

# LAN INALÁMBRICA

---

## Módulo 9

# Temas a tratar

1. LAN Inalámbrica: Definición, usos y requisitos
2. Arquitectura y servicios
3. Capa física
4. Capa control de acceso al medio
5. Gigabit WI-FI

## Objetivos del Módulo:

Al finalizar el presente módulo, el alumno debe:

1. Entender los alcances de uso de las LAN's inalámbricas
2. Conocer las tecnologías empleadas
3. Comprender el funcionamiento del protocolo 802.11
4. Adquirir conocimientos para elaborar soluciones inalámbricas a velocidades de Gigabit

# Todas las Redes Inalámbricas : Clasificación

Una **red inalámbrica** representa un **sistema de comunicación** sin cables, en dónde la transferencia de información se hace través de ondas electromagnéticas que se desplazan en el vacío.

- ✓ **WPAN - Redes Inalámbricas de Área Personal**
  - ✓ Son redes de área pequeña ( menores a 10 mts).
  - ✓ Infrarrojo (4 Mbps) y Bluetooth (2,4 GHz-3Mbps).
  - ✓ Conexiones Ad Hoc.
- ✓ **WLAN - Redes Inalámbricas de Área Local**
  - ✓ Son redes de área mediana (500mts).
  - ✓ 802.11a,b,g,n,ac. (velocidades menores a 540 Mbps)
  - ✓ Conexiones de infraestructura.
- ✓ **WMAN - Redes Inalámbricas de Área Metropolitana**
  - ✓ Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (802.16).
  - ✓ Son redes de área mas extensa (48 km) y velocidades hasta 70 Mbps.
- ✓ **WWAN**
  - ✓ Son redes para infraestructura de telefonía móvil.
  - ✓ GPRS, CDMA, GSM.
  - ✓ Velocidad de 9,6/170/2000 Kb/s a frecuencias 0,9/1,8/2,1 GHz.
  - ✓ Utilizado por teléfonos, PDAs (Pocket, Palm, etc.)

# LAN inalámbricas: definición

Las LAN inalámbricas están normalizadas por el estándar **IEEE 802.11** el cual que define:

- ✓ Un conjunto de servicios
- ✓ Modos de control de acceso al medio (CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance)
- ✓ Varios tipos de transmisión aérea (FHSS: 1 Mbps y 2 Mbps; DSSS: 2 Mbps y 11Mbps; OFDM : 54 Mbps y MIMO: 100/600 Mbps)
- ✓ Un grupo de estándares 802.11:
  - ✓ IEEE 802.11, julio 1997
  - ✓ IEEE 802.11a,
  - ✓ IEEE 802.11b septiembre 1999
  - ✓ IEEE 802.11g
  - ✓ IEEE 802.11n
  - ✓ IEEE 802.11ac

# LAN inalámbricas: estándares claves

Standard	Scope
IEEE 802.11a	Physical layer: 5-GHz OFDM at rates from 6 to 54 Mbps
IEEE 802.11b	Physical layer: 2.4-GHz DSSS at 5.5 and 11 Mbps
IEEE 802.11c	Bridge operation at 802.11 MAC layer
IEEE 802.11d	Physical layer: Extend operation of 802.11 WLANs to new regulatory domains (countries)
IEEE 802.11e	MAC: Enhance to improve quality of service and security mechanisms
IEEE 802.11g	Physical layer: Extend 802.11b to data rates >20 Mbps
IEEE 802.11i	MAC: Enhance security and authentication mechanisms
IEEE 802.11n	Physical/MAC: Enhancements to enable higher throughput
IEEE 802.11T	Recommended practice for the evaluation of 802.11 wireless performance
IEEE 802.11ac	Physical/MAC: Enhancements to support 0.5–1 Gbps in 5-GHz band
IEEE 802.11ad	Physical/MAC: Enhancements to support $\geq 1$ Gbps in the 60-GHz band

# LAN inalámbricas: definición

## ¿Qué es WI-FI?

WI-FI es una marca de **WI-FI Alliance**. En la actualidad cuenta con mas de 300 miembros de mas de 20 países, la cual certifica hardware para redes 802.11. Alguno de sus miembros son:



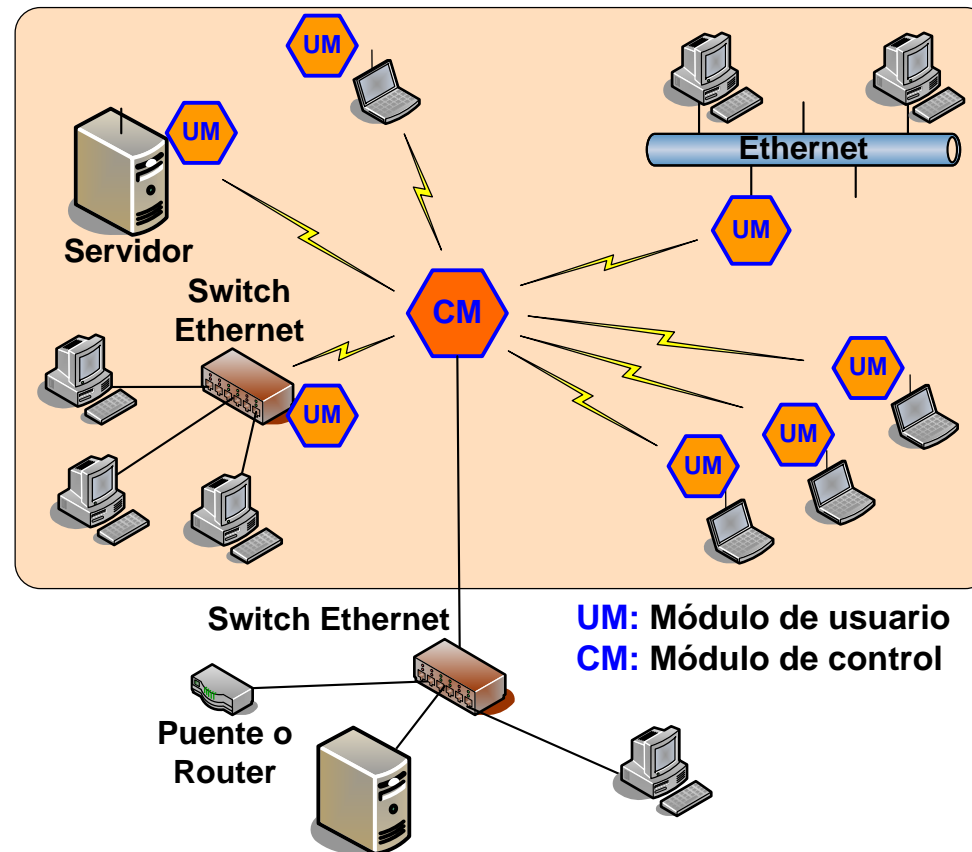
# LAN inalámbricas: Usos

1. Ampliación de una LAN cableada
  - ✓ A la LAN cableada existente se requiere agregar computadores, notebooks, netbooks, celulares, entre otros para ser conectados en red.
  - ✓ La conexión mediante cables no es posible porque:
    - ✓ Los equipos no tienen interface para red cableada
    - ✓ Las oficinas nuevas no prevén cableado de red para facilitar la movilidad de los usuarios y reducir costos de instalación
    - ✓ En edificios históricos: normalmente está prohibido hacer perforaciones para tender nuevo cableado.



