

DISEÑO Y ADMINISTRACIÓN DE REDES

Área de Ingeniería Telemática

Grado en Ingeniería Informática
Cuarto curso. Primer Cuatrimestre.



**Departamento de
Ingeniería Electrónica
y Comunicaciones**
Universidad Zaragoza

Bloque 4. Tecnologías de acceso inalámbricas.

Área de Ingeniería Telemática

Bloque 4. Tecnologías de acceso inalámbricas.

- Particularidades del acceso inalámbrico. Impacto de la movilidad (acceso fijo vs acceso móvil).
- Características generales. Estándares. Arquitectura funcional de la red de acceso y topologías de red. Mecanismos de acceso al medio. Tecnología IP en la red de acceso.
- *Redes de área local inalámbricas (WLAN). Redes IEEE 802.11.*

Bloque 4. Tecnologías de acceso inalámbricas.

- **Particularidades del acceso inalámbrico. Impacto de la movilidad (acceso fijo vs acceso móvil).**
- Características generales. Estándares. Arquitectura funcional de la red de acceso y topologías de red. Mecanismos de acceso al medio. Tecnología IP en la red de acceso.
- *Redes de área local inalámbricas (WLAN). Redes IEEE 802.11.*

Tecnologías de Acceso Radio o Inalámbricas

- Se caracterizan porque el medio de transmisión utilizado es el **medio radioeléctrico**.
 - **Recurso escaso y compartido**, sujeto a perturbaciones específicas que requieren el desarrollo de técnicas de transmisión y compartición específicas.
 - No es posible conseguir cualquier tasa de transmisión a cualquier distancia o con cualquier velocidad de desplazamiento de los terminales.
- No existe una única tecnología capaz de dar una respuesta óptima en cualquier escenario de uso. ⇒ Existe una **gran variedad de tecnologías diferentes** diseñadas para dar una **respuesta optimizada a las demandas de los usuarios en contextos específicos**.

Bluetooth, Zigbee, ...

WiFi, Wimax, LiFi, ...

GSM, 3G, 3,5G, 4G, 5G, ...

ultrawideBand, ...

beyond XG

En general, las tecnologías existentes son el resultado de conjugar diferentes demandas en términos de:

- Servicios (Audio, vídeo, juegos, correo electrónico, navegación web, servicios basados en localización) y modos de provisión (unicast, multicast, broadcast).
- Ámbitos de aplicación.
- Número de terminales a los que pretende dar servicio y distribución geográfica de los mismos.
- Alcance.
- Movilidad de los usuarios.
- Complejidad y requisitos de infraestructura.

■ Ventajas del acceso inalámbrico frente al cableado:

- Ventajas para el **usuario**: movilidad; no necesidad de cables; posibilidad de acceso en regiones rurales, inhóspitas, o remotas (donde es difícil o imposible tender cable).
- Ventajas para las **operadoras**: menor coste económico y mayor rapidez asociados al despliegue de red.

■ Inconvenientes:

- Menor ancho de banda. Además el espectro es compartido.
- Mayor complejidad tecnológica. Trabaja con un medio donde las condiciones de canal son peores, además varían con el tiempo y con la movilidad de los terminales. Todo esto repercute en el diseño de procedimientos más complejos de gestión que conllevan un mayor coste económico de los equipos.
- Menor seguridad en las comunicaciones.

Bloque 4. Tecnologías de acceso inalámbricas.

- Particularidades del acceso inalámbrico. Impacto de la movilidad (acceso fijo vs acceso móvil).
- **Características generales. Estándares. Arquitectura funcional de la red de acceso y topologías de red. Mecanismos de acceso al medio. Tecnología IP en la red de acceso.**
- *Redes de área local inalámbricas (WLAN). Redes IEEE 802.11.*

■ Clasificación atendiendo a su alcance geográfico

- Redes de área extensa inalámbrica (**WWAN**: Wireless Wide Area Network)
- Redes de área metropolitana inalámbrica (**WMAN**: Wireless Metropolitan Area Network)
- Redes de área local inalámbrica (**WLAN**: Wireless Local Area Network)
- Redes de área personal inalámbrica (**WPAN**: Wireless Personal Area Network)

Redes de área extensa inalámbricas (WWAN)

- Las tecnologías WWAN permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas a través de redes remotas públicas o privadas.
- Entran dentro de esta categoría los **estándares de sistemas celulares**:
 - 2G** → **GSM** (*Global System for Mobile Communication*)
 - 2.5 G** → **GPRS** (*General Packet Radio Service*)
EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM*) es una evolución de GSM/GPRS hacia la 3G.
 - 3G** → **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*)
CDMA2000
 - 3,5G** → **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*)
HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*) } **HSPA**
 - 4G** → **LTE** (*Long Term Evolution*)

■ Clasificación atendiendo a su alcance geográfico (cont)

Redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN)

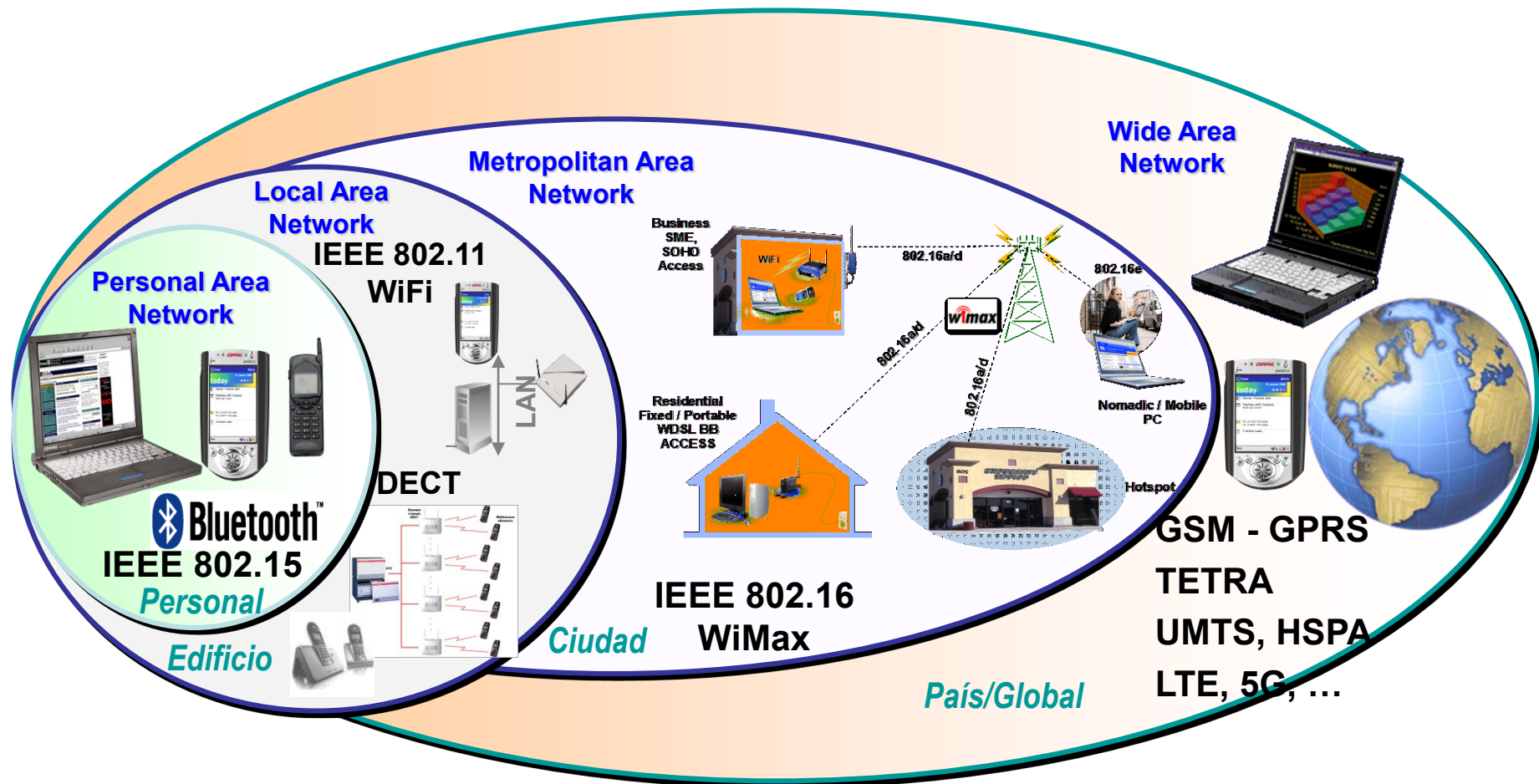
- Con frecuencia se habla de ellas como “bucle local inalámbrico”. El objetivo es cubrir la última milla sin cableado.
 - **MMDS** (*Multichannel Multipoint Distribution Service*)
 - **LMDS** (*Local Multipoint Distribution Service*).
 - **Familia de estándares IEEE 802.16** (*WiMAX fijo o móvil*)

Redes de área local inalámbricas (WLAN)

- Utilizadas como alternativa de las redes de área local cableada o como extensión a éstas, permite movilidad a los terminales.
 - **WiFi. Familia de estándares IEEE 802.11**
 - **HiperLAN**
 - **DECT**

Redes de área personal inalámbricas (WPAN)

- **Bluetooth**
- **HomeRF**
- **ZigBee**
- **UltraWideBand (UWB)**



Otros criterios de clasificación:

- Grado de movilidad/velocidad del terminal: Sistemas fijos/nómadas/móviles



Fijo

Con licencia y sin licencia
Niveles de servicio E1/ T1
& DSL

Empresa
/ Red de
transporte

802.16
HiperMAN

Acceso
residencial

802.16
HiperMAN



Portátil

Con licencia y sin licencia
Niveles de servicio DSL

Basado en
la ubicación

802.11..., xG

Nomadic

802.16e



Móvil

Licencia

Cellular
Wideband

3G, 4G, xG...

Otros criterios de clasificación:

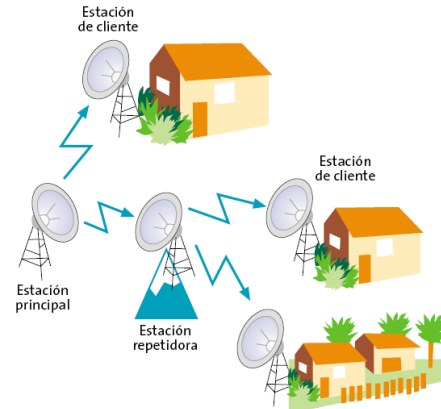
- **Grado de movilidad del terminal: Sistemas fijos/ nómadas/ móviles**
- **Ancho de banda: Banda estrecha/ banda ancha.**

Algunos ejemplos:

Banda estrecha SIN movilidad →

*Sistemas de multiacceso rural
empleados en sistemas telefónicos
para dar servicio en áreas rurales.*

LoraWan:



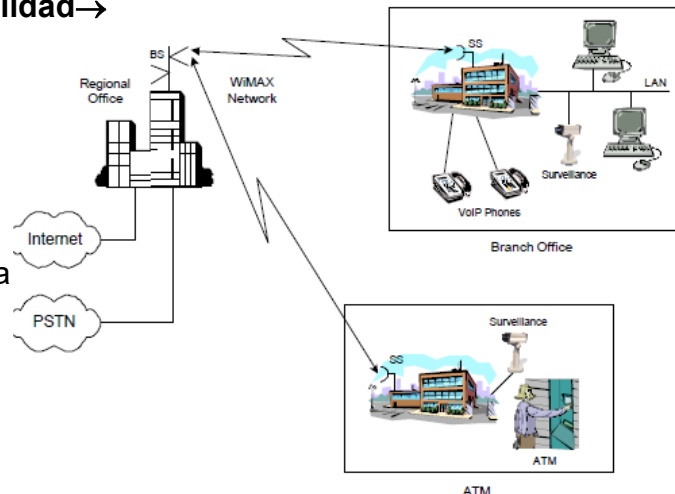
Banda ancha SIN movilidad →

Sistemas como:

LDMS

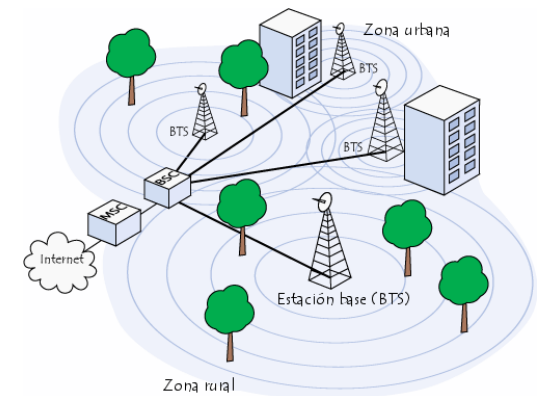
WiMAX fijo

*para cubrir la última milla
sin cableado*



Banda estrecha CON movilidad →

*Sistemas de comunicaciones móviles
GSM, GPRS*



Banda ancha CON movilidad →

Hay una amplia variedad de sistemas con distintos grados de movilidad.

- *Baja movilidad.*
 - *Tecnologías WPAN, WLAN*
- *Movilidad media/alta*
 - *IEEE 802.16e (WiMAX mobile)*
 - *Sistema celulares HSPA, LTE, xG, etc*

■ Organizaciones de estandarización (cont)



- **IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers).** Organización profesional. Tienen gran relevancia las normas 802. Algunos ejemplos:
 - IEEE 802.1– Normalización de interfaz.
 - IEEE 802.2– Control de enlace lógico.
 - IEEE 802.3– CSMA / CD (ETHERNET)
 - IEEE 802.11– Redes inalámbricas WLAN.
 - IEEE 802.15– WPAN (Bluetooth)
 - IEEE 802.16– Redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha (WiMAX)
 - IEEE 802.20– Mobile Broadband Wireless Access.
 - IEEE 802.21– Media Independent Handoff.
 - IEEE 802.22– Wireless Regional Area Network.

