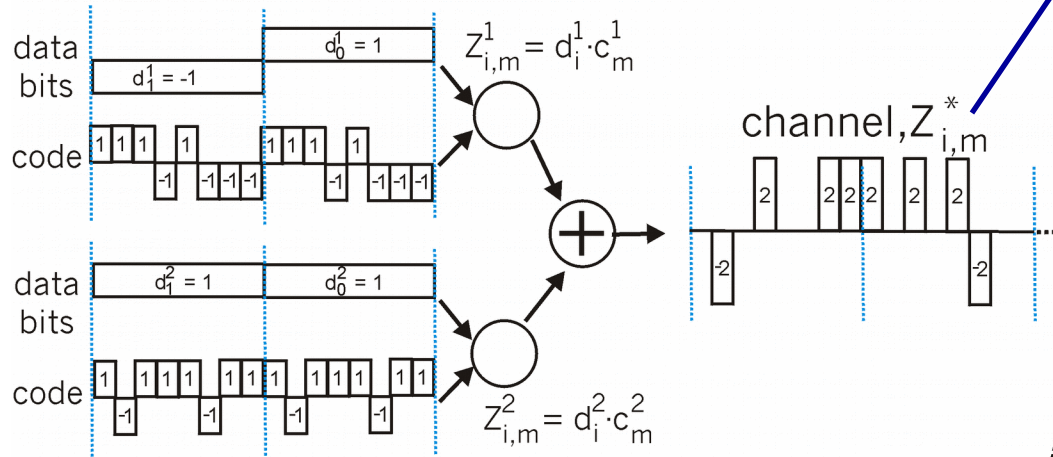
# CDMA

## Codificación/Decodificación

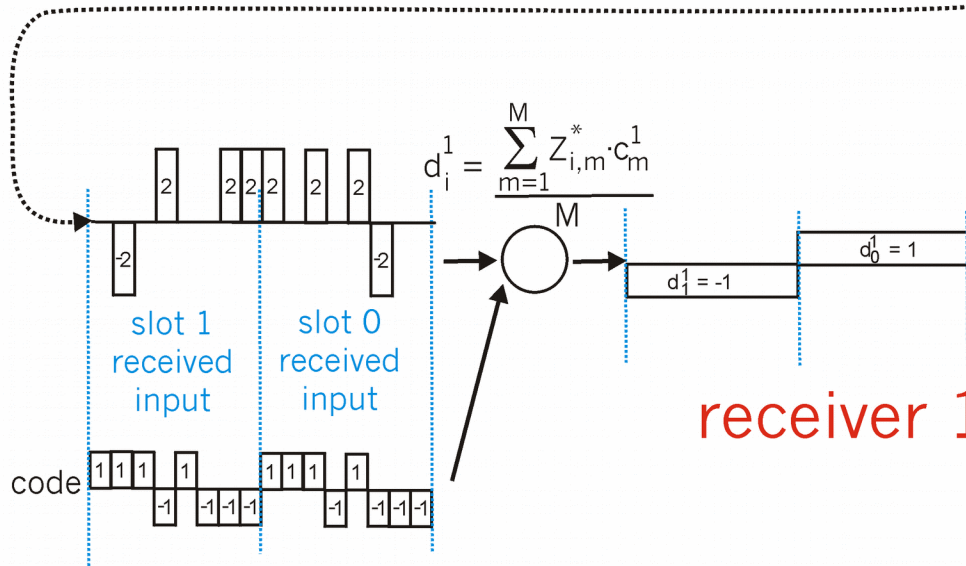
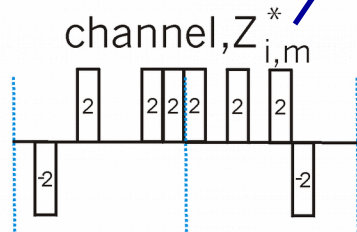


# CDMA: interferencia de dos-Txs

senders



Canal suma transmisiones de transmisor 1 y 2



Usando el mismo código del transmisor 1, receptor 1 recupera datos de trans. 1 desde el canal sumado!

# 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)

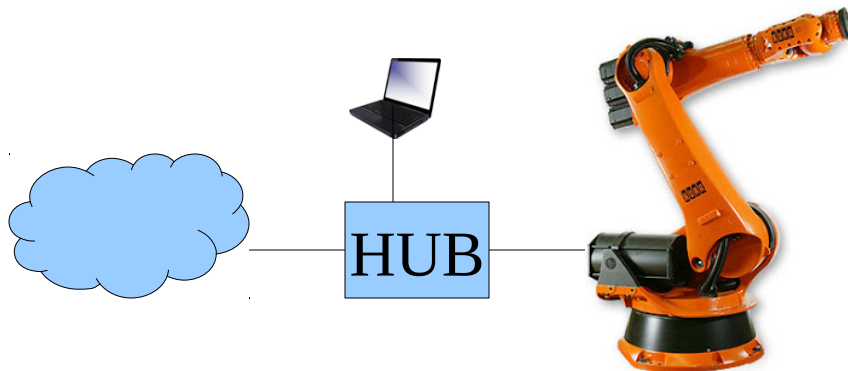
Algunas implementaciones de ARP actualizan la asociación IP-MAC cuando se recibe un mensaje de respuesta ARP aún cuando no se haya difundido una consulta ARP. Muestre cómo esta debilidad puede ser explotada para hacer pasar por una máquina intermedia el tráfico que se desea enviar al router.



- ❑ 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 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 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.