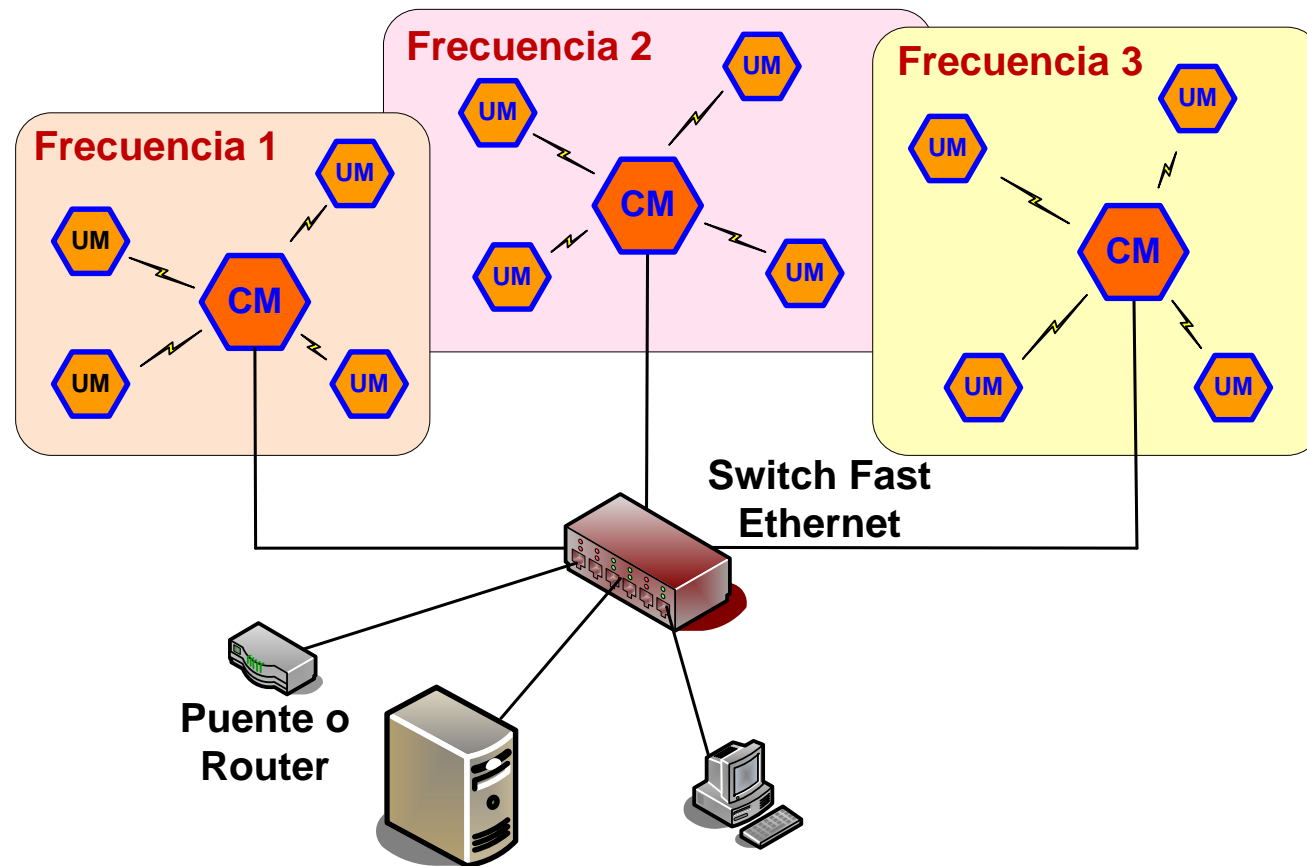
# LAN inalámbricas: Usos

1. Ampliación de una LAN cableada: LAN Inalámbrica de celda única



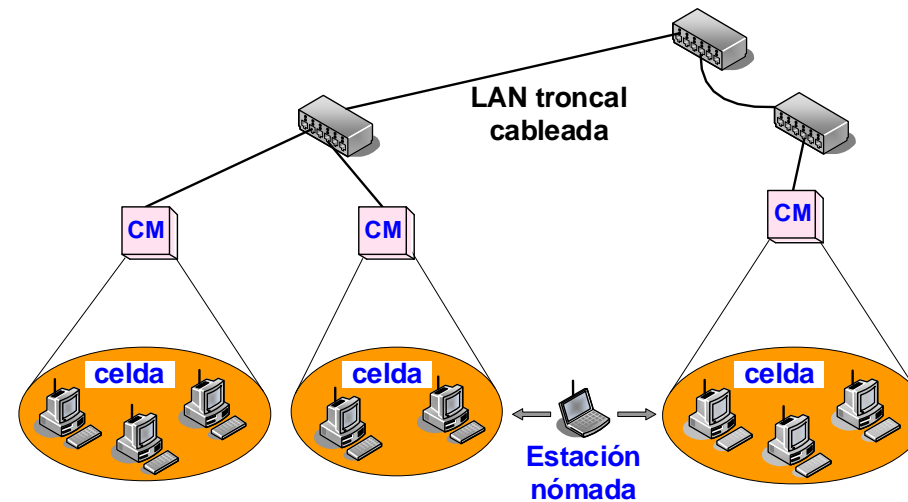
# LAN inalámbricas: Usos

1. Ampliación de una LAN cableada: LAN Inalámbrica de celdas múltiples

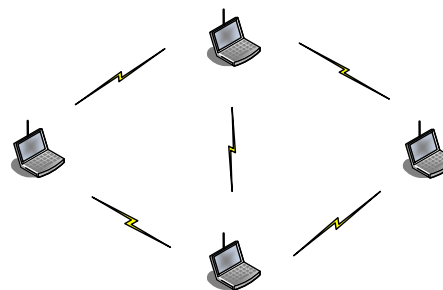


# LAN inalámbricas: Usos

2. Acceso nómada (a)
3. Red ad hoc (b)



(a) LAN inalámbrica con infraestructura



(b) LAN *ad hoc*

# LAN inalámbricas: Usos

## 4. Interconexión de Edificios



# LAN inalámbricas: requisitos

## Requisitos propios de las LAN Inalámbricas

1. **Rendimiento:** el protocolo de control de acceso al medio debe ser eficiente en un medio compartido (aire).
2. **Soporte a estaciones:** las LAN inalámbricas pueden necesitar dar soporte a cientos de estaciones usando una o varias celdas.
3. **Conexión con la LAN troncal:** en la mayoría de los casos es necesaria la conexión con estaciones de una LAN troncal cableada. (Ejemplo: conexión de CM con UM de la LAN cableada)
4. **Área de servicio: (superficie de cobertura).** Para una LAN inalámbrica un diámetro típico es entre 100 y 300 metros.
5. **Robustez en la transmisión y seguridad:** una LAN inalámbrica está expuesta a sufrir interferencias y escuchas. Debe generar transmisiones confiables, incluso en entornos ruidosos, y debe ofrecer un nivel de seguridad a los datos que se transfieren.