■ Organizaciones privadas de certificación

- WiFi alliance
- WiMAX Forum
- Bluetooth
- ZigBee Alliance
- MultiBand OFDM Alliance

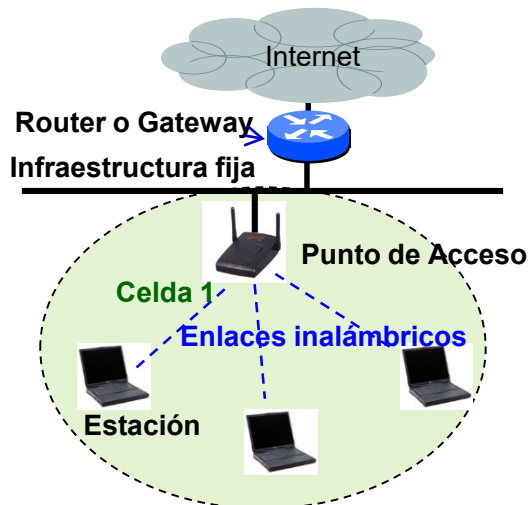


■ Reguladores

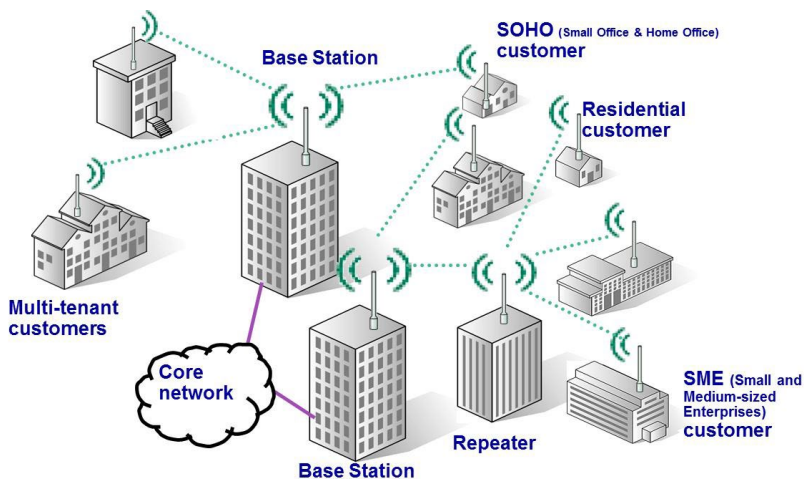
- Autoridades nacionales



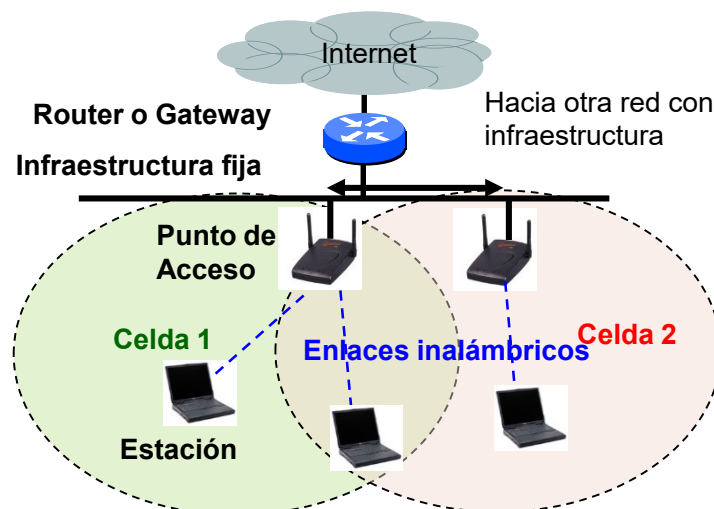
Modo Infraestructura



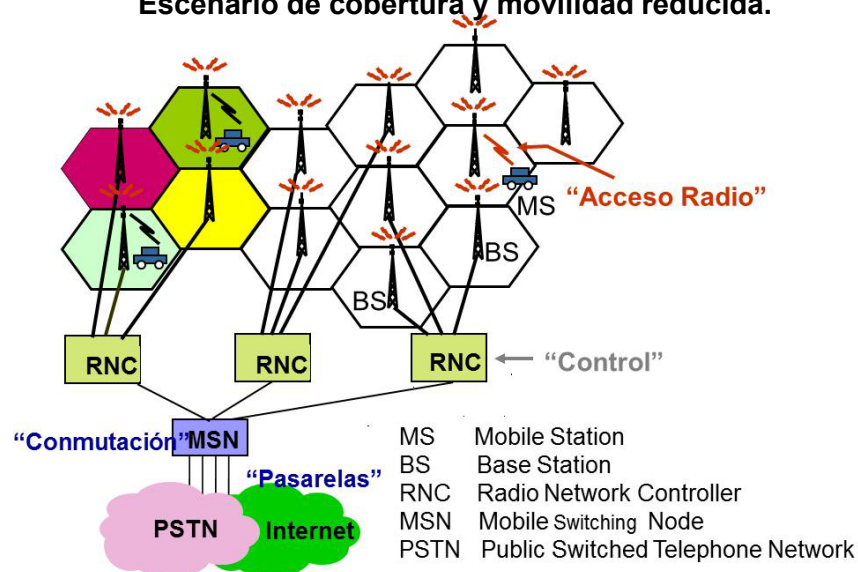
Ejemplo: WiFi. Red Básica de infraestructura (BSS).



Ejemplo: Red punto a multipunto (WMAN). Red de acceso Fija LMDS/WiMAX



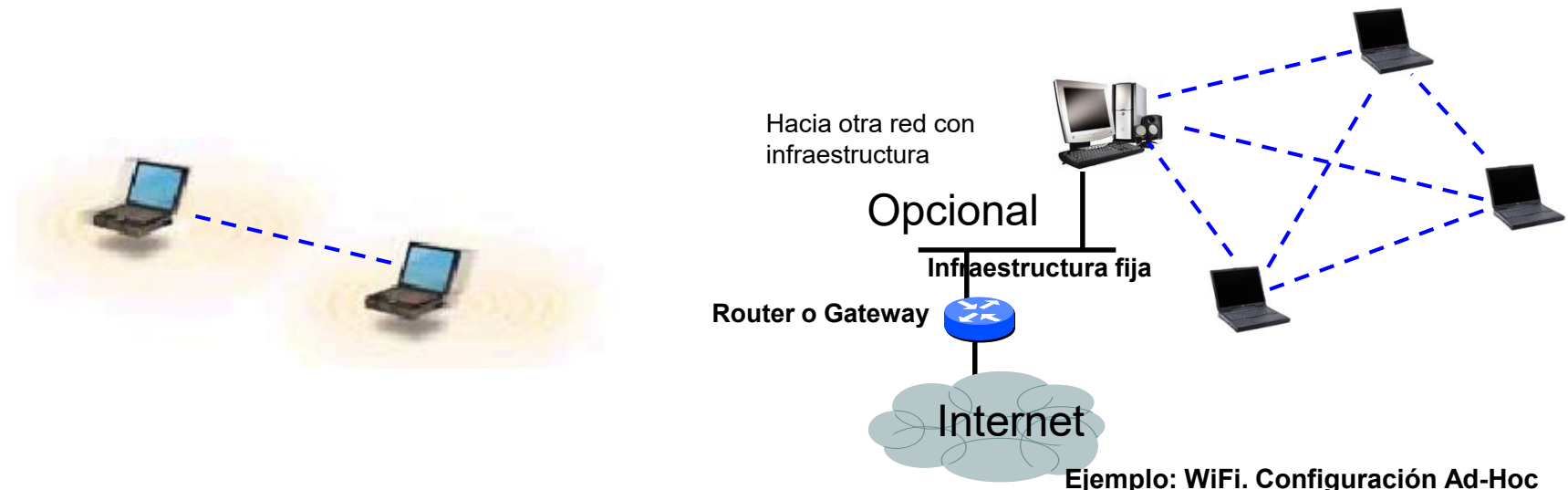
Ejemplo: WiFi. Red Extendida de infraestructura (ESS)
Escenario de cobertura y movilidad reducida.



Ejemplo. WWAN. Estructura típica de una red celular.
Amplia cobertura y movilidad total geográfica

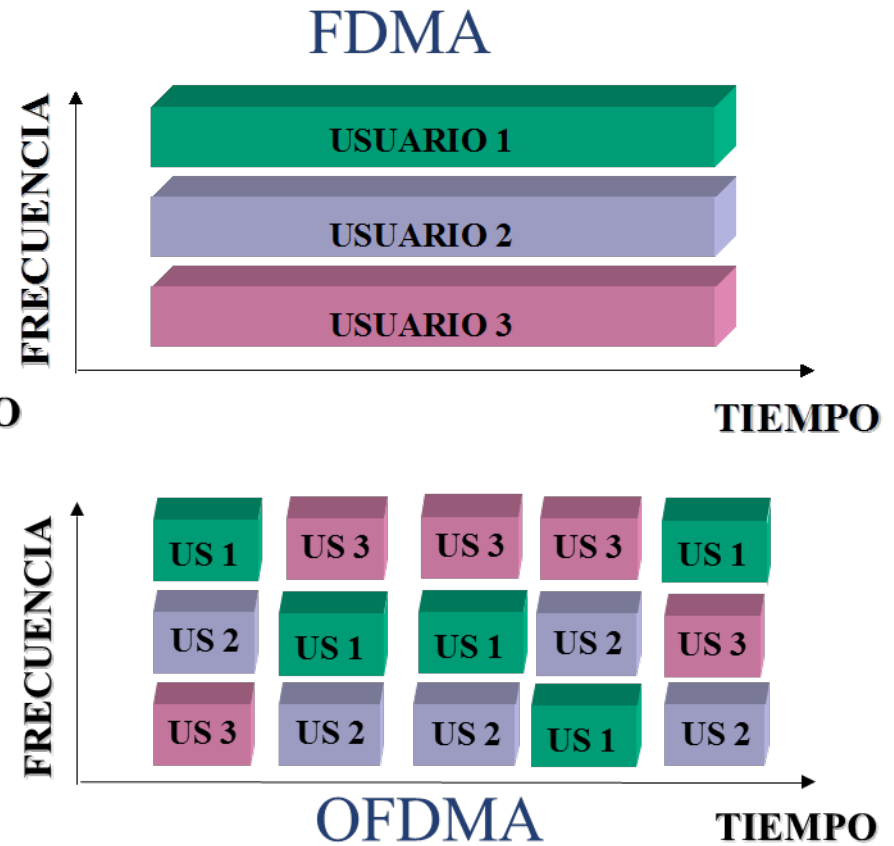
Modo Ad-Hoc

- Los nodos fijos o móviles pueden comunicarse directamente entre ellos. El único requisito deriva del rango de cobertura de la señal, ya que es necesario que los terminales estén dentro de este rango para que la comunicación sea posible.
 - *No hay puntos de acceso o estaciones base. Todos los nodos son de la “misma categoría”.*
 - Es una opción de despliegue en redes WLAN, WPAN, redes de sensores, etc.
 - Aunque la aplicación típica en muchos casos de las tecnologías sea facilitar la comunicación entre dispositivos, éstas pueden ser utilizadas como tecnología de acceso a otras redes de banda ancha o internet. En este caso, mediante la comunicación con un nodo con interfaz con la infraestructura fija de la red.



Separabilidad

- Frecuencia (FDMA)
- Tiempo (TDMA)
- Código (CDMA)
- Tiempo-Frecuencia (OFDMA)



Acceso Múltiple por División en Código (CDMA)

CDMA: Los usuarios comparten la misma frecuencia y el tiempo. Se modula la información mediante códigos ortogonales que producen un ensanchamiento espectral de la señal.

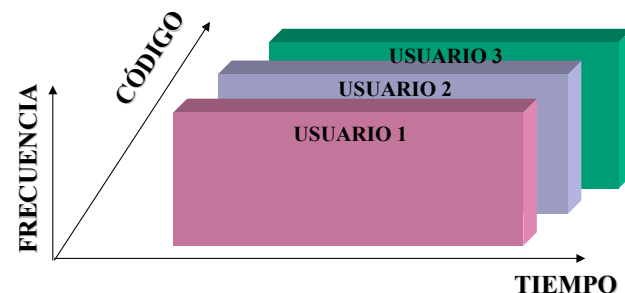
- Técnicas para ensanchar el espectro:

* **FH-SS (Frequency Hopping):**

la portadora cambia de modo pseudoaleatorio.

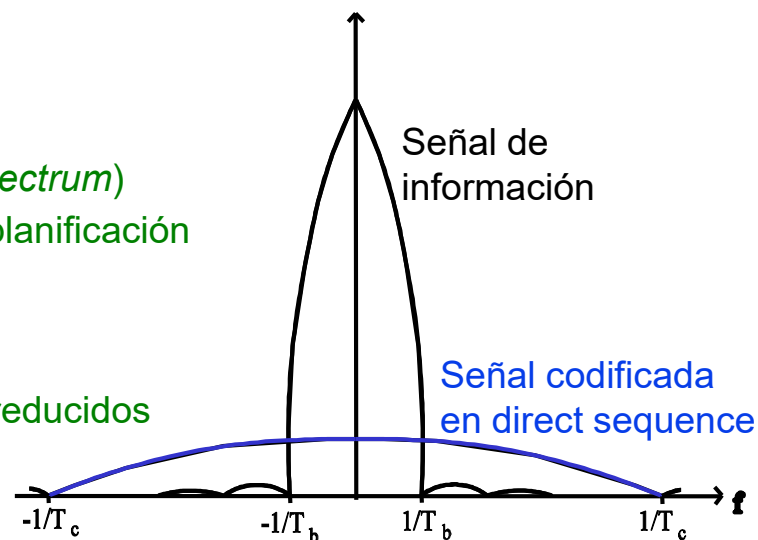
* **DS-SS (Direct Sequence):**

Multiplicar por una secuencia pseudoaleatoria.

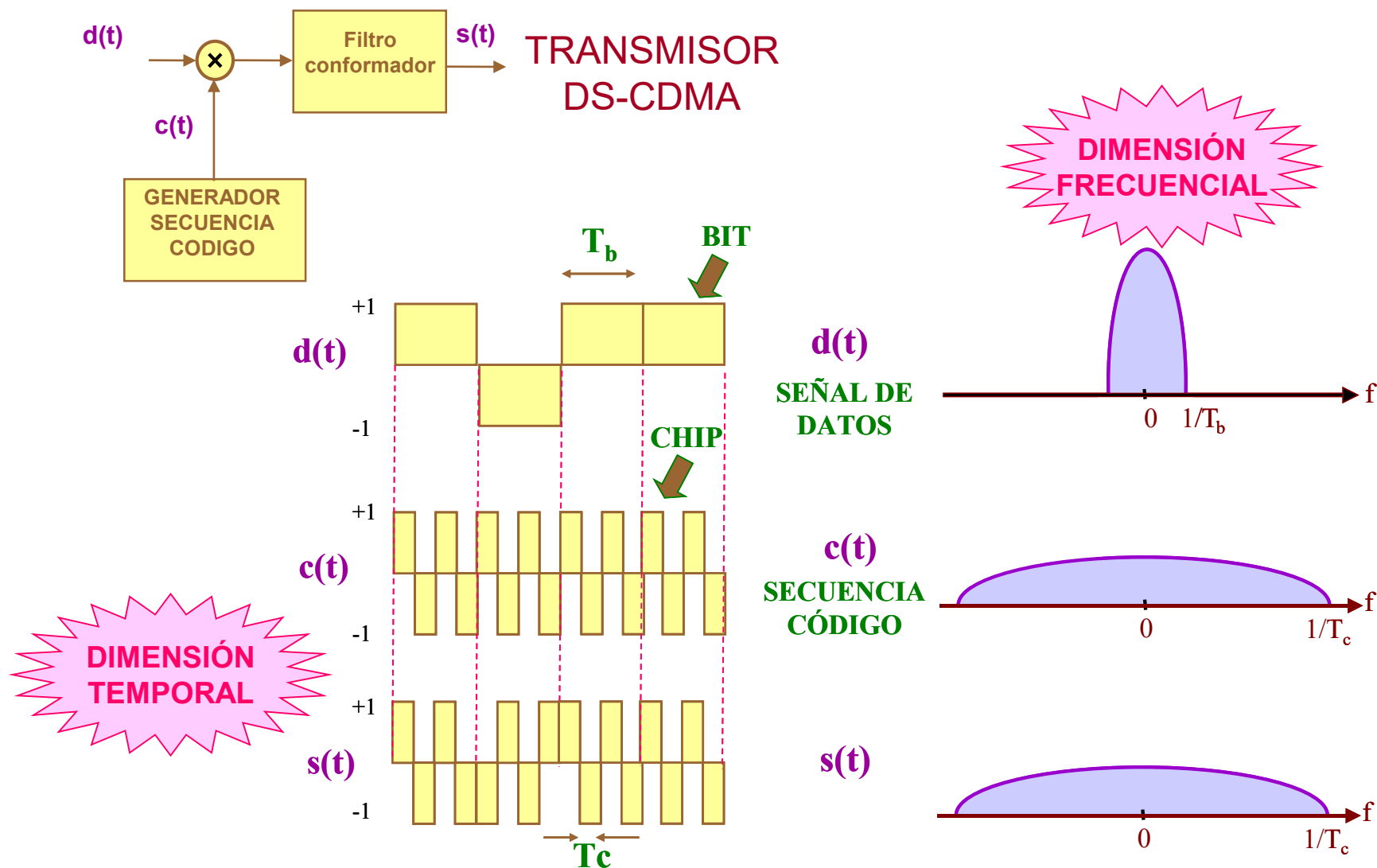


Características:

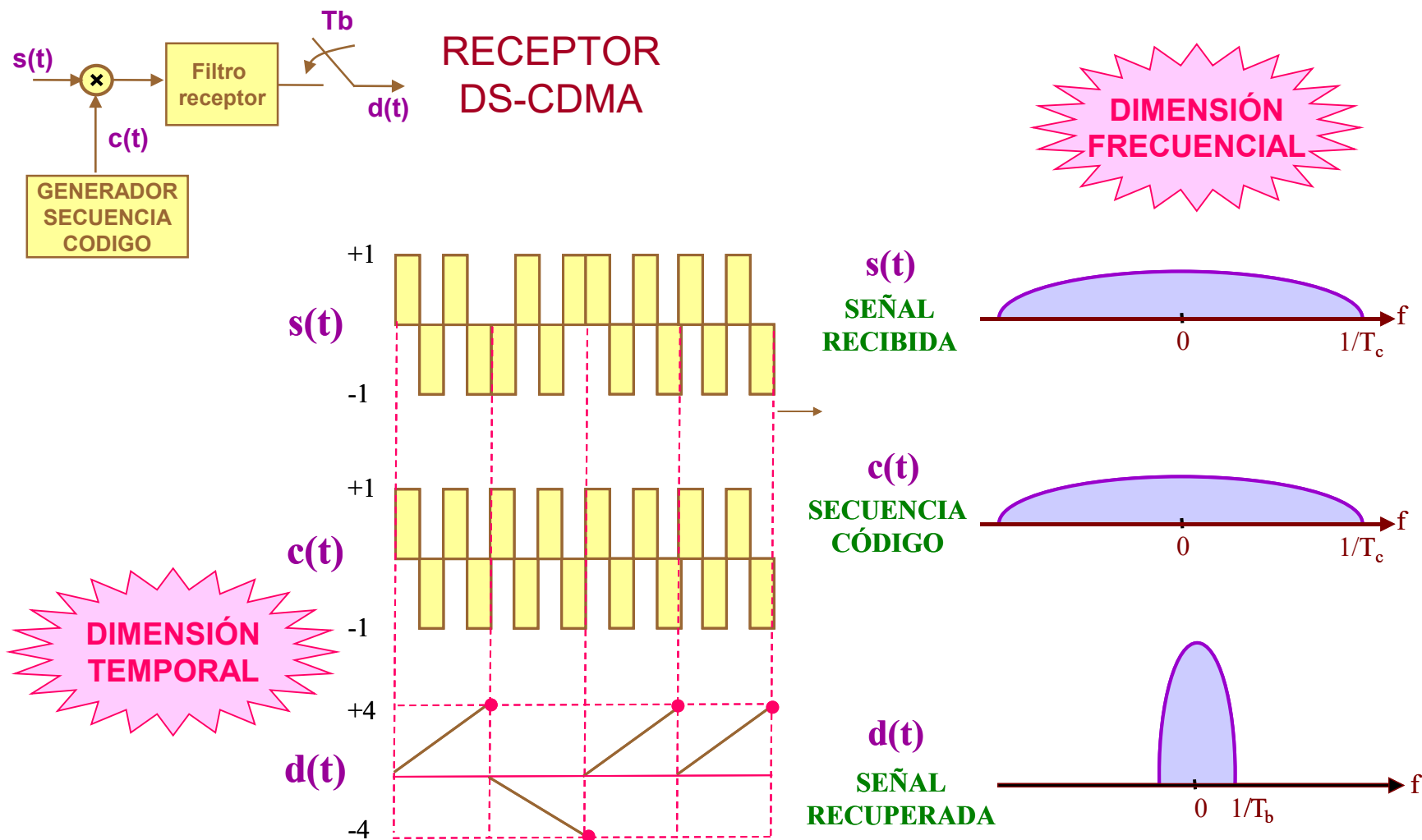
- Gran anchura de banda (espectro ensanchado, *SS: Spread Spectrum*)
- Técnica mejor adaptada al entorno móvil celular. No requiere planificación de frecuencias.
- Necesidad de digitalización de la información.
- Requiere control de la potencia y sincronización.
- Tecnología compleja con elevada integración para terminales reducidos
- Gran capacidad de tráfico.
- Elevada calidad.



CDMA (cont). DS-CDMA (Direct Sequence - CDMA) o DS-SS (DS –Spread Spectrum)



CDMA (cont). DS-CDMA (Direct Sequence - CDMA) o DS-SS (DS - Spread Spectrum)

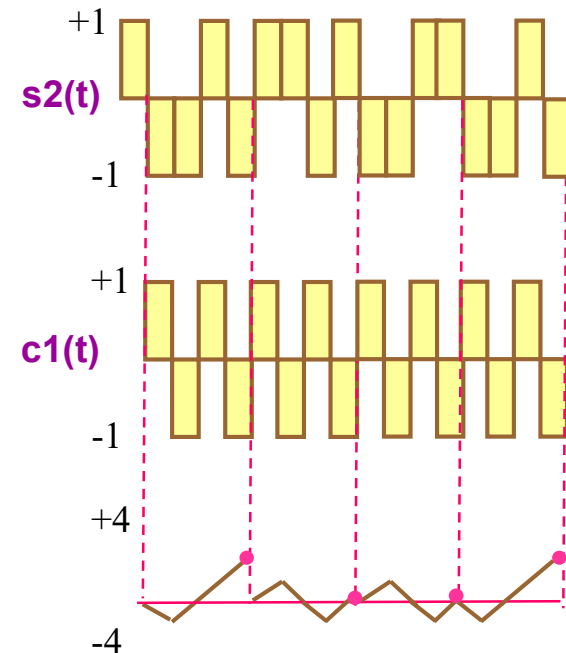
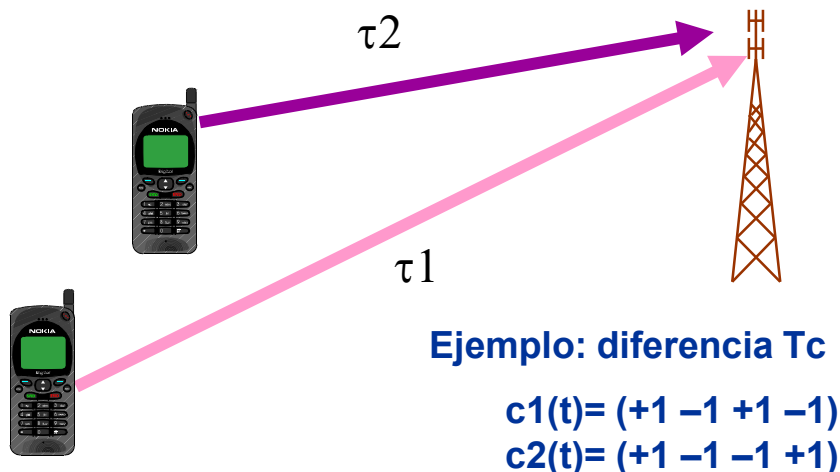


CDMA (cont). DS-CDMA (Direct Sequence - CDMA) o DS-SS (DS –Spread Spectrum)

- Si los códigos fuesen ortogonales y los usuarios estuvieran perfectamente sincronizados el receptor rechazaría totalmente la señal de los demás usuarios.
- **Pero!!** En la práctica los códigos no lo son perfectamente por lo que los usuarios simultáneos originan un cierto nivel de interferencia (Interferencia de Acceso Múltiple: MAI - Multiple Access Interference).

Causas:

- El número de secuencias ortogonales es limitado.
- La transmisión en un entorno radio hace que puedan perder su ortogonalidad
 - No sincronismo
 - Propagación multicamino



Bloque 4. Tecnologías de acceso inalámbricas.

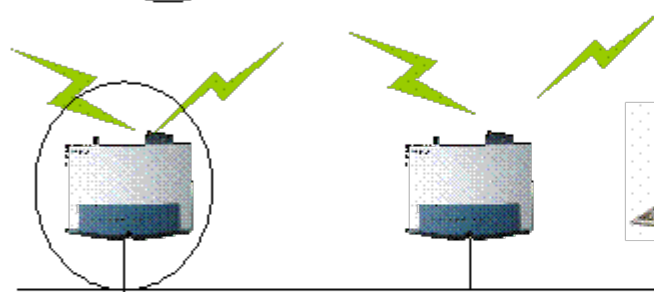
- Particularidades del acceso inalámbrico. Impacto de la movilidad (acceso fijo vs acceso móvil).
- Características generales. Estándares. Arquitectura funcional de la red de acceso y topologías de red. Mecanismos de acceso al medio. Tecnología IP en la red de acceso.
- ***Redes de área local inalámbricas (WLAN). Redes IEEE 802.11.***

Wireless Local Area Networks (WLANs)

❑ Dispositivos:

Tarjeta de red inalámbrica

Realiza las funciones de
módem radio.

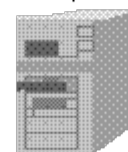


Punto de Acceso (AP)

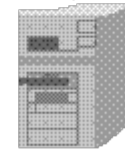
Se conecta a la red cableada.
Realiza las funciones de puente
entre la red radio y la
infraestructura de cable.



**Router Acceso
(Firewall)**



**Servidor
de Correo**



**Servidor
WWW**

- Los productos Wi-Fi se basan en las tecnologías denominadas **802.11** desarrolladas por el IEEE. Existen diferentes tecnologías designadas con diferentes letras. Para que un producto sea certificado, debe cumplir ciertos requisitos en cuanto a prestaciones, frecuencia y ancho de banda. Además, puede incluir funcionalidades adicionales decididas por el fabricante.

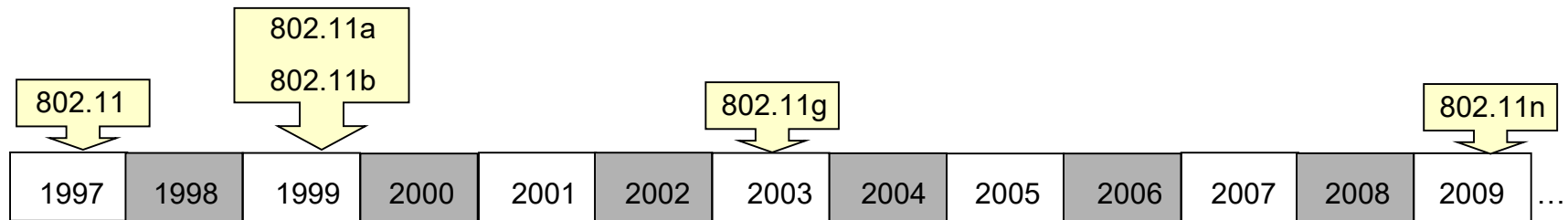
Tecnología Wi-Fi	Banda frecuencial	Velocidad de transmisión máxima
IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11b	2,4 GHz	11 Mbps
IEEE 802.11g	2,4 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11n	2,4 GHz 5 GHz 2,4 ó 5 GHz (seleccionable) 2,4 y 5 GHz (concurrente)	600 Mbps

- Los productos certificados Wi-Fi aseguran su interoperabilidad con las tecnologías de generaciones anteriores que trabajan en la misma banda de frecuencias.



ESTÁNDARES IEEE 802.11

- Los estándares de la familia IEEE 802.11 especifican las capas MAC y física para Redes de Área Local Inalámbrica (WLAN).



- Existen además muchas otras enmiendas o correcciones (*amendments*) que contienen mejoras, nuevas funcionalidades, etc. del estándar desarrolladas por diferentes grupos de trabajo del IEEE:

-IEEE 802.11a

- Extensión en la banda de 5 GHz, hasta 54 Mbps. Utiliza OFDM.

-IEEE 802.11b

- Versión más extendida, hasta 11 Mbps en la banda de 2,4 GHz. Utiliza técnicas de espectro ensanchado por secuencia directa.

-IEEE 802.11c

- Procedimientos de operación como bridge. Se incluyó en el estándar 802.1D en 2001.

-IEEE 802.11d

- Cambios en la recomendación física para extender 802.11 a países con diferentes regulaciones.

-IEEE 802.11e

- Mejora la capa MAC de 802.11 para proporcionar Calidad de Servicio.

-IEEE 802.11F

- Es una recomendación que utiliza el protocolo IAAP (*Inter-Access Point Protocol*) para la compatibilidad en el traspaso entre AP's de diferentes vendedores.

-IEEE 802.11g

- Extensión de alta velocidad (hasta 54 Mbps) en la banda de 2,4 GHz (compatible con IEEE 802.11b).

-IEEE 802.11h

- Su objetivo es compatibilizar el estándar IEEE 802.11a con la regulación europea mediante la incorporación de mecanismos de gestión de la potencia de transmisión y del espectro.

-IEEE 802.11i

- Incorpora mecanismos mejorados de seguridad y autenticación.

-IEEE 802.11j

- Su objetivo es compatibilizar el estándar IEEE 802.11a con la regulación japonesa.

-IEEE 802.11-2007

- Una nueva versión del estándar que incluye las enmiendas a, b, d, e, g, h, i & j.

-IEEE 802.11k

- Incorpora mecanismos de *Radio Resource Management* (Gestión de recursos radio) y define interfaces con los niveles superiores para tomar medidas.

-IEEE 802.11n

- Banda 2,4 u 5 GHz. Mejoras para mayores tasas de transmisión mediante el uso de técnicas MIMO.

-IEEE 802.11p

- Estándar en la banda de 5,9 GHz pensado para las comunicaciones entre vehículos y entre vehículos e infraestructuras en carretera.

-IEEE 802.11r

- También se conoce como *Fast Basic Service Set Transition*, y su principal característica es permitir a la red que establezca los protocolos de seguridad que identifican a un dispositivo en el nuevo punto de acceso antes de que abandone el actual y se pase a él. Esta función permite que la transición entre nodos sufra un retardo menor a 50 milisegundos, suficientemente corto como para mantener una comunicación vía de VoIP sin que haya cortes perceptibles.

-IEEE 802.11s

- Define la interoperabilidad de fabricantes en cuanto a protocolos Mesh.

-IEEE 802.11T

- Recomendación para medidas estandarizadas de rendimiento.

-IEEE 802.11u

- Incorpora funcionalidades que mejoran la interoperabilidad con redes externas, por ejemplo, celulares.

-IEEE 802.11v

- IEEE 802.11v servirá (previsto para 2010) para permitir la configuración remota de los dispositivos cliente conectados a la red inalámbrica.

-IEEE 802.11w

- Incorporación de mecanismos de seguridad en las tramas de gestión del estándar.