Fin Revisión ... 802.3

# 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

# 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

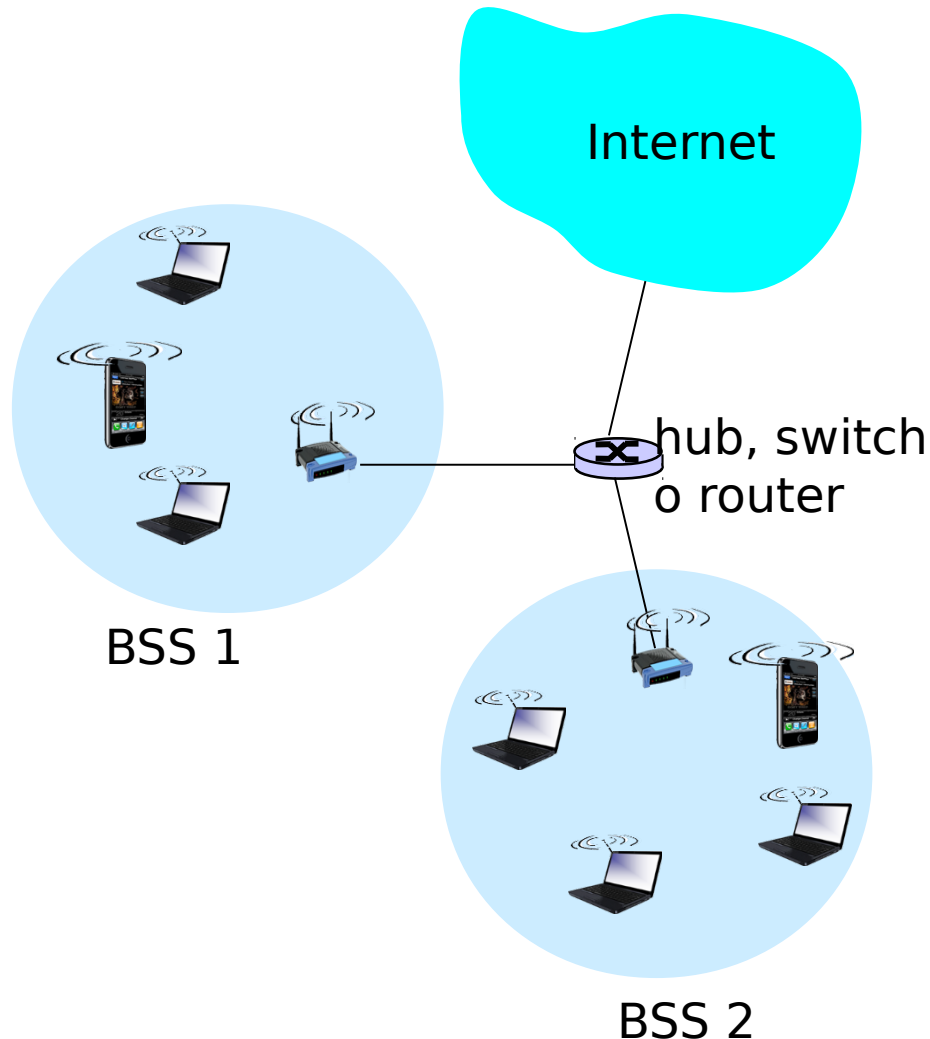
- Antenas múltiples
- Rango 2.4-2.5 GHz
- Hasta 200 Mbps

## □ 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: 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!

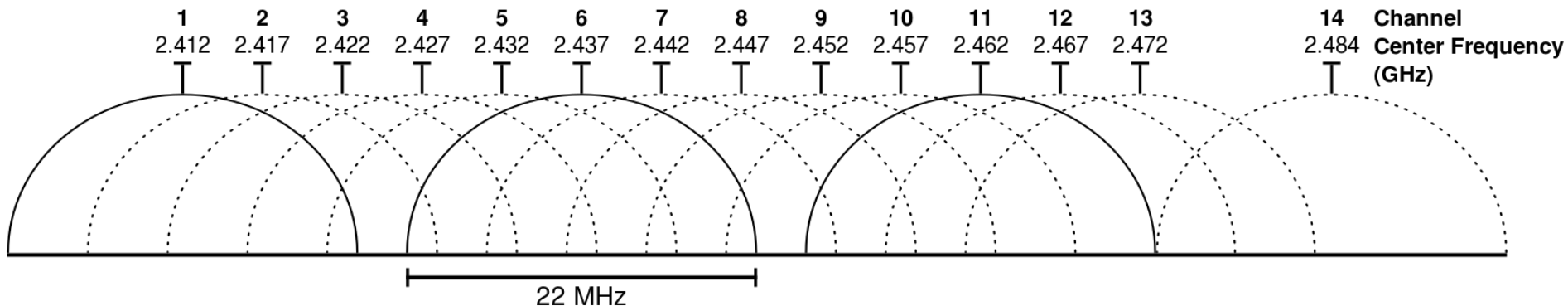


Image by Michael Gauthier, Wireless Networking in the Developing World

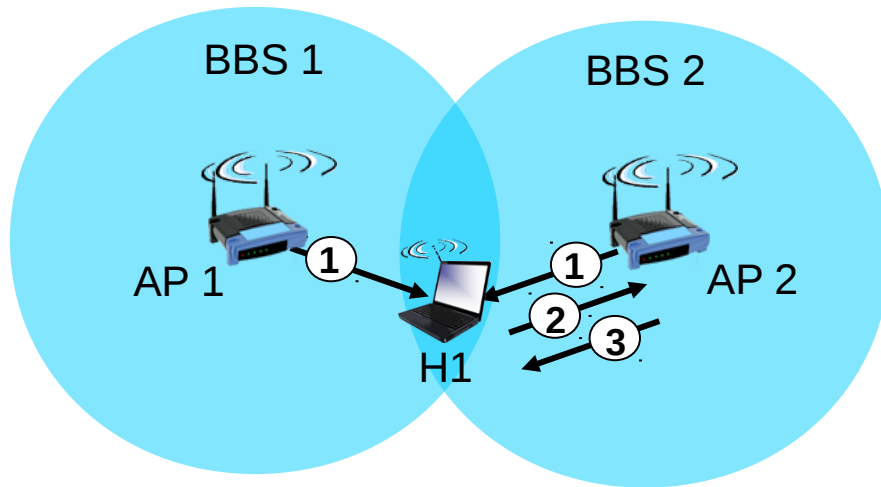


# 802.11: Canales, asociación

- 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

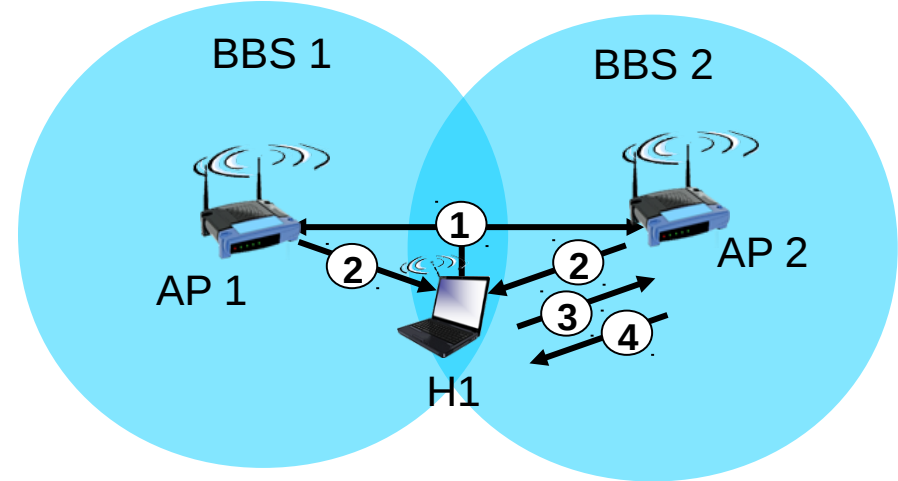
SSID: Service Set IDentification

# 802.11: Exploración 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

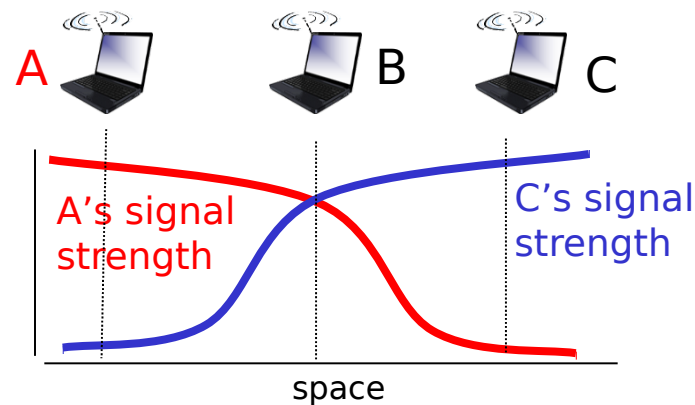
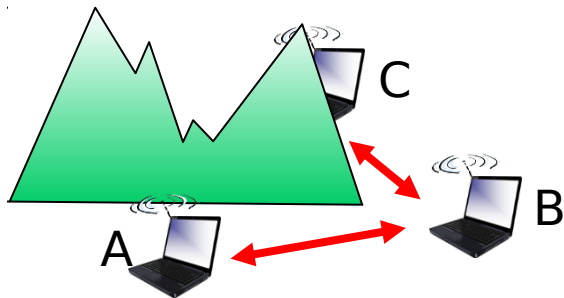