# LAN inalámbricas: requisitos

## Requisitos propios de las LAN Inalámbricas

6. **Funcionamiento correcto de redes adyacentes:** es probable que 2 o más LAN inalámbricas operen en zonas cercanas pudiendo haber interferencia entre ellas. Estas interferencias pueden afectar el normal funcionamiento del algoritmo MAC. Por ejemplo: permitir accesos no autorizados a una LAN particular.
7. **Funcionamiento sin licencia:** generalmente los usuarios prefieren trabajar sobre LAN inalámbricas que no precisan de una licencia para la frecuencia usada por la red.
8. **Traspasos/Movilidad:** el protocolo MAC usado en las LAN inalámbricas debería permitir a las estaciones móviles de desplazarse de una celda a otra.
9. **Configuración dinámica:** la gestión de red de la LAN inalámbrica debería permitir la inserción, eliminación y traslado dinámico y automático de cualquier computador sin afectar a otros computadores.

# LAN inalámbricas: Arquitectura y servicios

## Terminología IEEE 802.11

- ✓ **Punto de Acceso (AP):** es un dispositivo (puede ser una estación) que proporciona acceso aéreo al DS (Sistema de Distribución) a las estaciones asociadas.
- ✓ **Conjunto de Básico de Servicios (BSS – Basic Service Sets):** conjunto de estaciones controladas por un AP que ejerce la función de coordinación.
- ✓ **Función de coordinación:** determina cuando una estación, que está dentro de un BSS, tiene permiso para transmitir y recibir PDU's.
- ✓ **Sistema de Distribución (DS):** sistema utilizado para interconectar varios BSS y LAN's integradas para crear un Conjunto Extendido de Servicios (ESS – Extended Service Set).

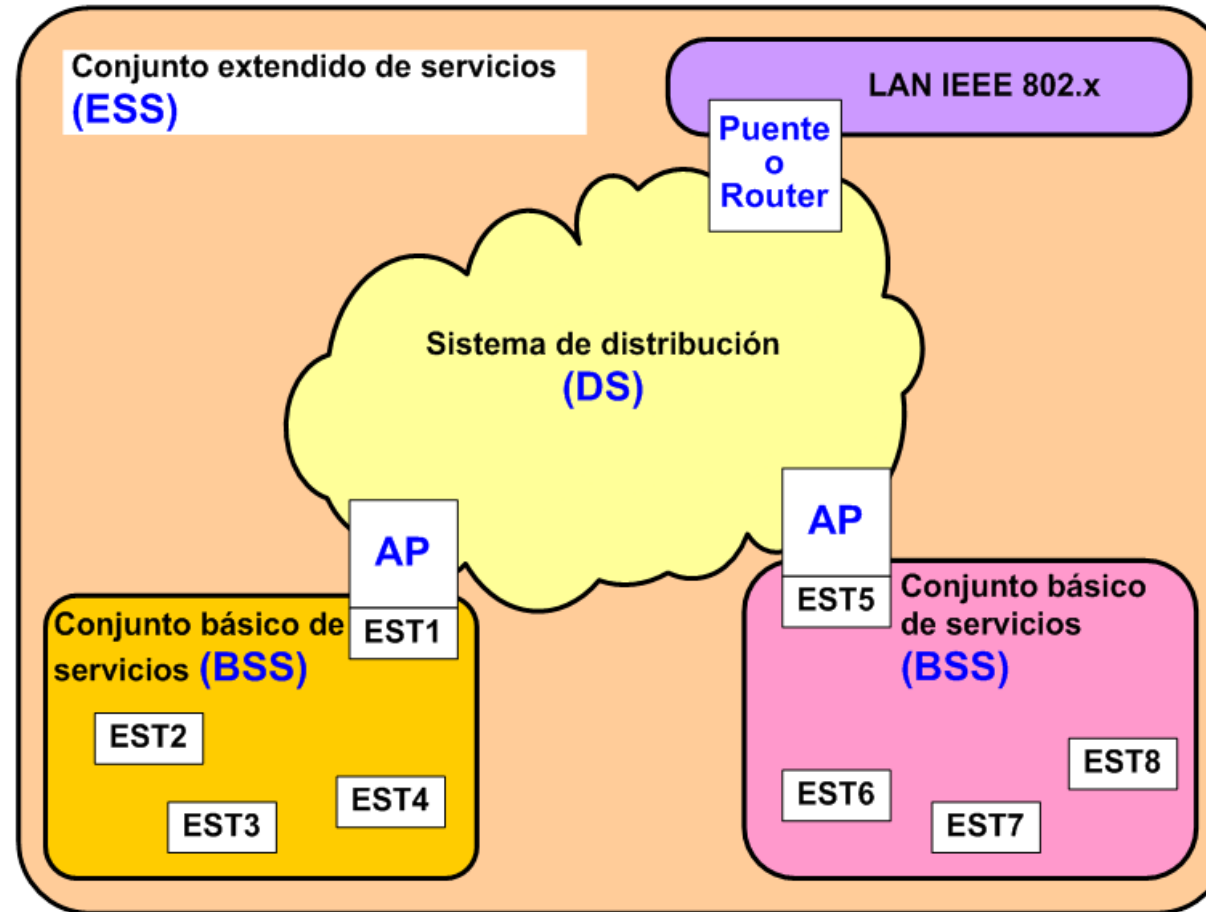
# LAN inalámbricas: Arquitectura y servicios

## Terminología IEEE 802.11

- ✓ **Conjunto Extendido de Servicios (ESS):** conjunto de uno o más BSS's interconectados y LAN's integradas que se comporta como un "único BSS" a nivel de la capa LLC de cualquier estación asociada.
- ✓ **Unidad de Datos del Protocolo MAC (MPDU):** unidad de datos que se intercambian entre protocolos MAC de las estaciones usando los servicios de la capa física.
- ✓ **Unidad de Datos del Servicio MAC (MSDU):** unidad de datos que se intercambian los protocolos de la capa LLC.
- ✓ **Estación (Station):** Cualquier dispositivo que contenga capa física y capa MAC compatibles con IEEE 802.11