-IEEE 802.11y

- Aplicación del estándar en la banda 3650 – 3700 MHz en EE.UU.

-IEEE 802.11z

- Proporciona nuevos mecanismos DLS (*Direct Link Setup*) para establecer comunicaciones entre dos estaciones de una red en modo infraestructura.

-IEEE 802.11aa

- Transporte robusto de flujos de vídeo y voz.

-IEEE 802.11mb

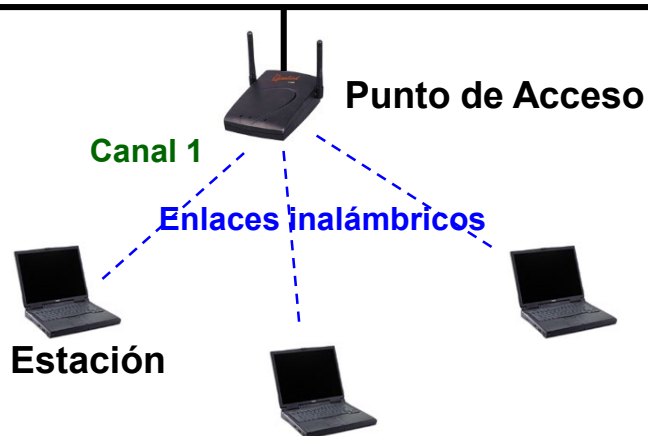
- Mantenimiento del estándar (se espera que se convierta en IEEE 802.11-2011).

- IEEE 802.11ac (WiFi5)
 - Muy alto rendimiento (Banda 5 GHz). Mejora de 802.11n. MU-MIMO
- IEEE 802.11ad
 - Muy alto rendimiento en la banda de 60 GHz
- IEEE 802.11ah
- IEEE 802.11ax (WiFi6). Introduce OFDMA. Evolución del MAC.
- IEEE 802.11be (WiFi7). Mejora de 802.11ax

❑ Existen dos **modos de operación**:

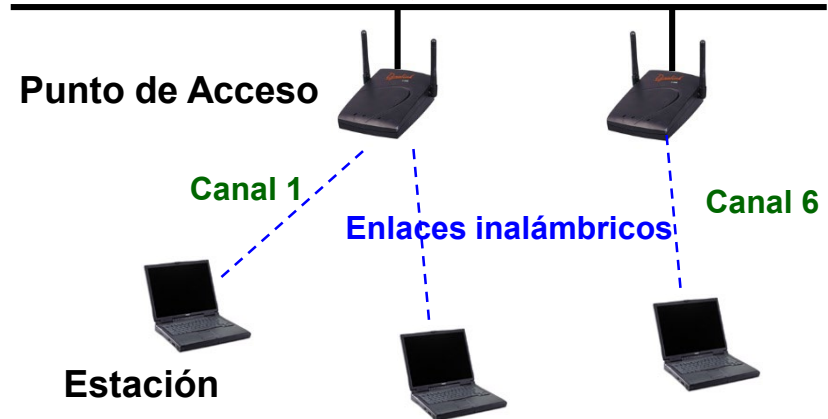
- **Modo infraestructura**: Las estaciones (*STA: Stations*) se comunican con un punto de acceso (*AP: Access Point*) que proporciona la conectividad con la red cableada.
- **Modo ad-hoc**: Las estaciones se comunican directamente entre ellas sin pasar por un punto de acceso.

Sistema de distribución (DS: Distribution System)



Basic Service Set (**BSS**)

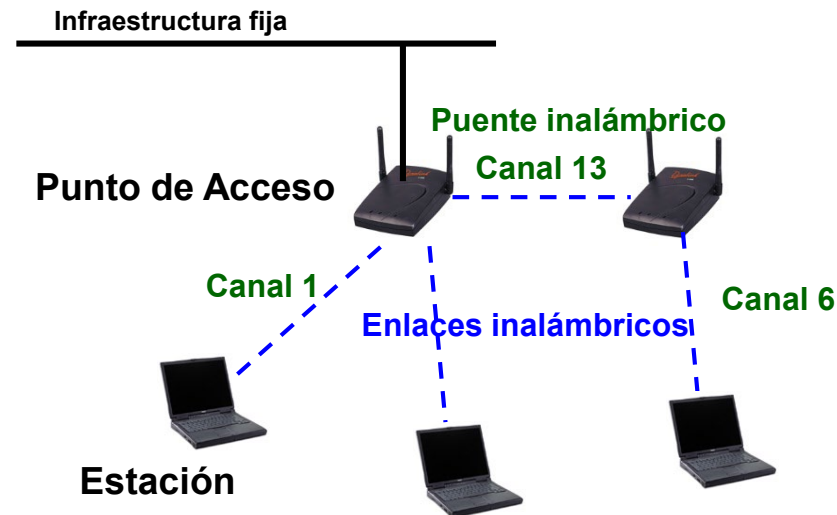
Sistema de distribución ← **Infraestructura fija**



Extended Service Set (**ESS**)

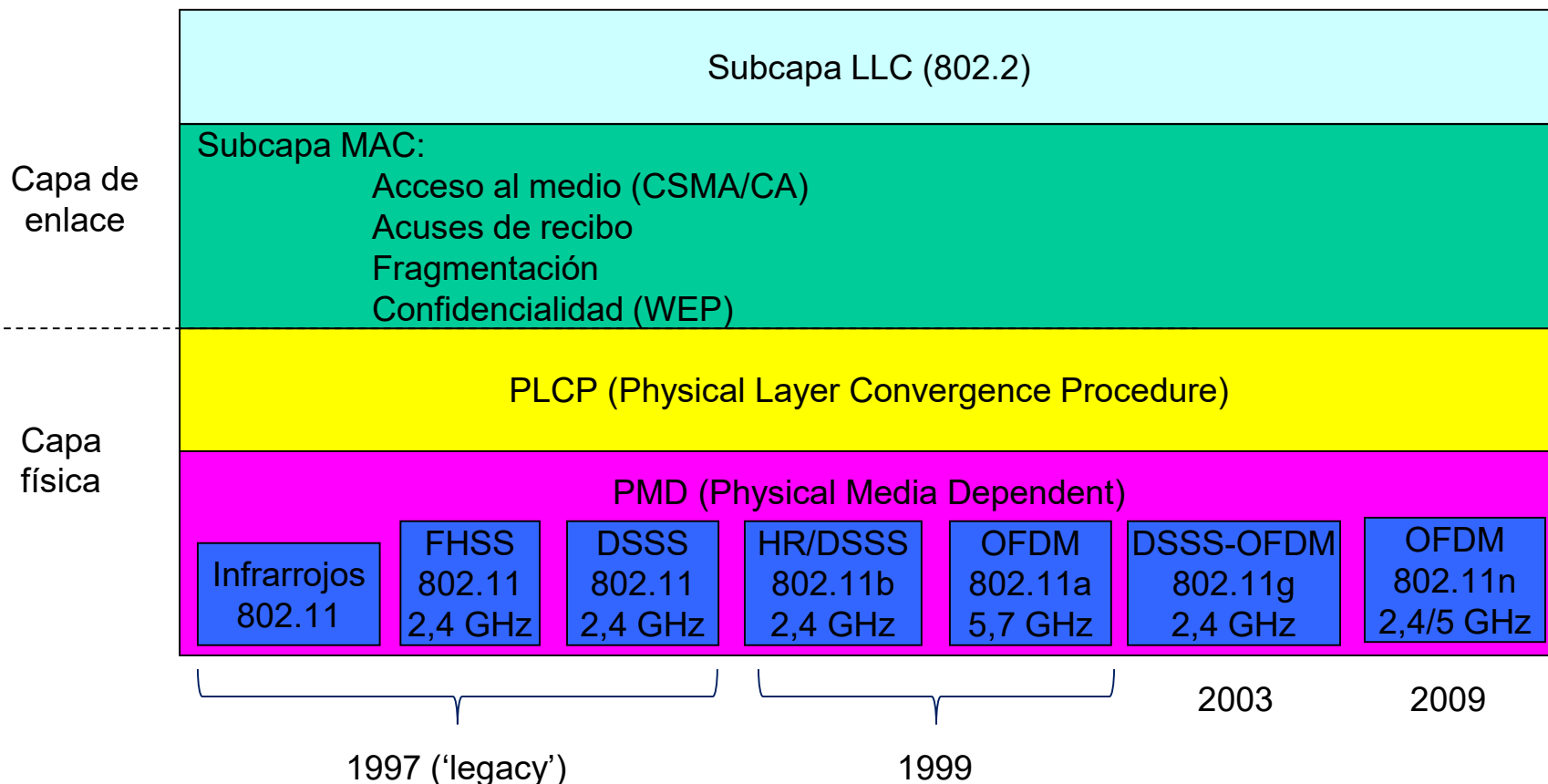
Modo infraestructura

- El modo infraestructura permite dos posibles topologías:
 - ❑ **Basic Service Set (BSS).** Existe una única célula servida por un punto de acceso.
 - ❑ **Extended Service Set (ESS).** Se compone de varios BSS's (cada uno con su AP) conectándolos a través de un *sistema de distribución*, que suele ser una red Ethernet. En esta arquitectura, las estaciones pueden desplazarse y conectarse a otro AP (*roaming*).



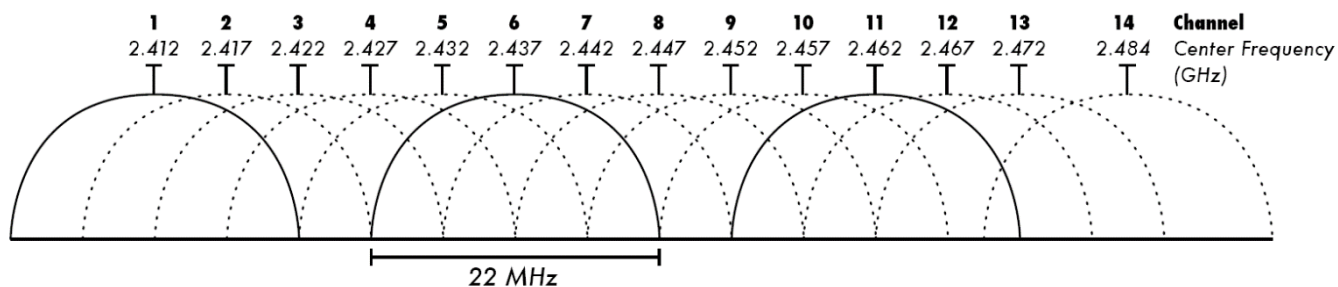
Extended Service Set (ESS)

Modelo de Referencia de 802.11



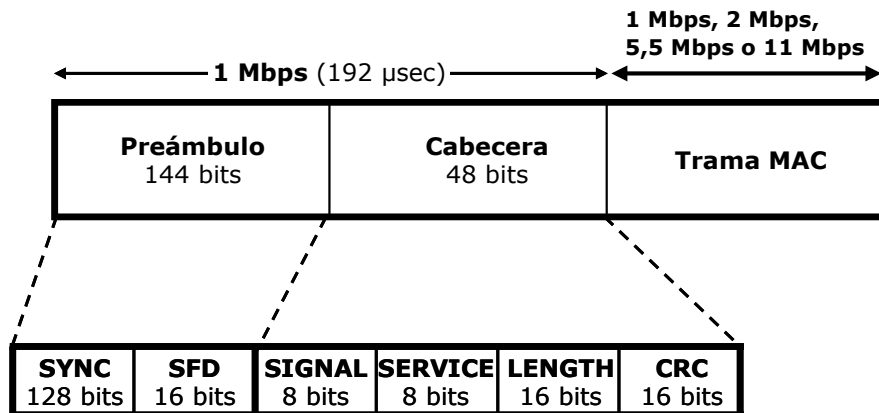
■ Canales IEEE 802.11b/g utilizables.

Canal	Frecuencia (MHz)	Norteamérica	Europa	Japón
1	2412	X	X	-
2	2417	X	X	-
3	2422	X	X	-
4	2427	X	X	-
5	2432	X	X	-
6	2437	X	X	-
7	2442	X	X	-
8	2447	X	X	-
9	2452	X	X	-
10	2457	X	X	-
11	2462	X	X	-
12	2467	-	X	-
13	2472	-	X	-
14	2484	-	-	X

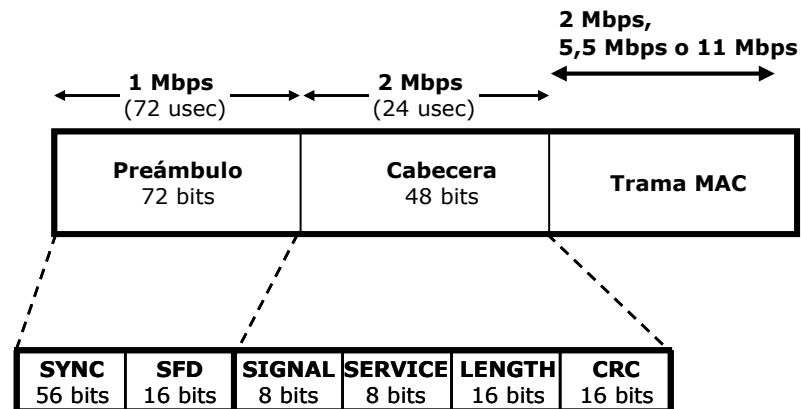


IEEE 802.11b

Trama PLCP: PPDU (PLCP Protocol Data Unit)



Formato largo (obligatorio)



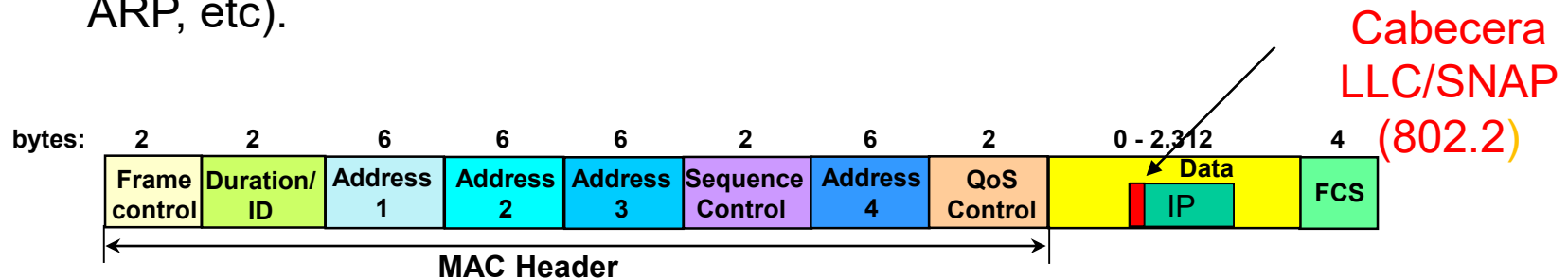
Formato corto (opcional)

Formatos de tramas MAC

- Todas las tramas MAC tienen los siguientes componentes básicos:
 - **MAC Header.** Contiene información de control de trama, duración, direcciones y control de secuencia. En el caso de tramas de datos con QoS, contiene también información de control de QoS.
 - **Frame Body.** De longitud variable, contiene información específica del tipo y subtipo de trama.
 - El tamaño máximo viene determinado por la longitud máxima de MSDU (*MAC Service Data Unit*), que es de 2.304 octetos, más 8 octetos de overhead debidos a la introducción de seguridad WEP. Por lo tanto, el tamaño máximo es de 2.312 octetos con WEP y 2.304 octetos sin WEP.
 - **Frame Check Sequence.** Contiene un CRC de 32 bits.
- No todos los campos que forman estos tres elementos aparecen en todas las tramas.