## Exploración Activa:

- (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

# 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

1 si sensa canal libre por **DIFS** entonces transmite trama entera (no CD)

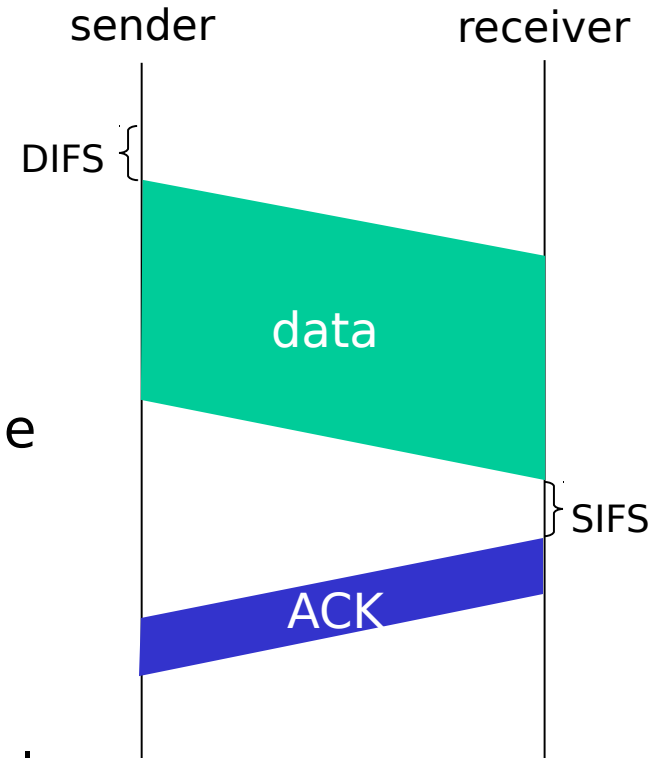
2 si sensa canal ocupado entonces

- 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)



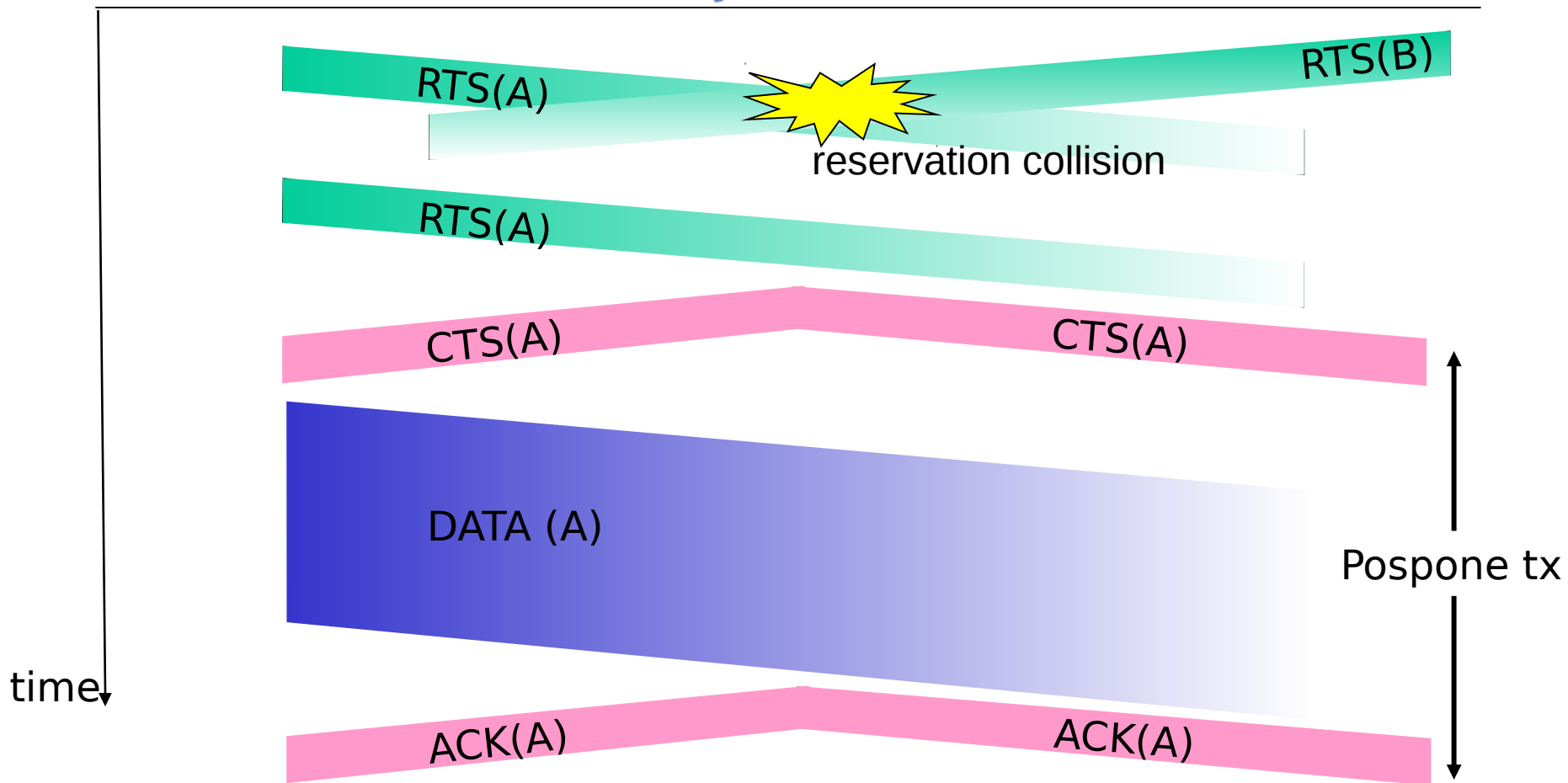
# Abolición de colisiones (cont.)

*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!