# LAN inalámbricas: Arquitectura y servicios



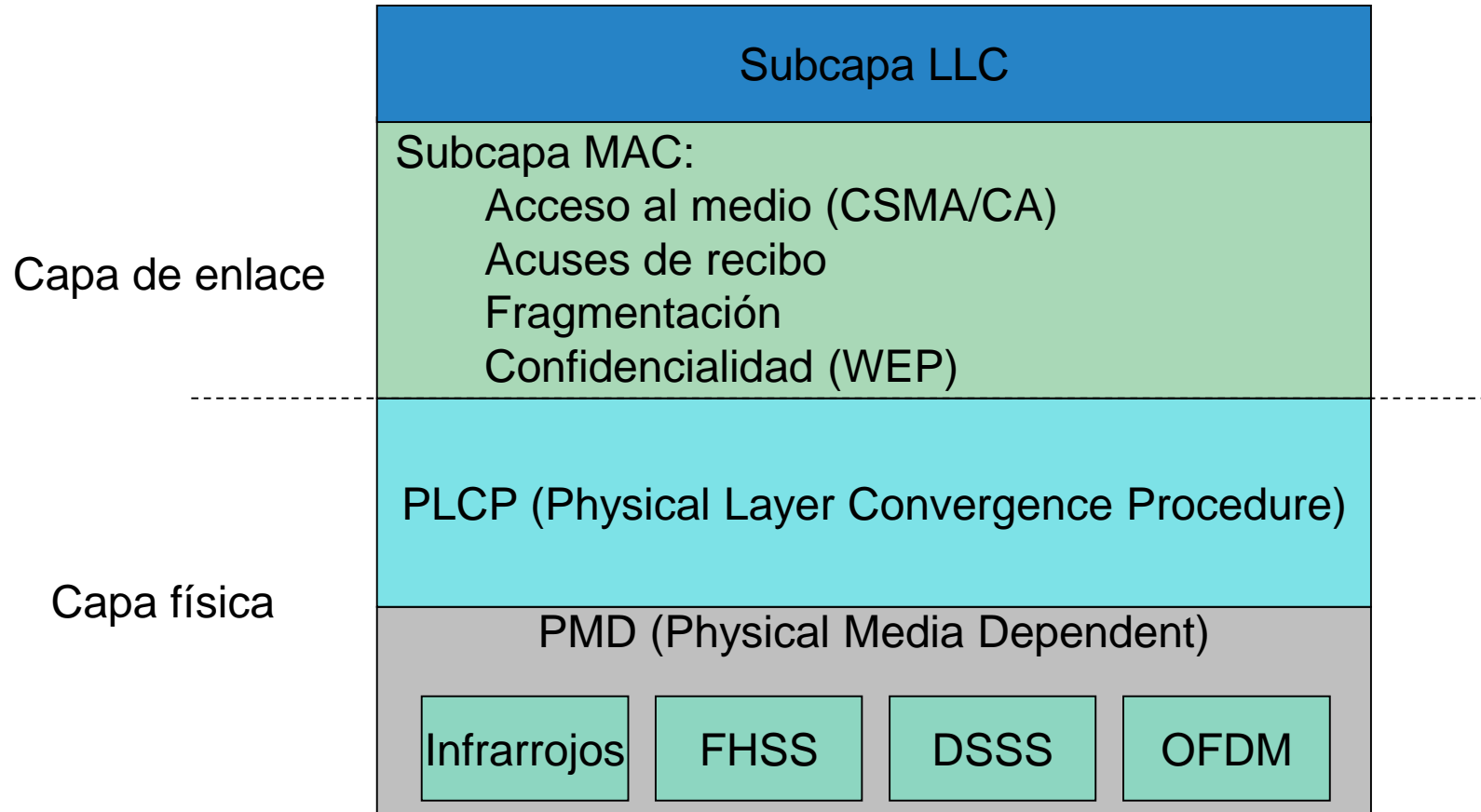
EST: Estación  
AP: Punto de Acceso

# LAN inalámbricas: Arquitectura y servicios

## Terminología IEEE 802.11

Servicio	Proveedor	Usado para dar soporte a
Asociación	Sistema de distribución	La entrega de MSDU
Autenticación	Estación	Acceso a la LAN y seguridad
Fin de la autenticación	Estación	Acceso a la LAN y seguridad
Disociación	Sistema de distribución	La entrega de MSDU
Distribución	Sistema de distribución	La entrega de MSDU
Integración	Sistema de distribución	La entrega de MSDU
Entrega de MSDU	Estación	La entrega de MSDU
Privacidad	Estación	Acceso a la LAN y seguridad
Reasociación	Sistema de distribución	La entrega de MSDU

# LAN inalámbricas: 802.11 y su arquitectura de protocolos



# LAN inalámbricas: Capa Física

## PMD (Physical Media Depend)

	Infrarrojos		Espectro expandido		Radio
	Infrarrojo difundido	Infrarrojo de haz directo	Salto de frecuencia	Secuencia directa	Microonda de banda estrecha
<b>Velocidad [Mbps]</b>	1 - 4	1 -10	1 - 3	2 - 50	10 - 20
<b>Alcance [m]</b>	15 - 60	25	30 - 100	30 - 250	10 - 40
<b>Long. de onda/ frecuencia</b>	$\lambda$ : 800 - 900 nm.		902 – 928 MHz 2,40 – 2,48 GHz 5,72 – 5,85 GHz		902 – 928 MHz 5,2 – 5,7 GHz 18,8 -19,2 GHz
<b>Técnica de modulación</b>	ASK		FSK	QPSK	FS/QPSK
<b>Potencia radiada</b>	-		menor que 1 W		25 mW
<b>Método de acceso</b>	CSMA	Anillo c/paso de testigo o CSMA	CSMA		Reserva o ALOHA o CSMA
<b>Necesidad de licencia</b>	No		No		Sí, a menos que sea ISM.

# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Infrarrojos

Característica particular: una celda está limitada a una sola habitación dado que la luz infrarroja no es capaz de atravesar muros opacos.

### ✓ Ventajas

- ✓ El espectro de infrarrojos es ilimitado, pudiéndose alcanzar velocidades de datos muy altas (hasta 10 Mbps o más).
- ✓ El uso de dicho espectro no está regulado internacionalmente.
- ✓ El espectro de infrarrojos tiene algunas propiedades de la luz visible como la reflexión difusa en las superficies. (se puede utilizar el techo como superficie reflectante para proporcionar cobertura de comunicación a toda una habitación).

# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Infrarrojos

### ✓ Ventajas

- ✓ Debido a que el infrarrojo no atraviesa muros, permite armar LAN's aisladas (sin interferencias entre sí), una en cada oficina de un edificio, posibilitando así la construcción de LAN's de muchas celdas.
- ✓ Los equipos son de relativo bajo costo y simples.