Formatos de tramas MAC (cont)

- Campo **Frame Body (DATA)** (número variable de bits). Contiene la información específica de los diferentes tipos y subtipos de trama. La longitud mínima es 0 octetos y la máxima viene definida por la máxima longitud de (MSDU + ICV + IV), donde el *Integrity Check Value* (ICV) y el *Initialization Vector* (IV) son campos relacionados con la seguridad WEP.
 - Dentro del campo de datos se incorpora una cabecera adicional, LLC SNAP, de 8 bytes, que se encarga de incluir el campo tipo de Ethernet que hace referencia al protocolo de nivel superior transportado en los datos (IP, ARP, etc).



- Campo **FCS** (32 bits). Contiene un CRC de 32 bits que es calculado sobre todos los campos de la cabecera MAC y del campo Frame Body.

Formatos de tramas MAC

- Campos **Address 1** (48 bits), **Address 2** (48 bits), **Address 3** (48 bits) y **Address 4** (48 bits). Ciertas tramas pueden no contener algunos de estos campos de direcciones. Estos campos se usan para indicar las siguientes posibles direcciones:
 - Basic Service Set Identification (BSSID)
 - Source Address (SA).
 - Destination Address (DA)
 - Transmitting STA Address (TA)
 - Receiving STA Address (RA).
- Las direcciones que se manejan en IEEE 802.11 son las siguientes:
 - **BSSID**. Identifica a cada BSS (Basic Service Set):
 - **Modo infraestructura**. El BSSID es la dirección MAC del AP.
 - **Modo ad-hoc (IBSS)**. La STA que inicia el IBSS (Independent BSS) genera una dirección aleatoria que se utiliza como identificador del IBSS.
 - **DA (Destination Address)**. Contiene una dirección MAC individual o de grupo que identifica a la entidad o entidades MAC que son los destinatarios finales de la MSDU (o fragmento de la misma) contenida en el campo Frame Body.

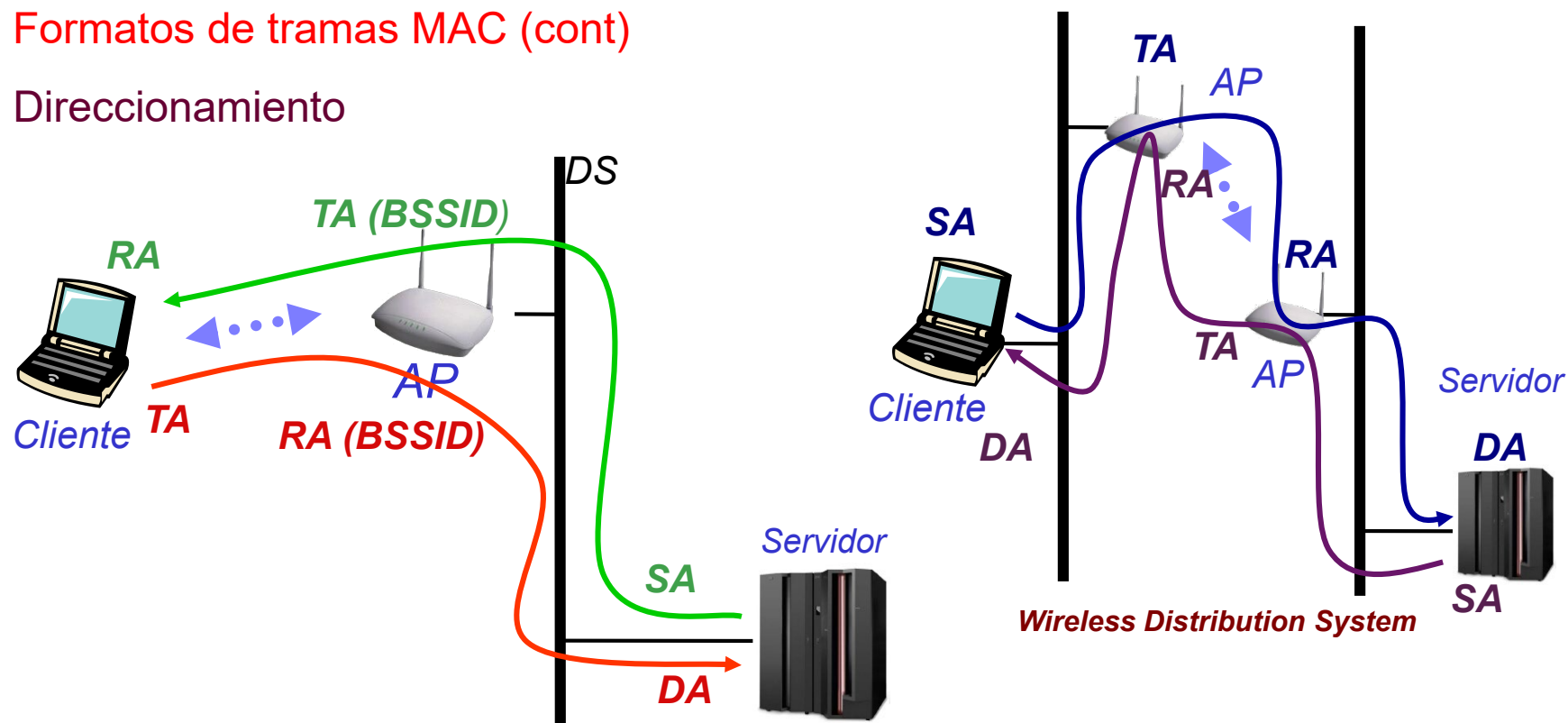
Formatos de tramas MAC (cont)

Direccionamiento

- **SA (Source Address)**. Contiene una dirección MAC individual que identifica a la entidad MAC desde la que se inició la transferencia de la MSDU (o fragmento de la misma) contenida en el campo Frame Body.
 - **RA (Receiving STA Address)**. Contiene una dirección MAC individual o de grupo que identifica a la STA o STAs que son los destinatarios inmediatamente siguientes, en el medio inalámbrico, de la MSDU (o fragmento de la misma) contenida en el campo Frame Body.
 - **TA (Transmitting STA Address)**. Contiene una dirección MAC individual que identifica a la STA que ha transmitido, en el medio inalámbrico, la MPDU (o fragmento de la misma) contenida en el campo Frame Body.
- El primer campo de direccionamiento de la trama (*Address 1*) siempre corresponde a la dirección MAC del receptor de la trama (o receptores en el caso de multicast). El segundo (*Address 2*) corresponde a la dirección del transmisor de la trama. El cuarto (*Address 4*) sólo aparece en los WDS (*Wireless Distribution System –Sistema de distribución*), pero el estándar no especifica cómo debe hacerse.

Formatos de tramas MAC (cont)

Direccionamiento

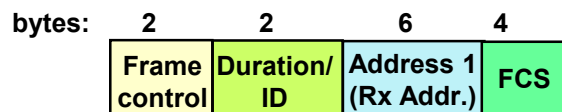


Función	To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
IBSS	0	0	RA = DA	TA=SA	BSSID	-
From the AP	0	1	RA = DA	TA=BSSID	SA	-
To the AP	1	0	RA = BSSID	TA=SA	DA	-
Wireless DS	1	1	RA	TA	DA	SA

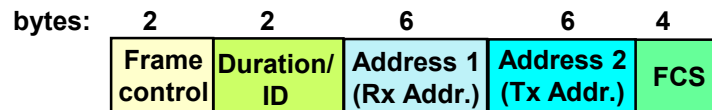
Formatos de tramas MAC (cont)

- Dependiendo del tipo de trama, algunos de los campos de la trama general no aparecen.

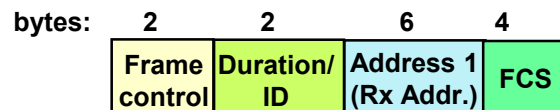
- ACK.



- RTS.



- CTS.



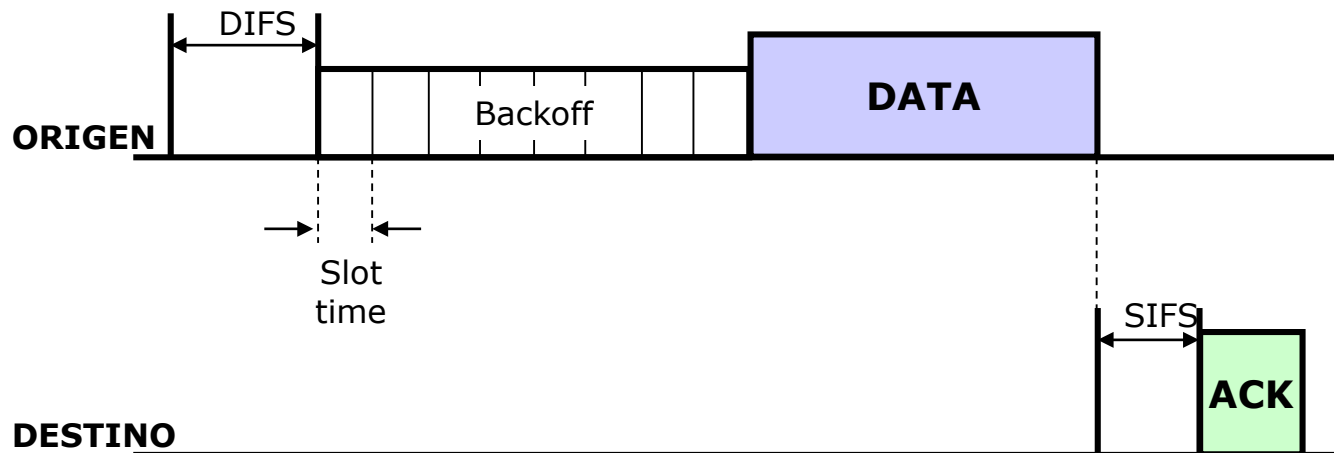
Distributed Coordination Function (DCF)

■ El protocolo **CSMA-CA** funciona del modo siguiente:

- Cuando una estación (portátil o AP) quiere enviar una trama, sondea antes el canal en el que opera para detectar si existe una transmisión en curso. La función de sondeo del canal se denomina **Clear Channel Assessment (CCA)**.
- Cuando el canal está libre, la STA no transmite inmediatamente, sino que debe seguir sondeando el canal para asegurarse de que sigue libre durante un período de tiempo DIFS (*DCF InterFrame Space*). En ese momento puede transmitir una trama de gestión (*management*) o de datos con una MSDU de longitud máxima 2.304 bytes.
 - o Para asegurar un acceso equilibrado al canal, si una estación acaba de transmitir una trama y tiene otra lista para ser transmitida, deberá esperar un periodo aleatorio obligatoriamente.
- Si el canal está ocupado, la STA espera a que vuelva a estar libre durante un tiempo DIFS, tras el cual espera un tiempo aleatorio (proceso de *backoff*) y transmite (si sigue libre).

Distributed Coordination Function (DCF)

- Cuando una estación recibe correctamente una trama de datos, espera un tiempo SIFS (*Short Interframe Space*) y manda la confirmación pertinente (ACK). SIFS es más pequeño que DIFS para proporcionar prioridad a los envíos de los ACKs respecto a otras STAs que estuviesen a la espera de que el canal quede libre para transmitir sus tramas de datos.
- Si una estación transmite una trama y no recibe confirmación en un tiempo determinado, dará la trama por perdida, procediendo a su retransmisión. Para ello inicia de nuevo el proceso de sondeo del canal.

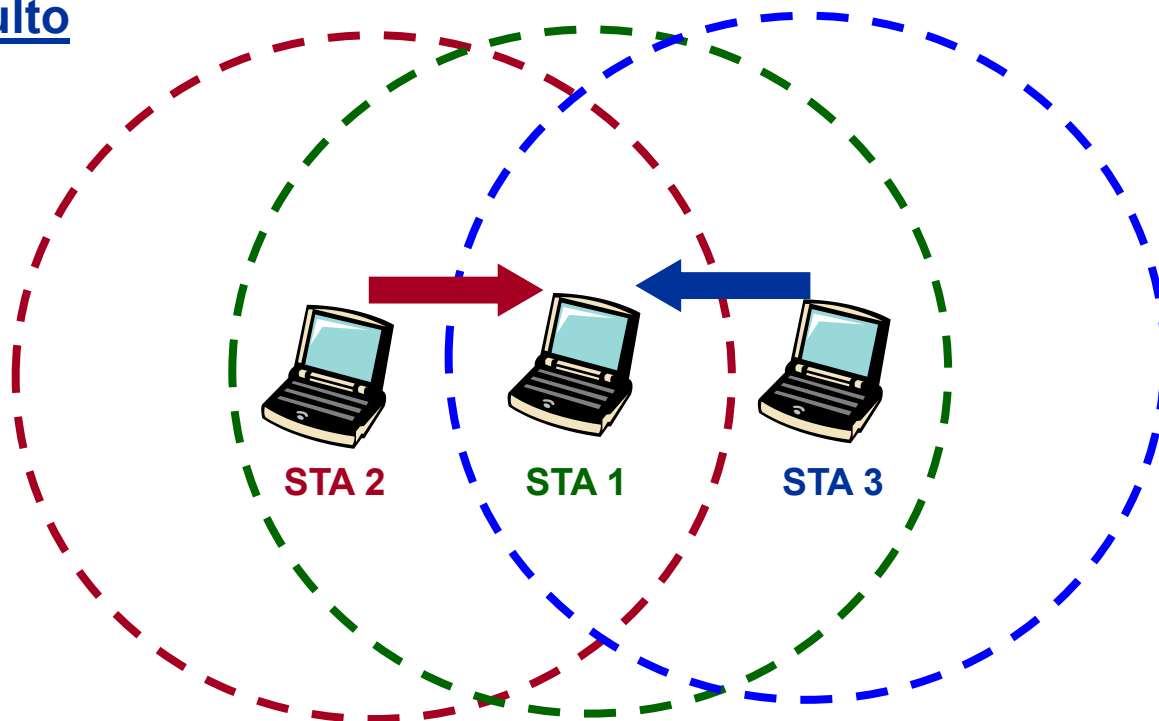


Distributed Coordination Function (DCF)

- Para realizar el proceso de backoff, la STA genera un número aleatorio en el intervalo $[0, CW]$. En la primera transmisión de una trama $CW = CW_{\min}$ ($CW_{\min} = 15$ para OFDM y 31 para DSSS). Si hay que retransmitir la trama, el valor de CW se duplica (en realidad es la siguiente potencia de 2 menos 1: 31, 63, 127, 255...) para cada retransmisión (backoff exponencial) hasta un valor $CW = CW_{\max}$ ($CW_{\max} = 1023$).
- El protocolo CSMA/CA implementado en DCF adolece de dos problemas que disminuyen su eficiencia:
 - **Terminal oculto (*hidden terminal*)**: Dos terminales, que no se encuentran en cobertura el uno del otro, intentan comunicarse simultáneamente con una estación que se encuentra en la zona de cobertura de ambos.
 - **Terminal expuesto (*exposed terminal*)**: Un terminal no inicia una transmisión al creer que el medio está ocupado, pero podría hacerlo por estar la estación destino fuera del alcance de las que están transmitiendo.