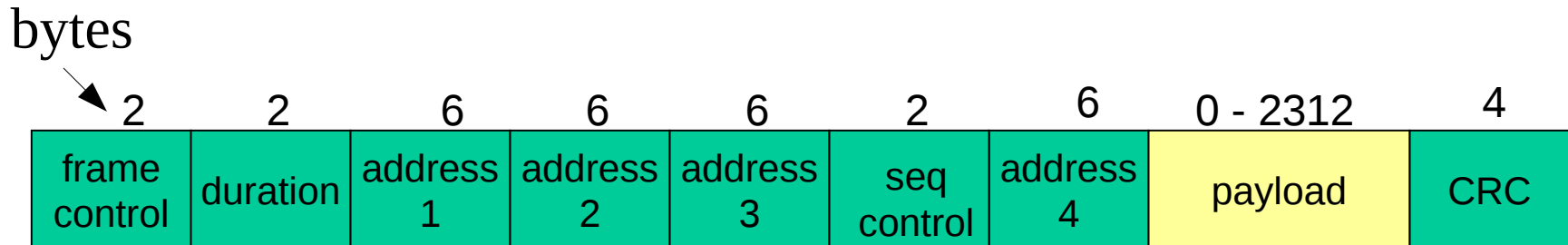
# Abolición de Colisiones: RTS-CTS



# • ¿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 receptor de trama (host wireless o AP)

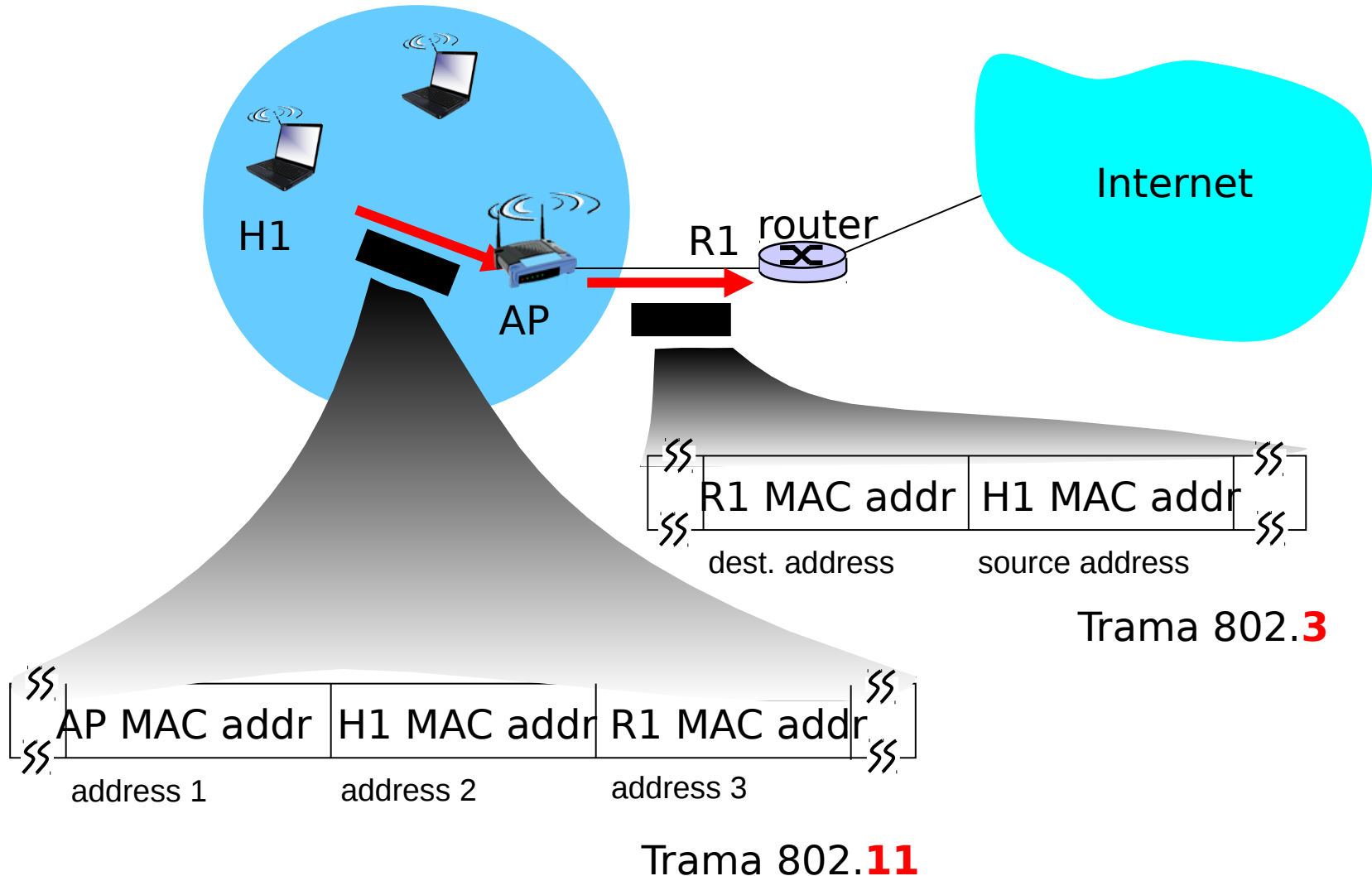
**Address 2:** dir. MAC del transmisor de trama (host wireless o AP)

**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?

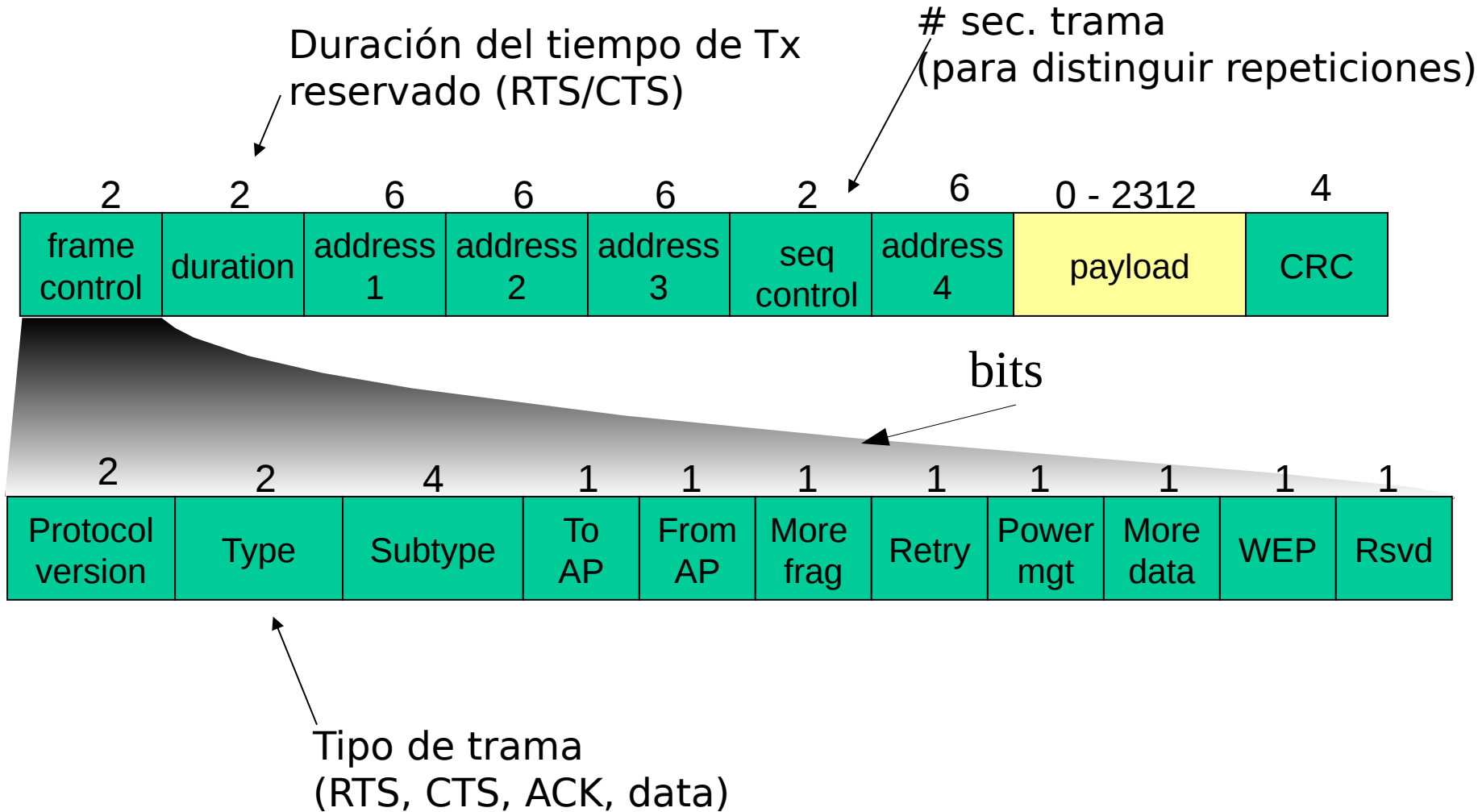
**Address 4:** usada sólo en modo ad hoc