### ✓ Desventaja

- ✓ En una habitación puede haber radiación infrarroja de la luz solar o artificial, lo que provocará interferencia con la señal infrarroja de la LAN.
- ✓ Obliga a utilizar transmisiones de alta potencia lo que puede ser dañoso para la vista.

# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Infrarrojos: Técnicas de Transmisión

- ✓ De haz dirigido
  - ✓ Se usa para enlaces punto a punto (por ejemplo: interconexión entre edificios cuando existe línea de vista entre ellos).
  - ✓ Puede alcanzar distancias de hasta varios kilómetros.
- ✓ Configuración omnidireccional
  - ✓ Estación base actuando como repetidor multipunto: se ubica en un lugar que está en línea de vista de todas las estaciones. A su vez, cada estación apunta hacia la estación repetidora.
- ✓ Configuración de difusión
  - ✓ La antena del transmisor es enfocada hacia un punto en el techo reflectante al que dirige la señal. Esta radiación es reflejada y llega a todos los computadores de la zona.

# LAN inalámbricas: Capa Física

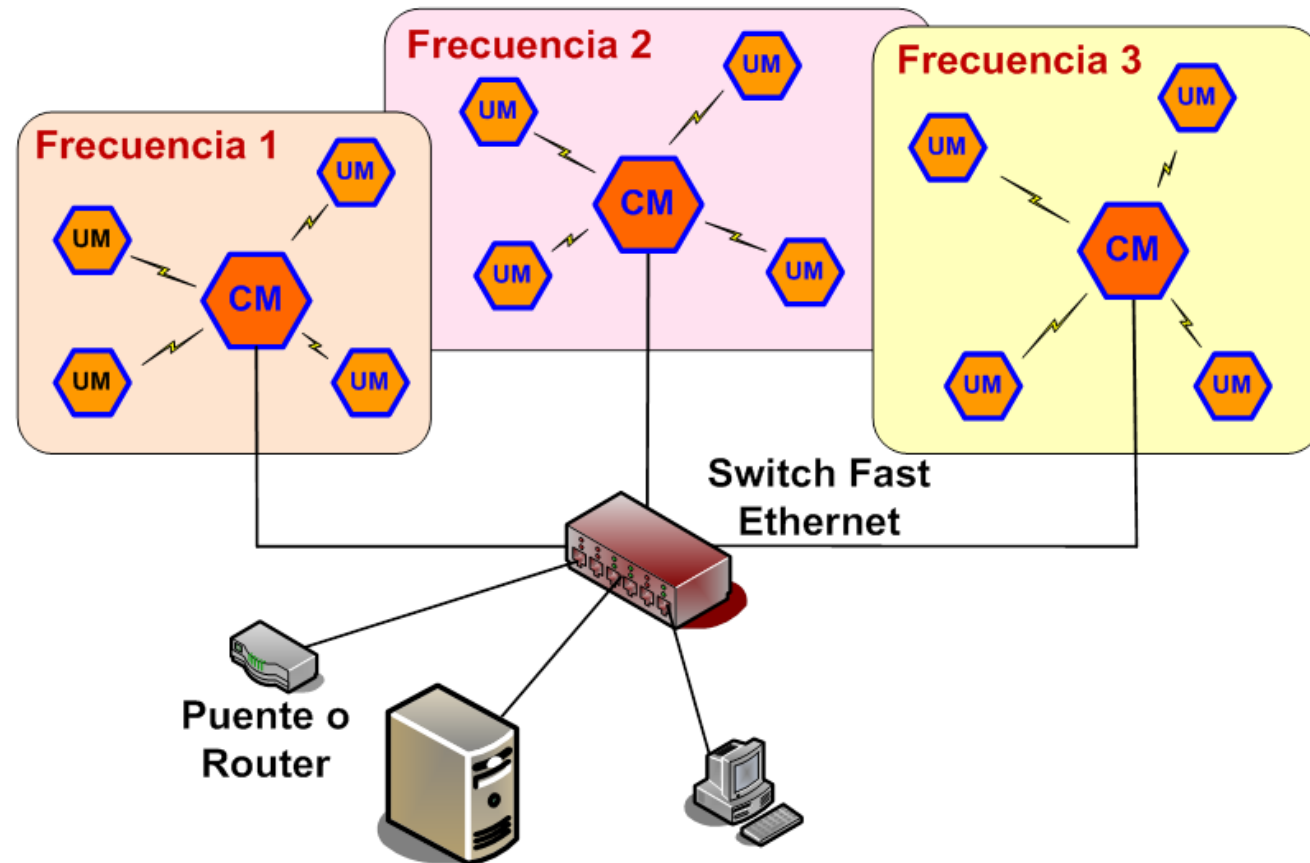
## LAN de Espectro Expandido

- ✓ Hace uso de tecnologías de transmisión de espectro expandido. En la mayoría de los casos operan en las **bandas ISM de 2.4 y 5.7 GHz** (industria, ciencia y medicina).
- ✓ Las celdas adyacentes usan frecuencias diferentes para evitar interferencias.
- ✓ En cada celda se usa una topología basada en un CM que suele ubicarse en el techo y conectarse a una LAN cableada troncal para proporcionar conectividad entre las estaciones conectadas a las diversas redes locales (cableadas o inalámbricas pertenecientes a otras celdas).
- ✓ En la configuración de celdas múltiples, una función adicional del CM es el traspaso automático de estaciones móviles: cuando el CM detecta de una estación que la señal se debilita, traspasa automáticamente la estación al CM adyacente (próximo slide).



# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido



# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido por Salto de Frecuencia

### FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

- ✓ El emisor y el receptor van cambiando continuamente de frecuencia, siguiendo una secuencia previamente acordada.
- ✓ Para emitir se emplea un canal estrecho y se concentra en él toda la energía.
- ✓ En 802.11 se utilizan 78 canales de 1 MHz y se cambia de canal cada 0,4 segundos.
- ✓ Usa la banda ISM de los 2,4 GHz

# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido por Secuencia Directa

### DSSS (Direct Sequency Spread Spectrum)

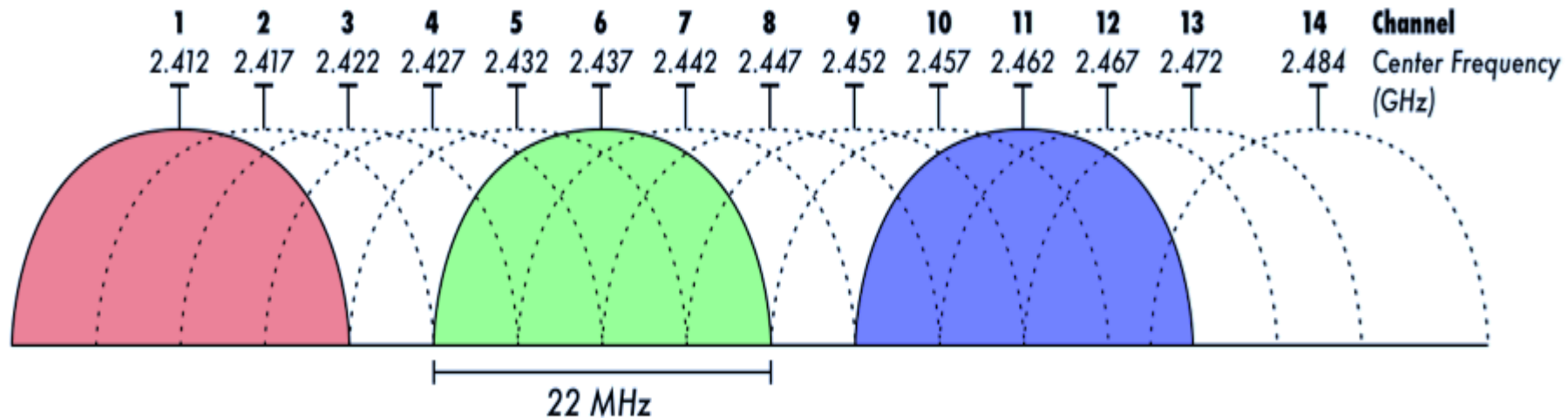
- ✓ El emisor utiliza un canal muy ancho y envía la información codificada con mucha redundancia. La energía emitida se reparte en una banda más ancha que en FHSS
- ✓ Se confía en que el receptor sea capaz de descifrar la información, aun en el caso de que se produzca alguna interferencia en alguna frecuencia
- ✓ El canal permanece constante todo el tiempo
- ✓ En 802.11 se utilizan canales de 22 MHz
- ✓ Usa la banda ISM de los 2,4 GHz

# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido por Secuencia Directa

### DSSS (Direct Sequency Spread Spectrum)

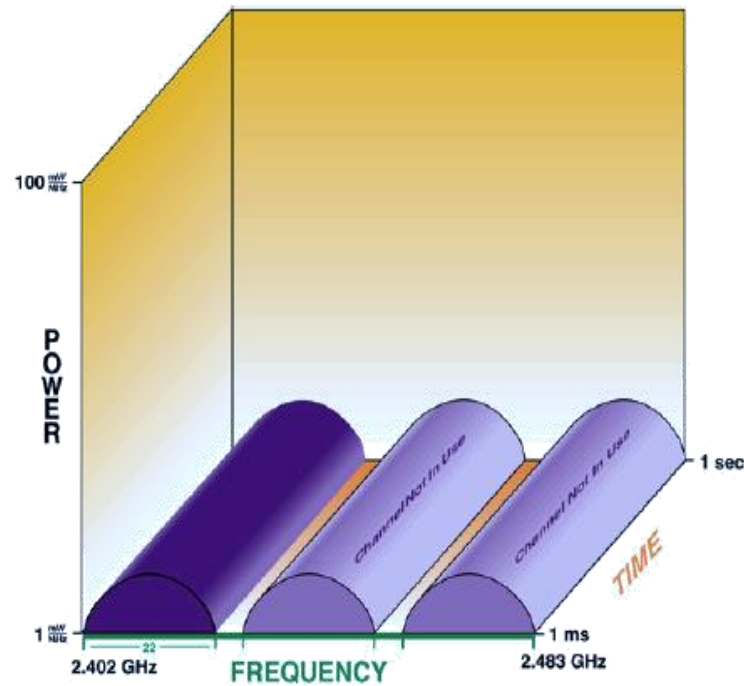
- ✓ Cada Canal tiene 22 MHz de ancho de banda
- ✓ Se definen hasta 14 canales. América usa del canal 1 al 11
- ✓ En Argentina el canal 1, 6 y 11 no están solapados
- ✓ El centro de Frecuencia de cada canal está separado de 5MHz



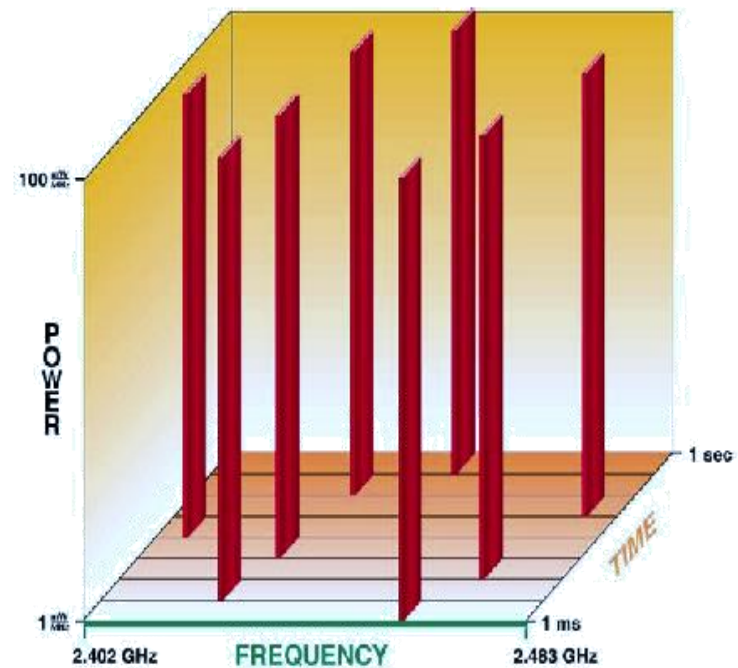
# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido: FHSS vs. DSSS