Distributed Coordination Function (DCF)

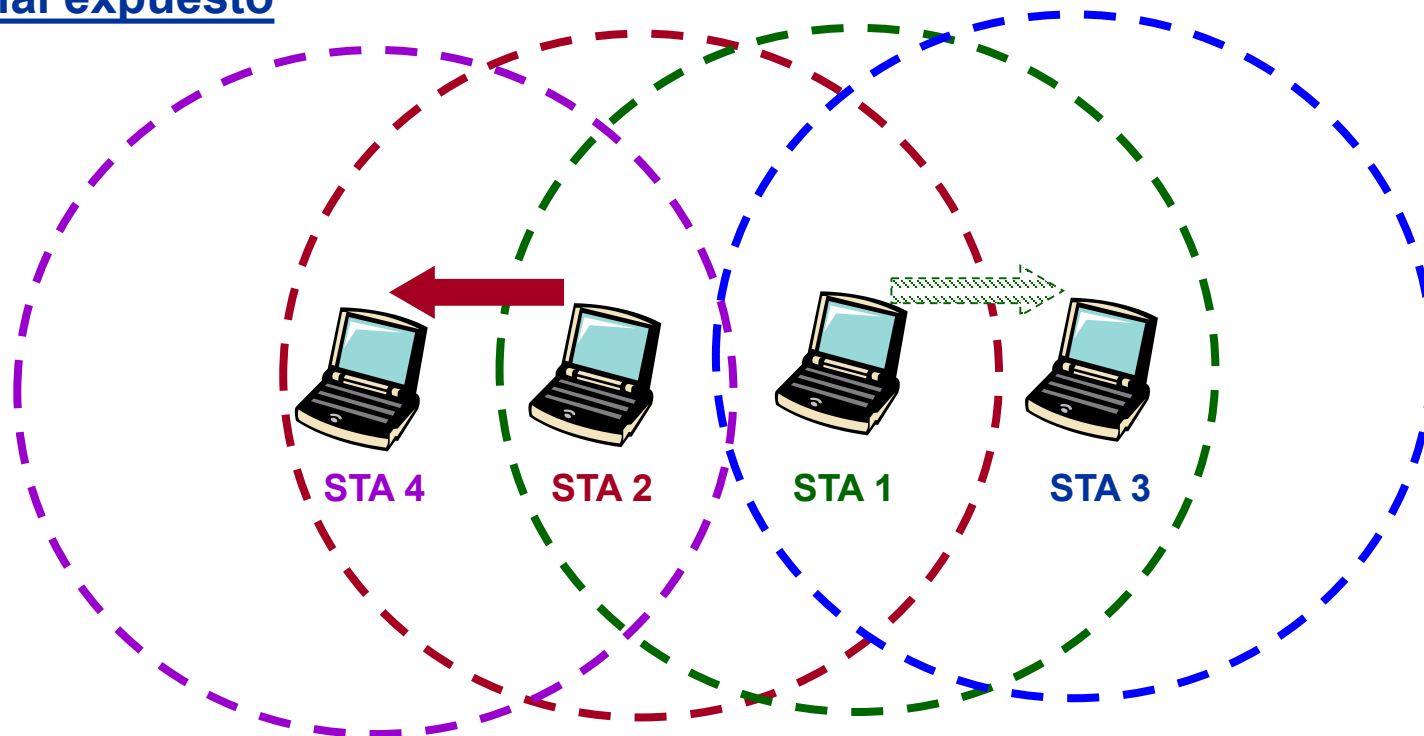
Terminal oculto



- STA2 tiene una trama para transmitir a STA1. El medio está libre y transmite.
- Mientras STA2 está transmitiendo, STA3 tiene una trama para transmitir a STA1. Como detecta el medio libre, transmite y se produce una colisión en STA1.

Distributed Coordination Function (DCF)

Terminal expuesto



- STA2 transmite a STA4. Al mismo tiempo, STA1 tiene una trama para transmitir a STA3. STA1 sondea el medio y lo encuentra ocupado, por lo que no transmite, aun pudiendo hacerlo, pues STA4 está fuera de su cobertura y no le interferiría y STA3 está fuera de cobertura de STA2, por lo que tampoco existiría interferencia (STA1 está *expuesto* a la transmisión de STA2).

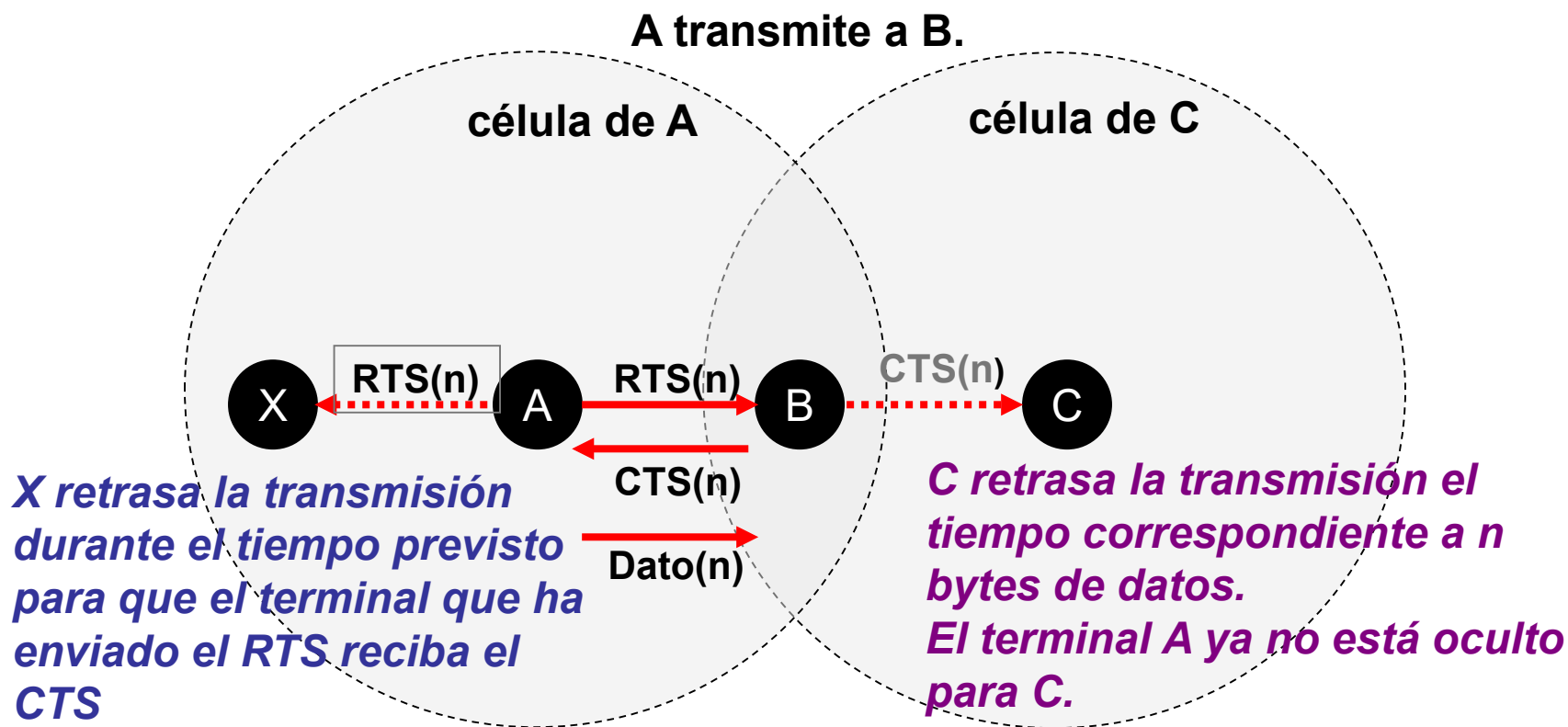
Distributed Coordination Function (DCF)

RTS/CTS: Solución del terminal expuesto

- Cuando un terminal desea transmitir datos, envía una trama RTS (*Ready-to-Send*) al receptor de destino.
 - La trama RTS contiene la indicación de la cantidad de datos que desea transmitir.
 - Cualquier estación diferente a la destinataria de la trama RTS que la reciba, retrasa sus transmisiones durante un tiempo igual al que tarde la recepción de la correspondiente trama CTS.
- El destinatario devuelve un paquete CTS (*Clear-to-Send*) si está dispuesto para recibir datos.
 - La trama CTS contiene la indicación de la cantidad de datos que el transmisor original desea transmitir.
 - Cualquier estación diferente a la emisora de la trama RTS que la reciba, retrasa sus transmisiones durante un tiempo igual al necesario para transmitir los datos indicados.
- El terminal que había enviado la trama RTS envía los datos.

Distributed Coordination Function (DCF)

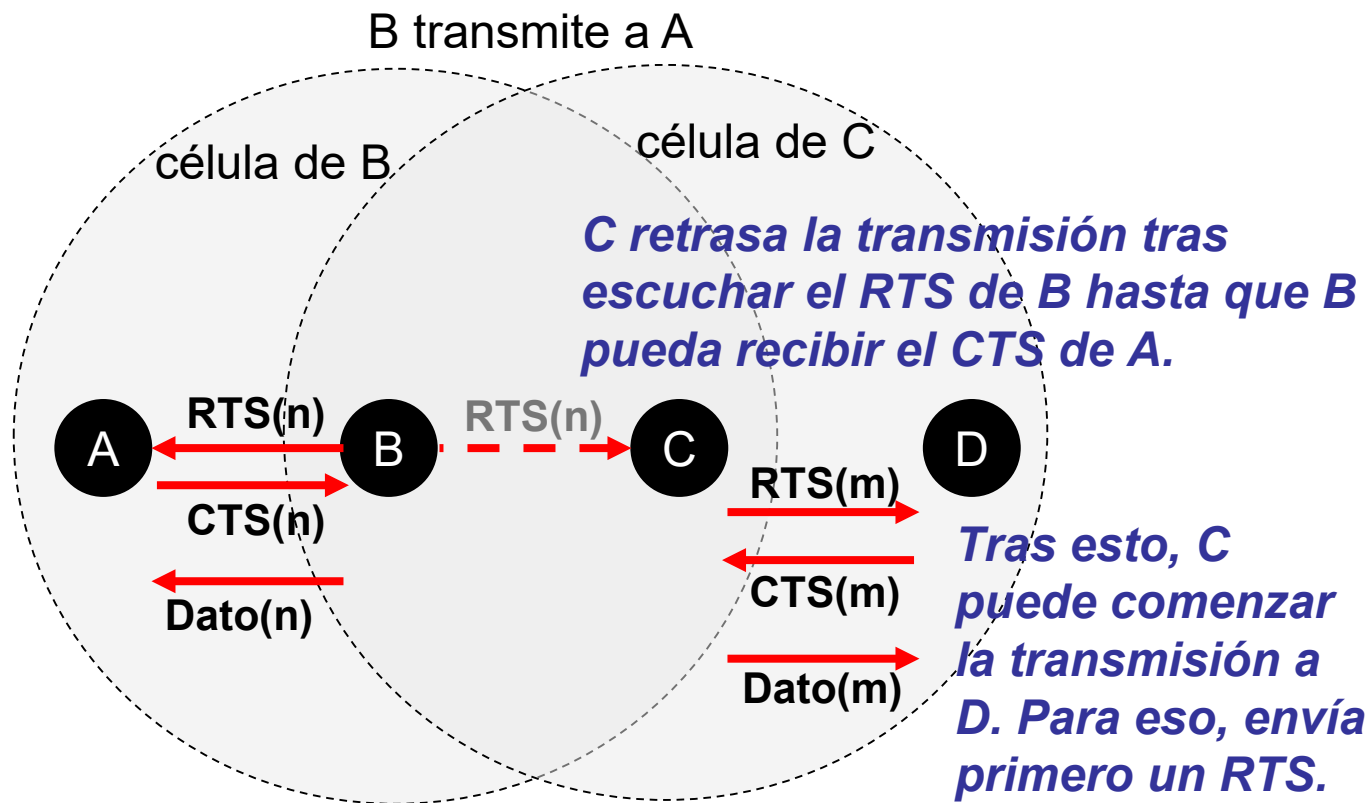
RTS/CTS: Solución del terminal oculto



El tiempo de espera del terminal X es mucho menor que el del terminal C.

Distributed Coordination Function (DCF)

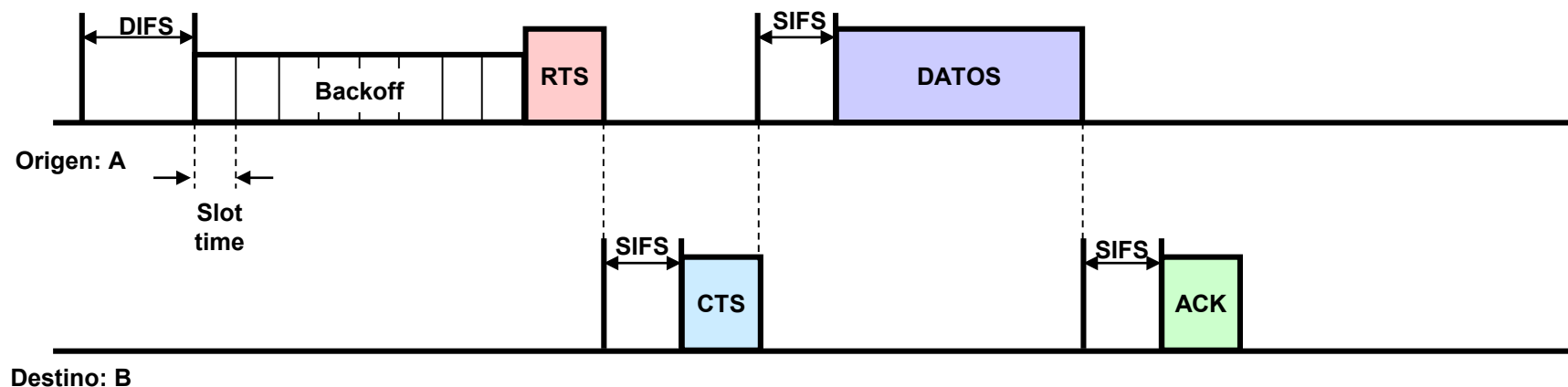
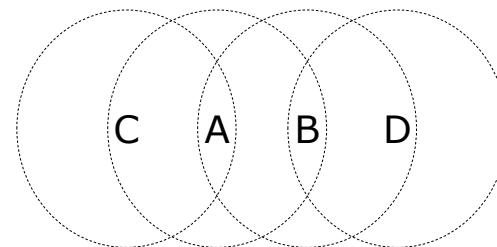
RTS/CTS: Solución del terminal expuesto



C ya no está expuesto a la transmisión de datos de B.

Distributed Coordination Function (DCF)

RTS/CTS



Distributed Coordination Function (DCF)

Ventajas e inconvenientes de usar RTS/CTS:

- Inconvenientes:

- Aumenta la latencia (cada envío ha de ir precedido del intercambio de dos mensajes)
- Reduce de rendimiento (throughput). El canal se ha de utilizar durante algún tiempo para enviar mensajes de control

- Ventajas:

- Se reducen las colisiones si se da el problema de la estación oculta. Esto puede mejorar el rendimiento en esos casos.

En consecuencia:

- Conviene activar RTS/CTS solo en las estaciones que por su distancia o ubicación se sospeche que no se van a 'oír' entre sí.
- Conviene usar RTS/CTS cuando se envían paquetes de una duración mínima. Si los paquetes son pequeños, el overhead generado no compensa.