# Trama 802.11: direccionamiento

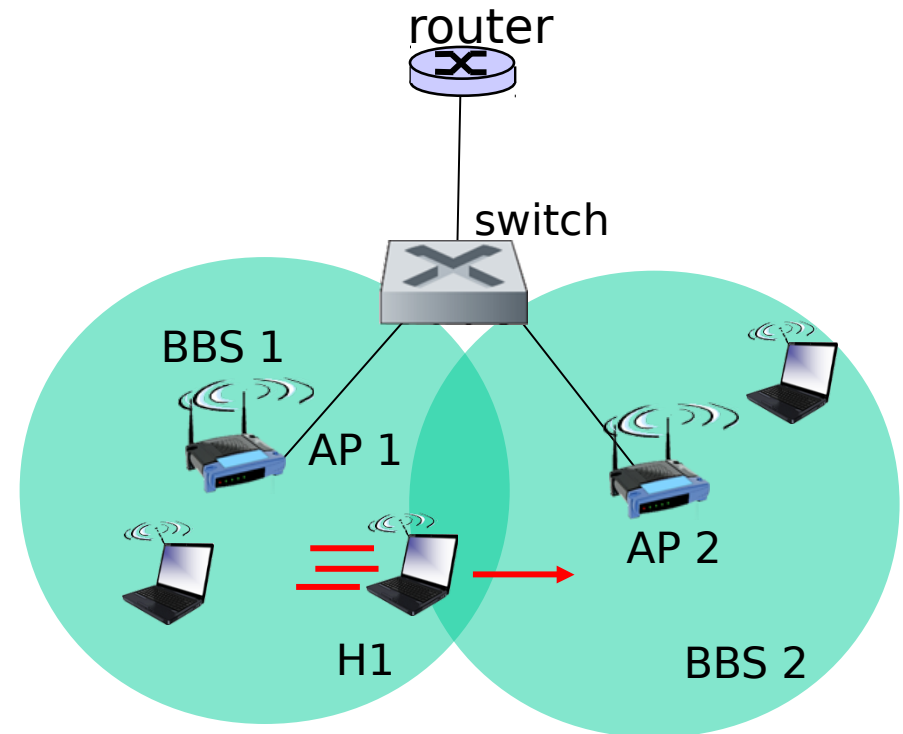


# Trama 802.11: cont.



# 802.11: movilidad dentro de la misma subred

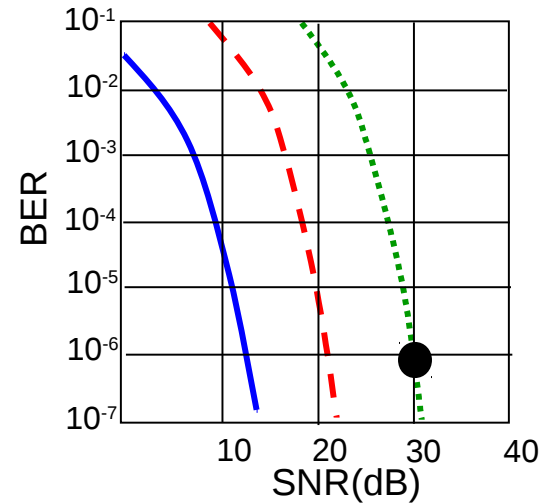
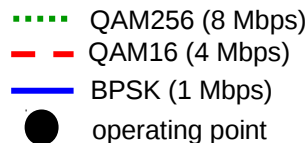
- H1 permanece en la misma subred IP: dir IP se mantiene igual
- switch: qué AP está asociado con H1?
  - Auto-aprendizaje (Ch. 5): switch verá tramas de H1 y recuerda qué puerta del switch es usada para llegar a H1
- Cuando H1 se asocia a AP2, el switch aprende nueva ubicación de H1