### Direct Sequence

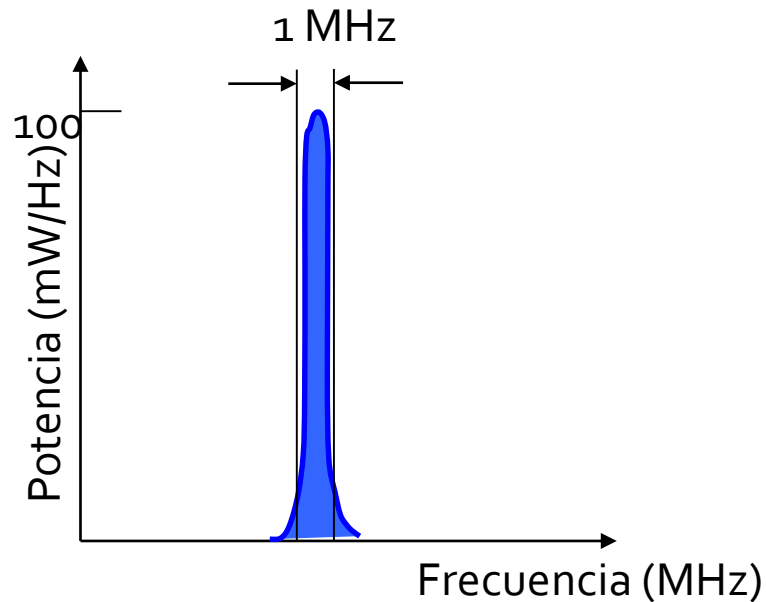


### Frequency Hopping



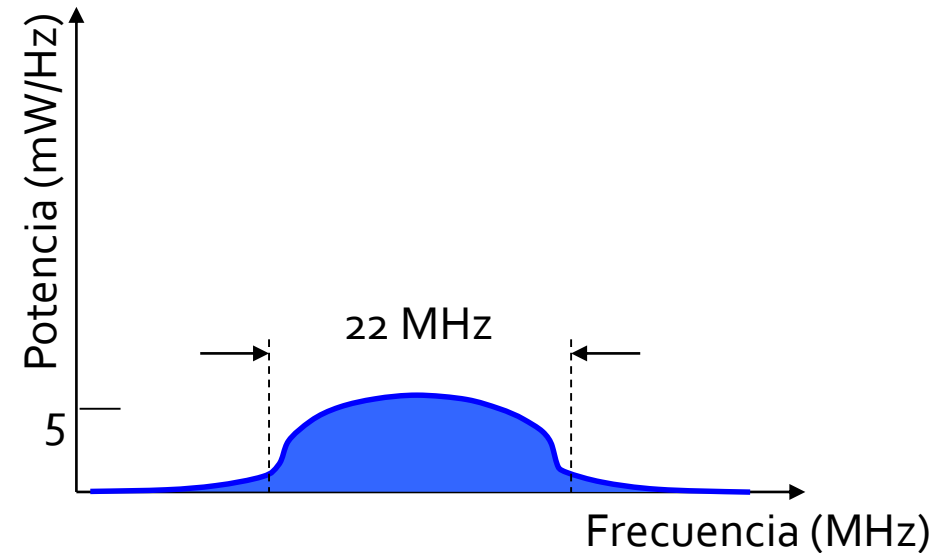
# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido: FHSS vs. DSSS



Frequency Hopping

Señal concentrada, gran intensidad  
Elevada relación S/R  
Área bajo la curva: 100 mW



Direct Sequence

Señal dispersa, baja intensidad  
Reducida relación S/R  
Área bajo la curva: 100 mW

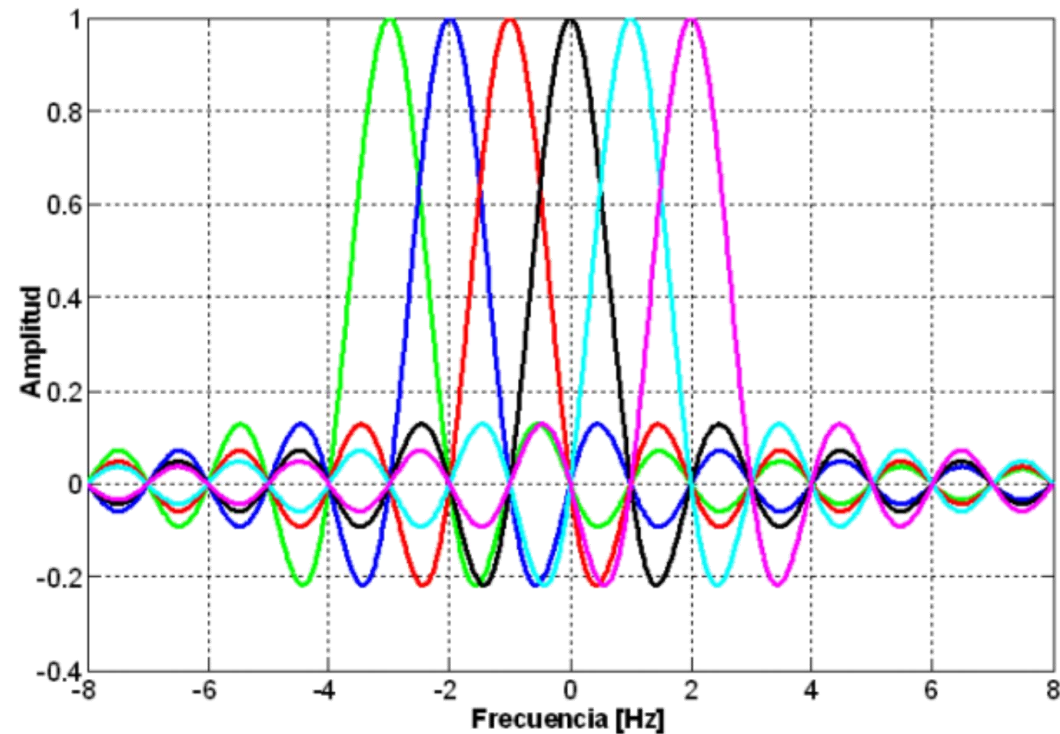
# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido: Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- ✓ OFDM divide el canal en varias subportadoras o subcanales que envían los datos en paralelo, modulados en una portadora analógica
- ✓ Los subcanales son ortogonales entre sí, con lo que se minimiza la interferencia y se puede minimizar la separación entre ellos
- ✓ En 802.11a el canal se divide en 52 subcanales, cada uno de unos 300 KHz de anchura
- ✓ De los 52 subcanales 48 se usan para datos y 4 para corrección de errores

# LAN inalámbricas: Capa Física

LAN de Espectro Expandido: Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing)



Espectro de una señal OFDM con 6 sub-portadoras.



# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido: Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- ✓ Utilizando diferentes tipos de modulación puede variarse el caudal por subcanal y por tanto el caudal total
- ✓ Las modulaciones más eficientes (64QAM) necesitan un canal con mejor relación señal/ruido

Modulación	Bits/símbolo	Caudal por subcanal (Kb/s)	Velocidad(Mb/s)
BPSK	1	125	6
BPSK	1	187,5	9
QBPSK	2	250	12
QBPSK	2	375	18
16QAM	4	500	24
16QAM	4	750	36
64QAM	6	1000	48
64QAM	6	1125	54

# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN de Espectro Expandido: Rendimiento OFDM

Distancia (m)	802.11b	802.11a	802.11g puro	802.11g mixto con CTS-to-self	802.11g mixto con RTS/CTS
3	5,8	24,7	24,7	14,7	11,8
15	5,8	19,8	24,7	14,7	11,8
30	5,8	12,4	19,8	12,7	10,6
45	5,8	4,9	12,4	9,1	8,0
60	3,7	0	4,9	4,2	4,1
75	1,6	0	1,6	1,6	1,6
90	0,9	0	0,9	0,9	0,9

# LAN inalámbricas: Capa Física

## LAN Microondas de Banda Estrecha

- ✓ Muchos de estos productos operan a frecuencias para las que es necesario licencia, mientras que otras lo hacen en alguna de las bandas libres de licencia (ISM).
- ✓ Utilizan frecuencias cercanas a 18 GHz.
- ✓ El usuario sintoniza el transmisor y el receptor en una determinada frecuencia. No es necesario línea vista, porque utiliza frecuencias de radio.
- ✓ Generalmente los usuarios utilizan un servicio de suscripción, por el cual abonan un canon mensual

B r e a k

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

El control de acceso al medio que implementa la capa MAC de IEEE 802.11 implican las siguientes funciones:

- ✓ Entrega confiable de los datos
- ✓ Control de acceso al medio
- ✓ Seguridad

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función: Entrega confiable de datos

- ✓ Problemas de cualquier red inalámbrica
  - ✓ Es común la pérdida de tramas durante la transmisión inalámbrica.
  - ✓ Las pérdidas son debido: al ruido, las interferencias y otros aspectos de la propagación.
  - ✓ Una forma de hacer frente a esta situación es usar mecanismos que proporcionen confiabilidad en capas más altas como TCP.
  - ✓ La dificultad de usar TCP: es muy lento para las necesidades de una conexión en LAN (usa temporizadores del orden de los segundos).