Distributed Coordination Function (DCF). Throughput real alcanzable.

❑ *Las tasas de transmisión “brutas” especificadas en los estándares dan lugar en realidad a rendimientos efectivos mucho más bajos, debido a la elevada sobrecarga que introducen las capas MAC y Física de 802.11*

Estimación preliminar en condiciones idealizadas:

- Capa física del estándar 802.11b (DSSS)
- Un único terminal transmitiendo (**no hay colisiones**)
- Se ignora el tiempo de propagación $t_{\text{prop}}=0$

Hay que considerar los periodos de espera y el overhead de las tramas MAC

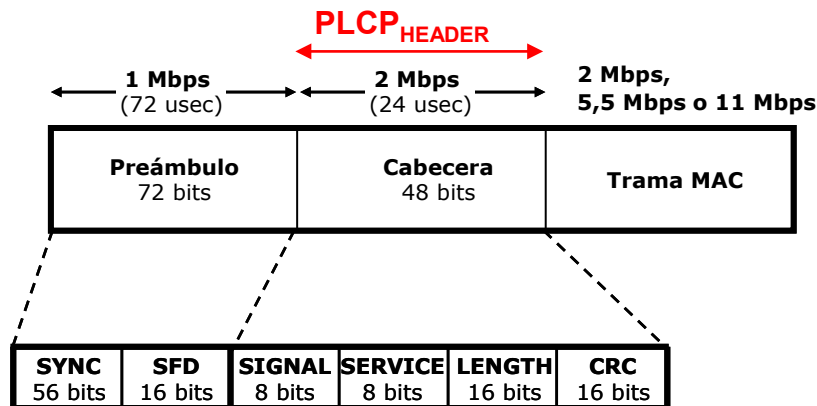
➤ Parámetros de funcionamiento de DCF:

- **aSlotTime** = 20 μs
- **SIFS** = 10 μs
- **DIFS** = SIFS + 2 x aSlotTime = 50 μs
- **Backoff** = Aleatorio entre 0 y CW ($CW_{\text{min}}=31$ y $CW_{\text{max}}=1023$ aSlotTime)
 - Cogemos el valor mínimo $CW_{\text{min}}=31 \Rightarrow \text{Backoff}_{\text{medio}}=15,5 \times 20 \mu\text{s}=310 \mu\text{s}$

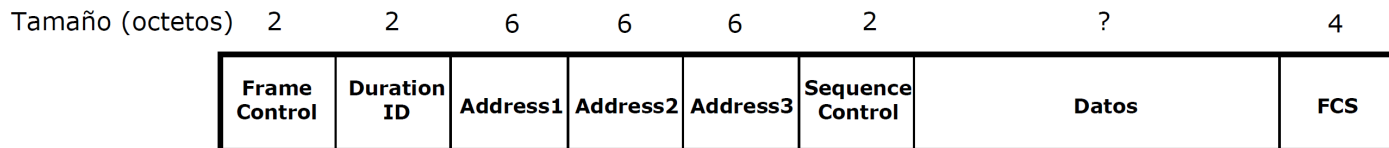
Distributed Coordination Function (DCF). Throughput real alcanzable.

➤ Formato de las tramas:

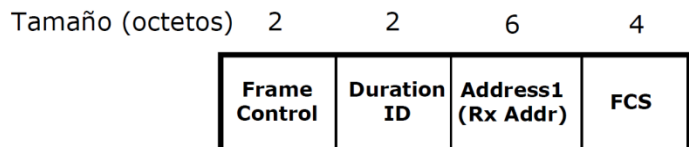
Preambulo corto (especificado para
tasas de transmisión de 2, 5,5 y 11Mbps)



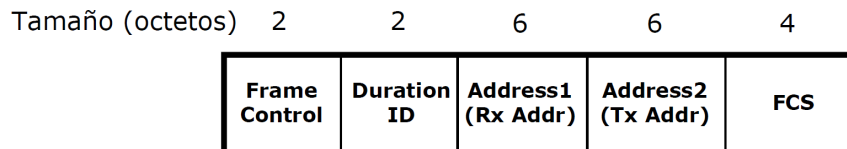
•Trama MAC Datos.



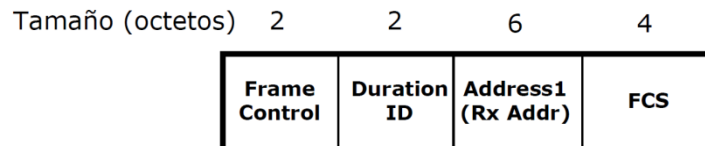
•Trama MAC ACK.



•Trama MAC RTS.



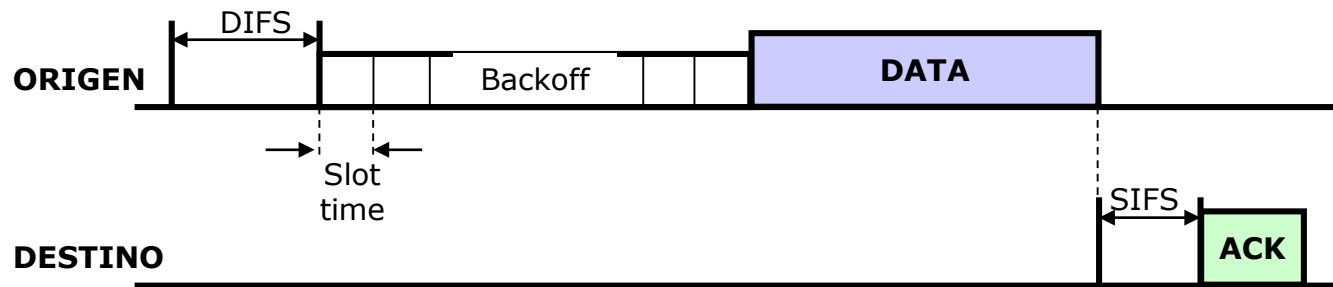
•Trama MAC CTS.



Distributed Coordination Function (DCF). Throughput real alcanzable.

➤ Estimación **SIN envío de RTS/CTS**:

Cálculo del tiempo que tarda en mandar un paquete de longitud L



$$T_{TOTAL} = DIFS + \overline{Backoff} + T_{preámbulo+H_PLCP}^{DATA} + T_{MAC}^{DATA} + SIFS + T_{preámbulo+H_PLCP}^{ACK} + T_{MAC}^{ACK}$$

$$T_{preámbulo+H_PLCP}^{DATA} = T_{preámbulo+H_PLCP}^{ACK} = 96\mu s$$

$$T_{DATA} = T_{preámbulo+H_PLCP}^{DATA} + T_{MAC}^{DATA}$$

$$T_{ACK} = T_{preámbulo+H_PLCP}^{ACK} + T_{MAC}^{ACK}$$

$$T_{TOTAL} = 50\mu s + 310\mu s + 96\mu s + \frac{(L_{datos} + 36) \cdot 8}{R_b} + 10\mu s + 96\mu s + \frac{14 \cdot 8}{\min(2, R_b)} = 618\mu s + \frac{(L_{datos} + 36) \cdot 8}{R_b}$$

$$T_{DATA_efectivo} = \frac{L_{datos} \cdot 8}{R_b}$$

Distributed Coordination Function (DCF). Throughput real alcanzable.

$$\left. \begin{aligned} T_{TOTAL} &= 618\mu s + \frac{(L_{datos} + 36) \cdot 8}{R_b} \\ T_{DATA_efectivo} &= \frac{L_{datos} \cdot 8}{R_b} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{Eficiencia (\%)} = T_{data_efectivo} / T_{Total}$$

$$\text{Throughput} = \text{Eficiencia} \times R_b$$

Rb (Mbps)	Rendimiento Nominal (Prefijo Corto)		Rendimiento Nominal (Prefijo Largo)	
	% Eficiencia	Mbps	% Eficiencia	Mbps
11	62,8	6,9	56,6	6,2
5,5	76,4	4,2	71,6	3,93
2	88,73	1,77	86,6	1,73

- $R_b = 11$ Mbps y $L = 1500$ bytes

$$\left. \begin{aligned} T_{TOTAL} &= 618\mu s + 1117,09\mu s = 1735,09\mu s \\ T_{DATA_efectivo} &= 1090,9\mu s \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \text{Eficiencia} &= 62,8\% \\ \text{Tasa} &= 6,9 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Sin contar el tiempo de backoff, se tiene
8,4 Mbps para 11Mbps

- $R_b = 5,5$ Mbps y $L = 1500$ bytes

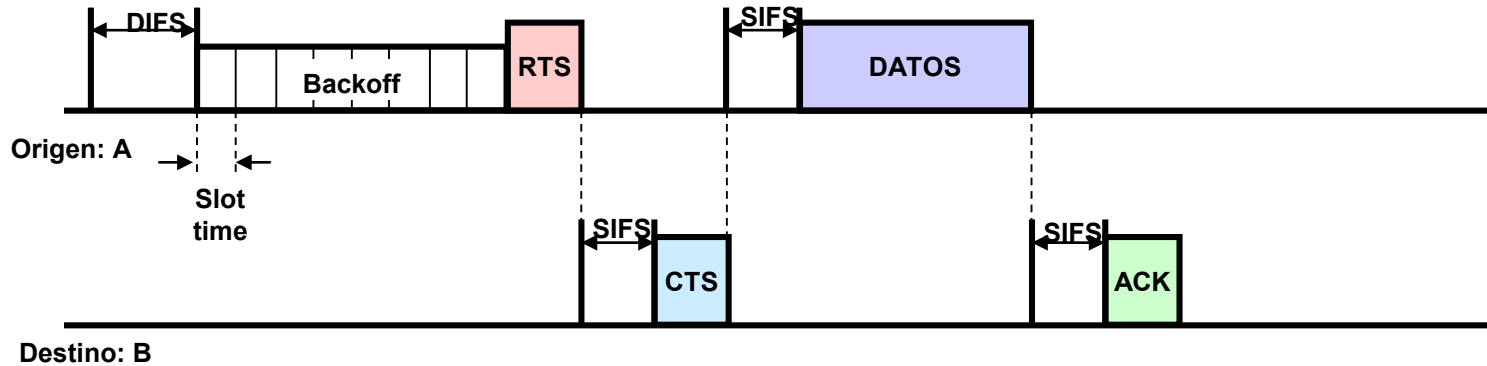
$$\left. \begin{aligned} T_{TOTAL} &= 618\mu s + 2234,18\mu s = 2852,2\mu s \\ T_{DATA_efectivo} &= 2181,8\mu s \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \text{Eficiencia} &= 76,4\% \\ \text{Tasa} &= 4,2 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- $R_b = 2$ Mbps y $L = 1500$ bytes

$$\left. \begin{aligned} T_{TOTAL} &= 618\mu s + 6144\mu s = 6762\mu s \\ T_{DATA_efectivo} &= 6000\mu s \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \text{Eficiencia} &= 88,73\% \\ \text{Tasa} &= 1,77 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Distributed Coordination Function (DCF). Throughput real alcanzable.

➤ Estimación **CON** envío de RTS/CTS:



Hay que sumar a los tiempos anteriores $T_{RTS} + SIFS + T_{CTS} + SIFS$

$$T_{RTS} = T_{preámbulo+H_PLCP}^{RTS} + T_{MAC}^{RTS} = 96\mu s + \frac{20 \cdot 8}{R_b}$$

$$T_{CTS} = T_{preámbulo+H_PLCP}^{CTS} + T_{MAC}^{CTS} = 96\mu s + \frac{14 \cdot 8}{\min(2, R_b)} = 152\mu s$$

Rb (Mbps)	Rendimiento Nominal Sin RTS/CTS		Rendimiento Nominal Con RTS/CTS	
	% Eficiencia	Mbps	% Eficiencia	Mbps
11	62,8	6,9	54	5.94
5,5	76,4	4,2	69,7	3.83
2	88,73	1,77	84,6	1,69

Distributed Coordination Function (DCF). Throughput real alcanzable.

➤ Impacto del tamaño del paquete

Sin RTS/CTS

Rb (Mbps)	1500 (IP/UDP)		500 (IP/UDP)		300 (IP/UDP)	
	% Eficiencia	Mbps	% Eficiencia	Mbps	% Eficiencia	Mbps
11	62,8	6,9	36	3,96	25,3	2,79
5,5	76,4	4,2	52	2,86	39,4	2,16
2	88,73	1,77	72,4	1,44	61,1	1,22

Con RTS/CTS

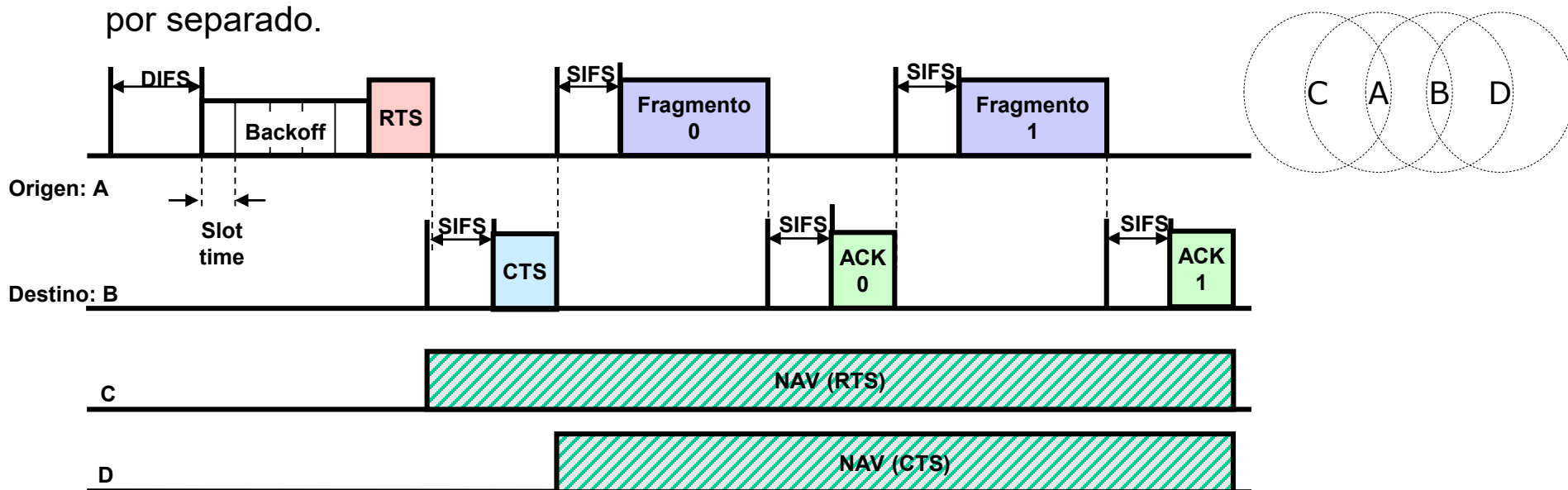
Rb (Mbps)	1500 (IP/UDP)		500 (IP/UDP)		300 (IP/UDP)	
	% Eficiencia	Mbps	% Eficiencia	Mbps	% Eficiencia	Mbps
11	54	5,94	28,11	3,09	19	2,09
5,5	65,8	3,62	43	2,36	31	1,7
2	77,5	1,55	63,8	1,27	51,4	1,02