# 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

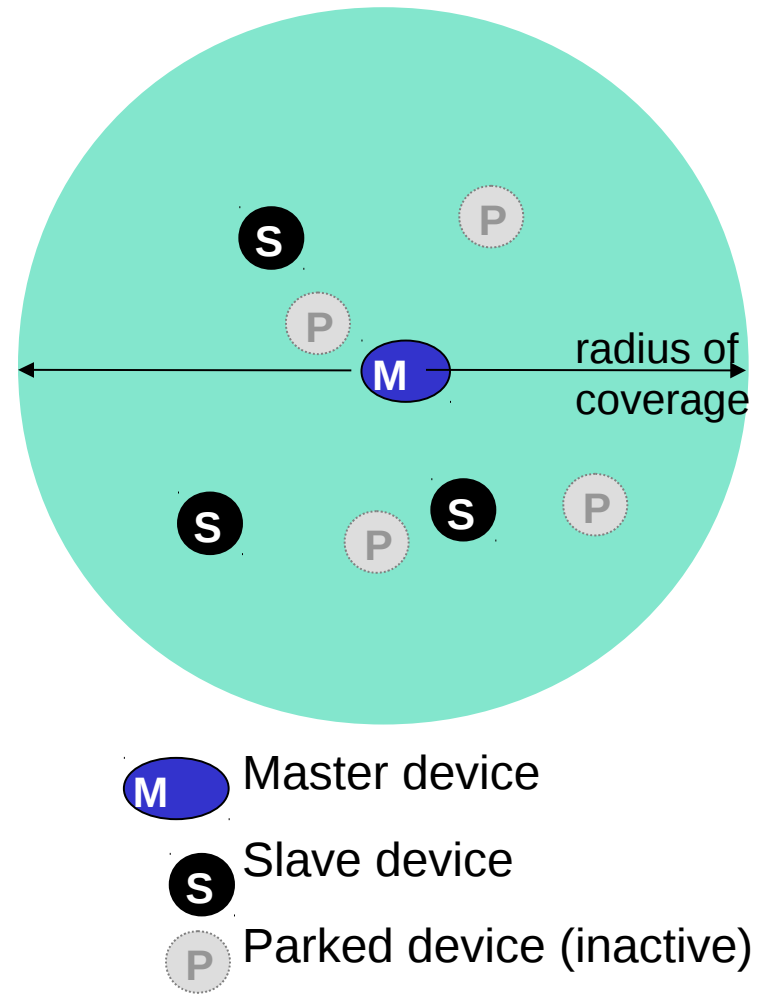
# 802.11: Capacidades avanzadas

## *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 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



# 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

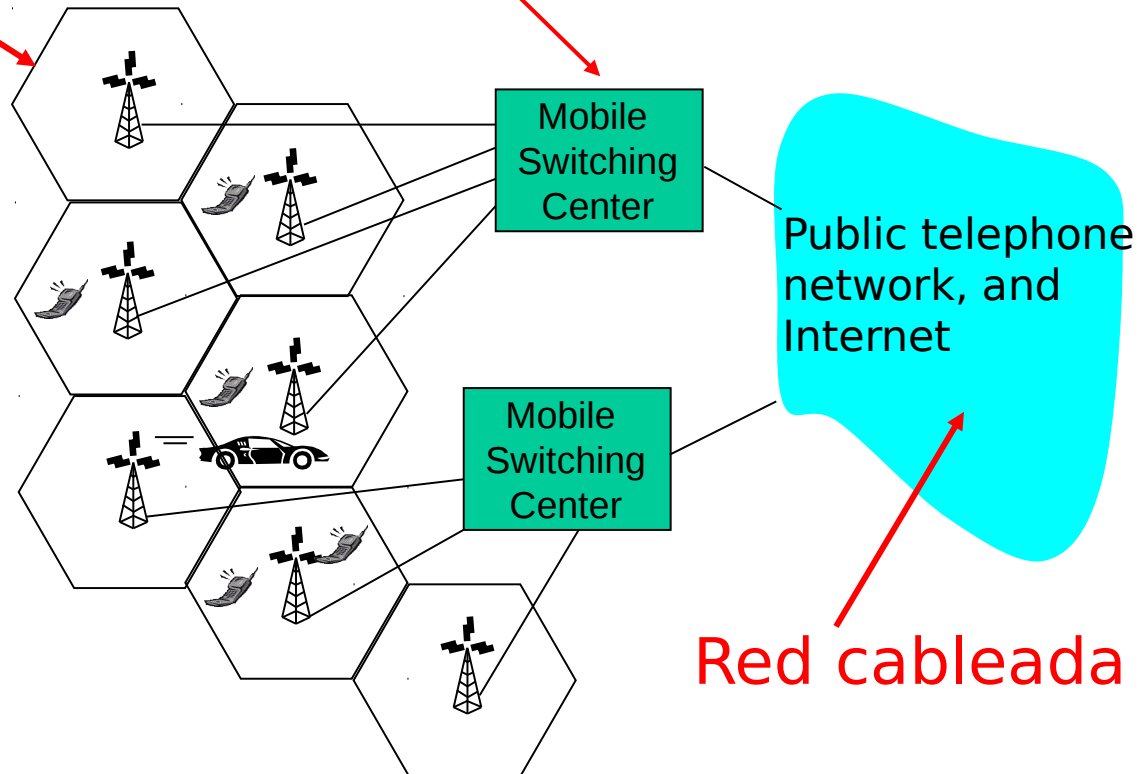
# Componentes de arquitectura de red Celular

## 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!)

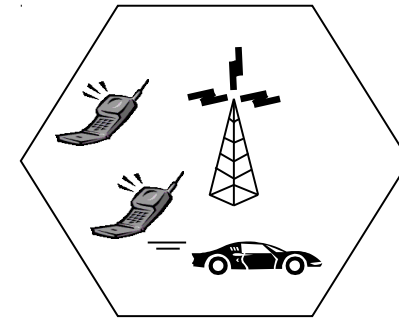




# Redes Celulares: El primer salto

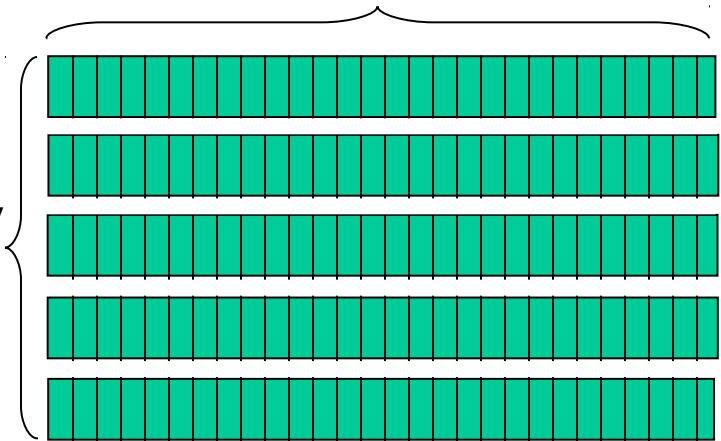
Dos técnicas para compartir espectro de radio entre móvil y BTS (base transceiver station o antena)