Es difícil encontrar la expresión analítica para el cálculo de la eficiencia considerando el impacto de las colisiones, pero en la literatura se pueden encontrar algunas aproximaciones considerando la competición de un terminal con otros N-1 terminales (ej: Y. Tay and K. C. Chua, A capacity analysis for IEEE802.11 MAC protocol, *Wireless Networks*, vol. 7, pp.159–171, 2001)

Distributed Coordination Function (DCF)

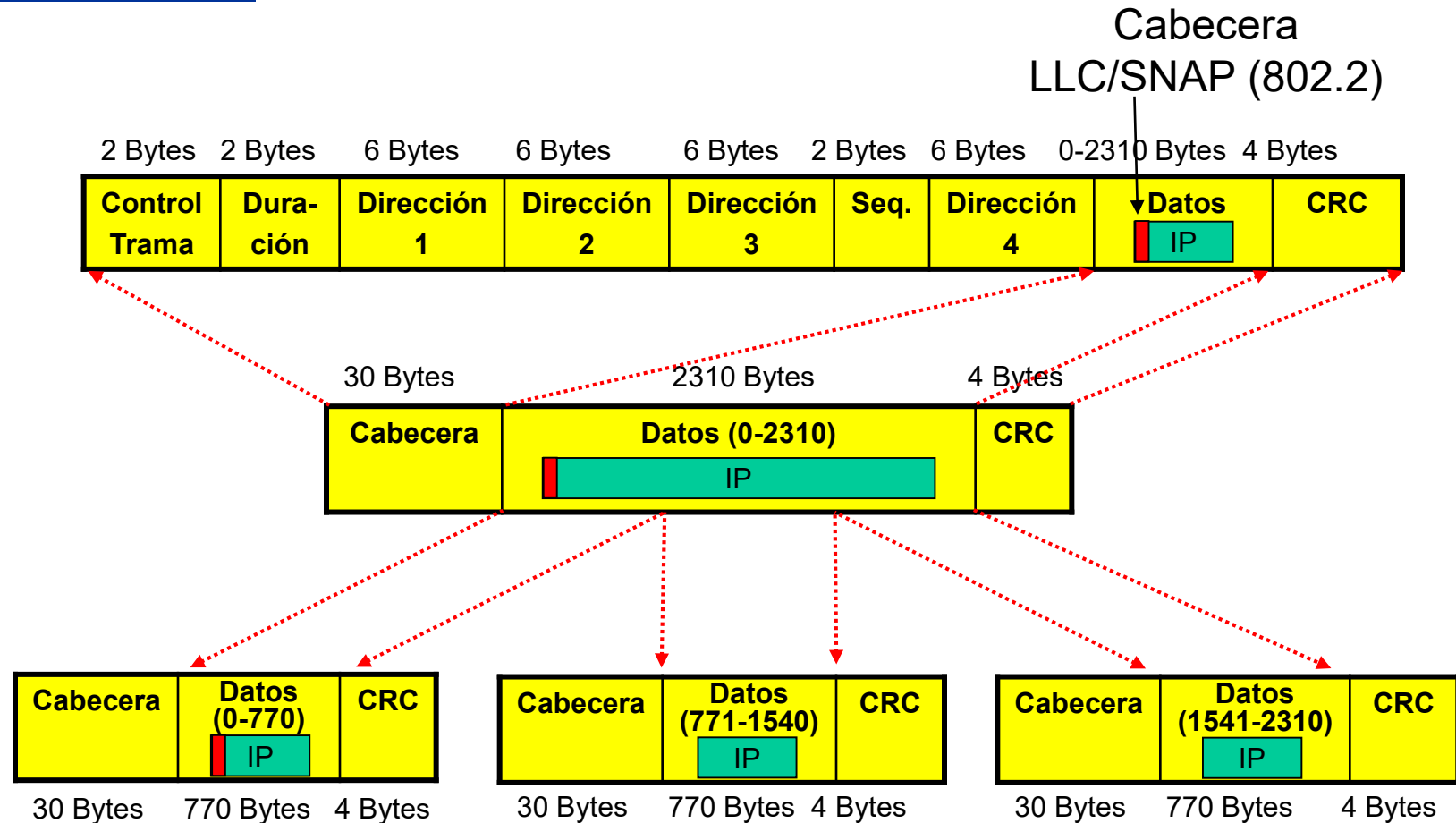
Fragmentación

- En el nivel MAC de 802.11 se prevé la posibilidad de que el transmisor fragmente una trama para enviarla en trozos más pequeños.
- Si el emisor ve que las tramas no están llegando bien, puede decidir fragmentar las tramas grandes para que tengan más probabilidad de llegar al receptor.
- La fragmentación permite enviar datos en canales más hostiles, aun a costa de aumentar la sobrecarga (se reduce la eficiencia).
- Por cada fragmento se devuelve un ACK, por lo que en caso necesario es retransmitido por separado.



Distributed Coordination Function (DCF)

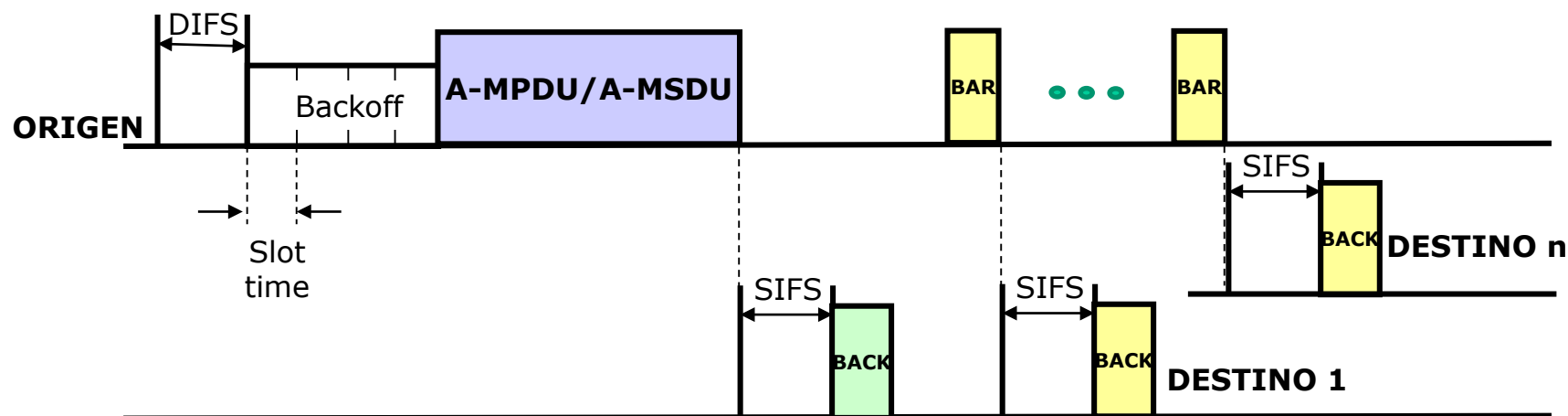
Fragmentación



Distributed Coordination Function (DCF)

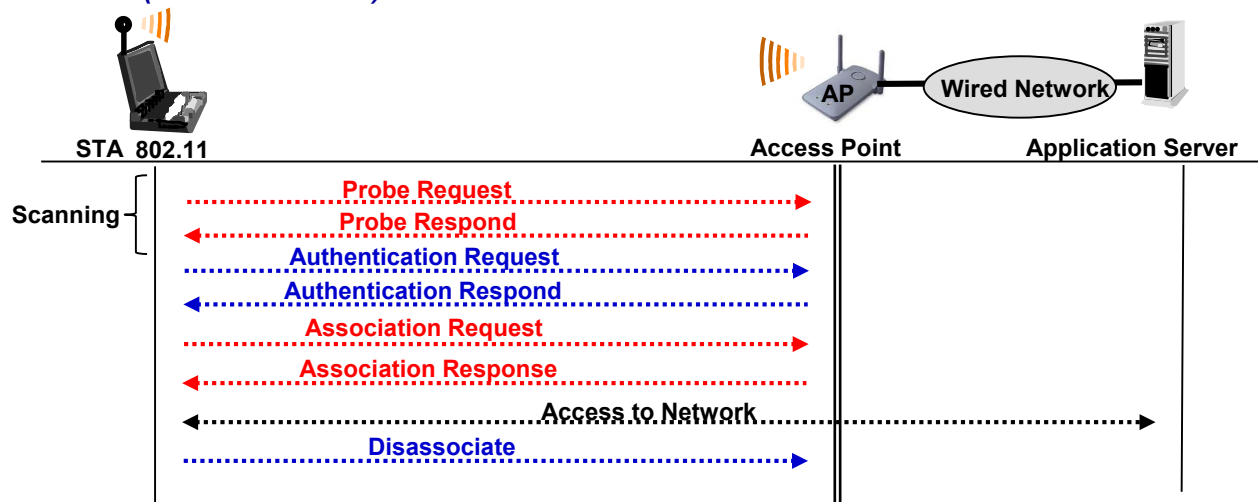
Agregación

- En el nivel MAC de 802.11 se prevé la posibilidad de que el transmisor agregue varias tramas para enviarlas en una sola y ser más eficiente.
- Existen dos formas de agregar:
 - A-MPDU: varios destinos MAC WiFi
 - A-MSDU: único destino MAC WiFi.
- Por cada A-MPDU o A-MSDU existen varias alternativas para el ACK. Se envía directamente el BACK o se envían BAR (Ack request) a cada destino. Un BACK, que es una máscara de ACKs por lo que en caso necesario la trama es retransmitida por separado.



Procesos básicos:

- *Sincronización, escaneado (Scanning)*. Requiere identificación de red y dispositivos.
- *Selección de AP*.
- *Joinning*. Adopción de los parámetros físicos e identificativos de la red.
- *Authentication*. Una estación se debe de identificar cuando se conecta a una red.
- *Association*. Permite a un terminal el identificarse y unirse a una red inalámbrica para establecer una comunicación.
- *Re-association*. Debido a la movilidad de los terminales, estos pueden cambiar de AP.
- *Dis-association (Disociación)*: finalización de la asociación existente.



Identificación de la red y dispositivos

- *Cada AP tiene un BSSID de fábrica* (la @MAC de su interfaz inalámbrica). (no se puede cambiar).
- *Cada red inalámbrica tiene un SSID* (Service Set identifier), también llamado a veces *ESSID* (Extended SSID). El ESSID es una cadena de 2 a 32 caracteres cualesquiera, *configurable por el usuario*.



Escenario BSS. Un *AP aislado tiene un BSSID y un ESSID (SSID)*.

Es necesario conocer el ESSID del AP. En cada STA debe configurarse el ESSID coincidiendo con el ESSID del AP.

Escenario ESS (Extended Service Set). Si tenemos varios APs formando un ESS, es decir todos conectados a nivel 2 por un DS (Distribution System) cada AP tiene un BSSID y todos *comparten el mismo ESSID*.

Escenario Ad-Hoc. La estación que inicia la red ad hoc elige el BSSID al azar. El usuario configura el SSID.

Identificación de la red y dispositivos

Los *APs modernos pueden participar simultáneamente en varias redes inalámbricas*. En ese caso cada red inalámbrica tiene un SSID/ESSID diferente y el AP crea un BSSID diferente para cada SSID/ESSID.

- *Cualquier estación (STA) que pretenda participar en una red debe configurarse con el SSID/ESSID correcto*



¿Cómo averigua una estación los ESSID que están disponibles en un momento dado?



Los APs difunden periódicamente unos mensajes broadcast llamados 'beacon' (baliza) en los que indican el SSID/ESSID de la red a la que pertenecen.

Planificación de una red WLAN.

- Objetivo: Determinar el nº de APs necesarios y su ubicación.
- Requiere tener en cuenta:
 - Forma del edificio o área a cubrir.
 - Grosor de los tabiques, forjados, y material.
 - En algunos casos la señal puede atravesar 2-3 paredes, en otros puede cubrir plantas contiguas.
 - Antenas y características de RF de los dispositivos.
 - Normalmente en interior se utilizan antenas omnidireccionales y en exterior antenas de parche.
- Capacidad vs densidad de STAs.
 - Si se prevé un gran número de usuarios o se quiere dar gran rendimiento interesa que las celdas sean pequeñas. Hay que colocar más APs y ajustar la potencia de transmisión para minimizar la interferencia entre ellos.
- Planificar la asignación de frecuencias para reducir las interferencias.

Estimación de
alcance/cobertura

Cobertura (Alcance) vs Tasa

- El alcance depende de muchos factores: frecuencia y potencia de emisión, antenas utilizadas y con el entorno de propagación (interior, exterior, obstáculos, ...), tasa de transmisión. En general los sistemas que funcionan en la banda de 5GHz (ej: 802.11a) tienen menor alcance que los que trabajan en la banda de 2,4GHz.
- La planificación del enlace incluye 3 componentes básicos:
 - *Potencia efectiva emitida por el AP:*
 $\text{Potencia de transmisión [dBm]} - \text{Pérdidas (cables y conectores) [dB]} + \text{ganancia de la antena [dBi]}$
 - *Pérdidas en la propagación [dB]*
 - *Sensibilidad efectiva de recepción:*
 $\text{Ganancia de la antena [dBi]} - \text{Pérdidas en los cables [dB]} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]}$
- La sensibilidad (nivel de señal mínimo necesario para poder decodificar la información) depende de la tasa de transmisión (esquema de modulación). Puede variar ligeramente de un fabricante a otro.
- La sensibilidad del receptor no es el único parámetro importante en un receptor, debemos tener en cuenta también la relación señal ruido (SNR).

Rate	1Mbps	2Mbps	5,5Mbps	11Mbps
Sensibilidad	-94dBm	-91dBm	-87dBm	-82dBm
SNR	4dB	7dB	11dB	16dB

Ejemplo: Tarjetas PCMCIA Orinocco Silver/Gold

Cobertura (Alcance) vs tasa

- Si el *nivel de ruido es muy bajo* \Rightarrow el sistema estará *limitado* en mayor medida *por la sensibilidad* del receptor que por la relación SNR.
- Si el *nivel de ruido es mayor*, entonces será la *relación SNR* la que limitará el poder alcanzar una tasa de transferencia determinada.
 - En condiciones normales, sin otra WLAN en la misma frecuencia y sin ruido industrial, el ruido estará cerca de los -100dBm.
 - *Por ejemplo*, para alcanzar una tasa de 11 Mbps con una tarjeta Orinoco 802.11b necesitaremos que la potencia recibida sea 16 dB mayor que el ruido (relación S/N), entonces un nivel de $-100 + 16 = -84$ dBm, pero en realidad la sensibilidad mínima está en -82dBm... más alta que -84. Esto significa que, en este caso, la sensibilidad mínima del receptor es el factor que limita el sistema.

Bibliografía

- P. Roshan, J. Leary, "802.11 Wireless LAN Fundamentals". Ed. Cisco Press, 2003.
- B.H. Walke, S. Mangold, L. Berlemann, "IEEE 802 Wireless Systems. Protocols, Multi-hop Mesh/Relaying, Performance and Spectrum Coexistence". Ed. Wiley, 2006.
- M. S. Gast, "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide", Second Edition. Ed. O'Reilly Media, Inc., 2005.
- E. Perahia, R. Stacey, "Next Generation Wireless LANs: Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n". Ed. Cambridge University Press, 2008.
- <http://standards.ieee.org/getieee802/portfolio.html>.