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



time slots

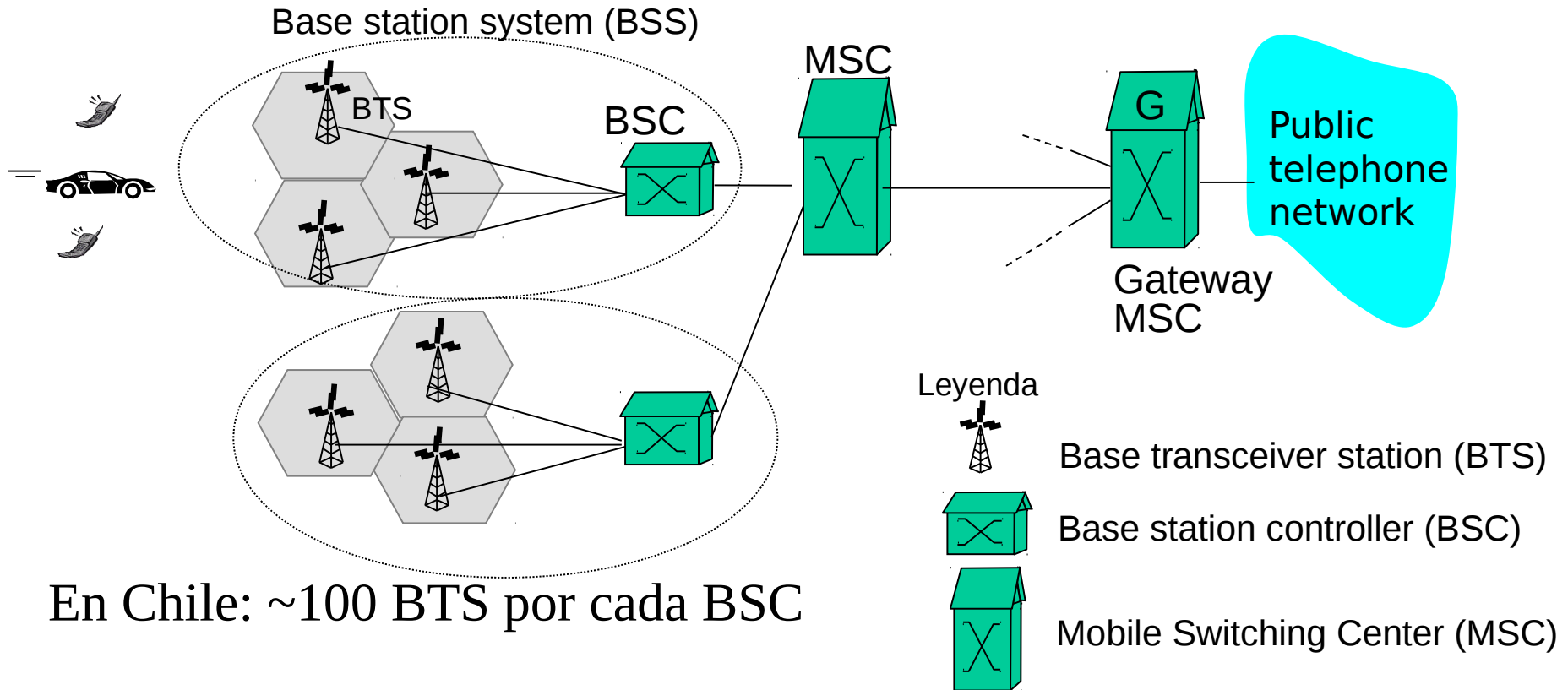
frequency bands




## Estándar Celulares: 1 G y 2G

- ❑ **Sistema 1G:** Sistema **análogo** sólo voz.
- ❑ **Sistemas 2G :** canales de **voz digital**,  
datos -texto SMS

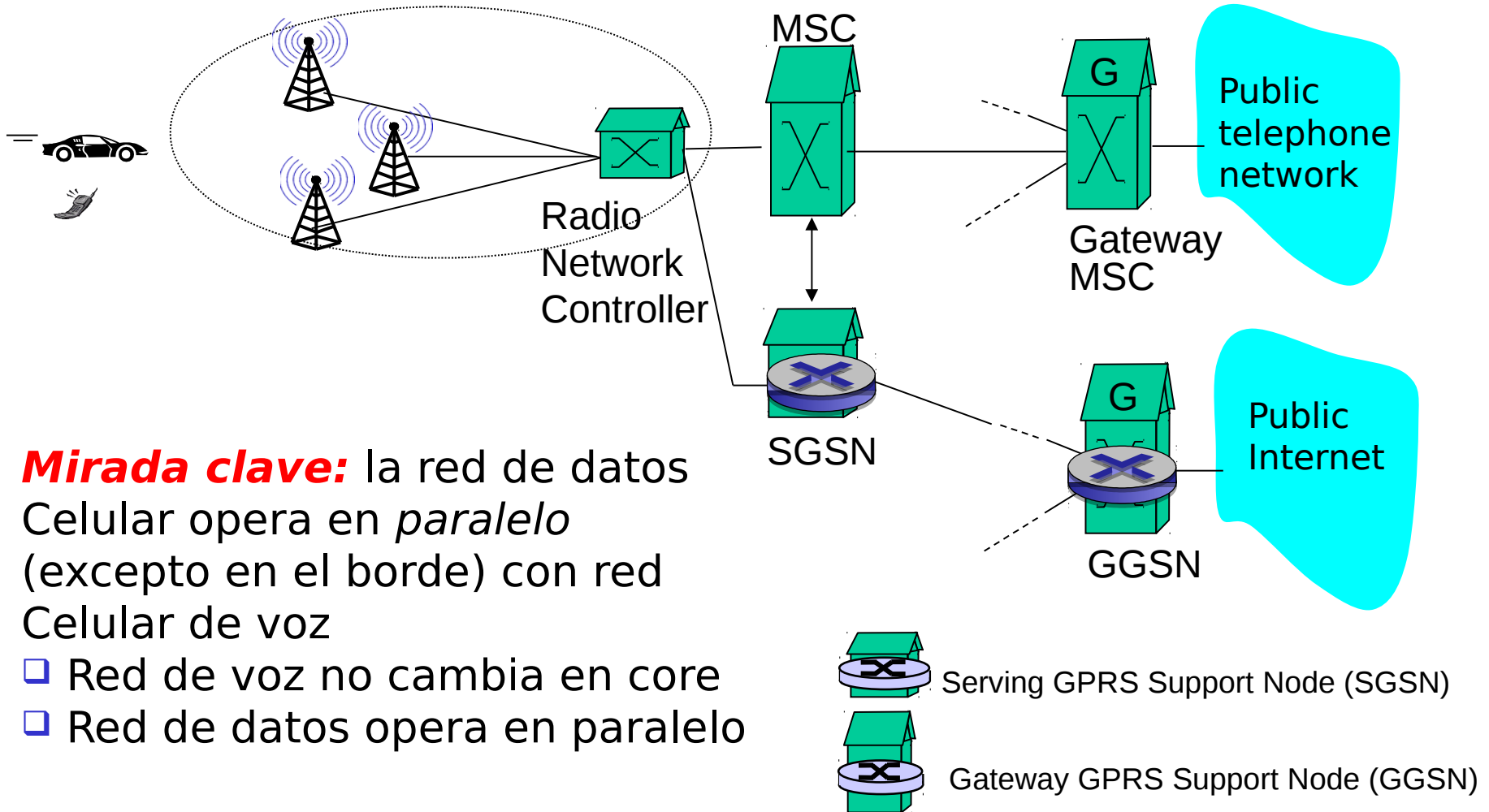
# 2G (voz) arquitectura de la red



En Chile: ~100 BTS por cada BSC

Chile: hay 7 MSS (MSC-Server). Para Santiago =  Subscriptores móviles tenemos 3 MSS, para regiones 4 MSS. Con tecnologías actuales todo el tráfico puede ser soportado por solo 2 MSS (Caso Movistar 2013).

# 3G (voz + datos) arquitectura de red



# Arquitectura 3G

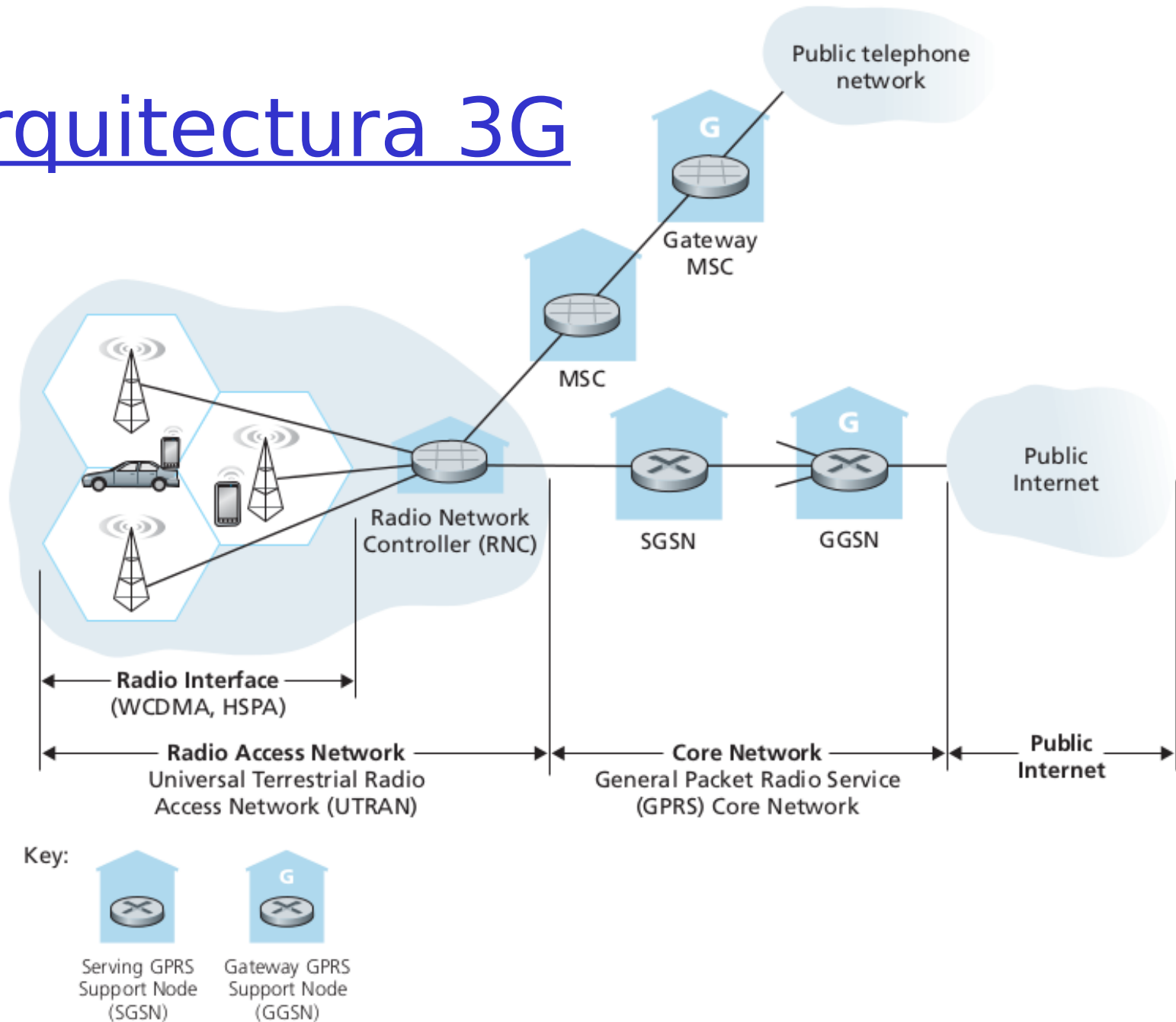
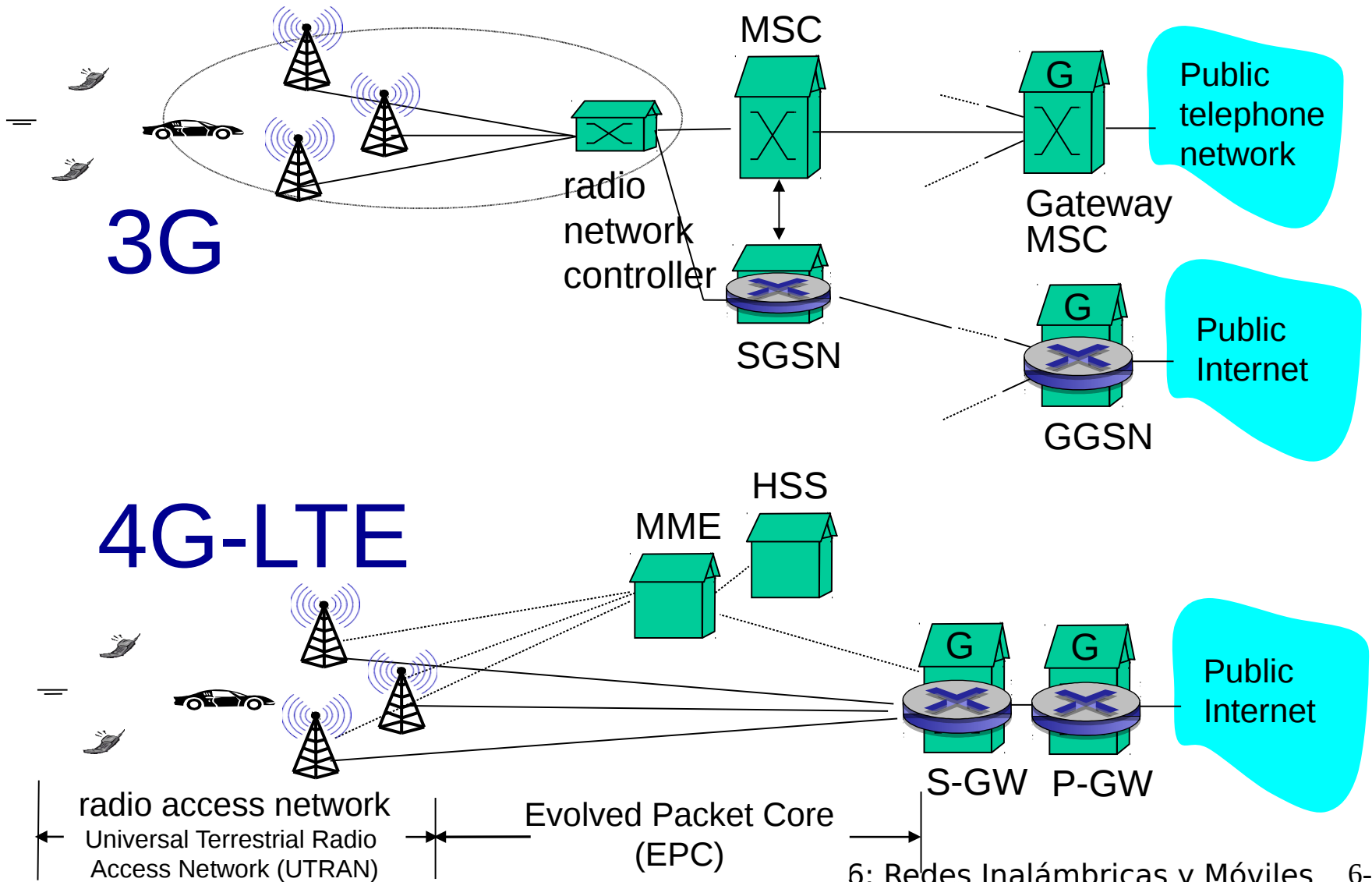


Figure 6.19 ♦ 3G system architecture

# Arquitectura de red 3G versus 4G LTE



# 4G: Diferencias con 3G

- Red interna toda IP: paquetes IP son transportados vía un túnel (en red interna IP) desde la estación base al gateway
- No hay separación entre voz y datos - todo el tráfico es llevado sobre red IP hasta gateway