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función: Entrega confiable de datos

- ✓ Solución propuesta por 802.11
  - ✓ Cuando una estación B recibe una trama de datos enviada por una estación A, devuelve una trama de confirmación (ACK) a la estación A.
  - ✓ Si la estación origen A (inicia un temporizador al momento de enviar la trama), por alguna causa, no recibe la confirmación (ACK) de la estación B hasta el momento de vencimiento del temporizador, entonces A retransmite la trama hacia B
  - ✓ Utilización de tramas RTS (Request To Send) y CTS (Clear to Send)
  - ✓ RTS (Request to Send), alerta a todas las estaciones que están en el rango de cobertura de la red inalámbrica, que una estación está por transmitir.

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función: Control de Acceso al medio

- ✓ IEEE 802.11 propone 2 formas de control de acceso al medio:
  - ✓ Distribuido
  - ✓ Centralizado
- ✓ Acceso distribuido
  - ✓ Implica que todos los computadores pueden acceder al medio compitiendo en igualdad de condiciones.
  - ✓ Se implementa mediante un protocolo que opera en la subcapa MAC inferior que desempeña la Función de Coordinación Distribuida o DCF (Distribution Coordination Function).
  - ✓ Uso: por ejemplo, en una red ad hoc de estaciones pares.



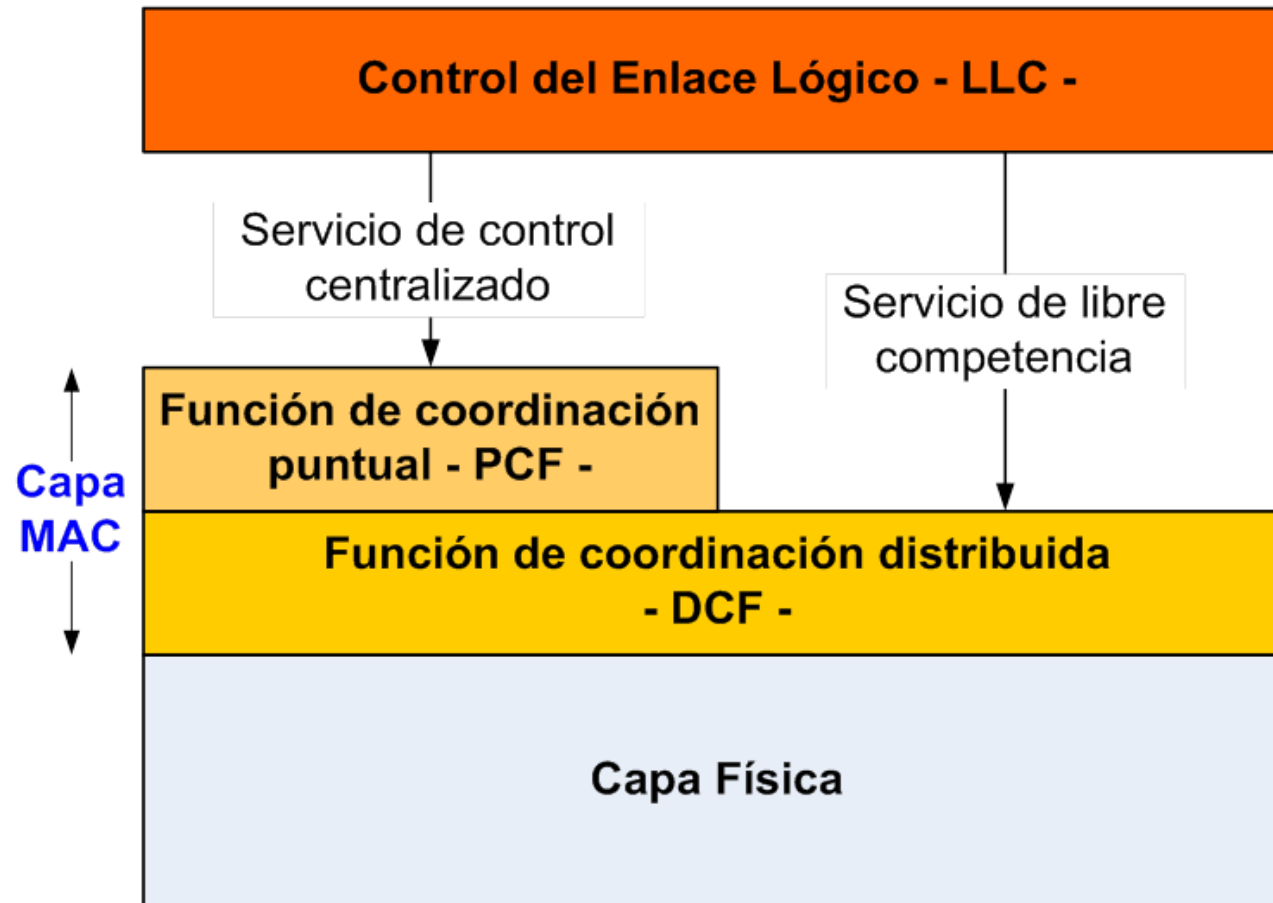
# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función: Control de Acceso al medio

- ✓ Acceso centralizado
  - ✓ Implica que el acceso al medio está regulado por una autoridad central que toma decisiones sobre cuándo y cómo una estación puede transmitir en él.
  - ✓ El algoritmo que lleva a cabo esta función opera en la subcapa MAC (está encima de la subcapa DCF), lleva a cabo la Función de Coordinación Puntual o PCF (Point Coordination Function).
  - ✓ La subcapa **PCF** utiliza las características de la **DCF** para asegurar el acceso a los usuarios.
  - ✓ Usos: en una LAN inalámbrica conectada con una LAN cableada, o cuando se desea configurar servicios de transmisión con prioridades o en tiempo real en una o más estaciones.

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

Función: Control de Acceso al medio



# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

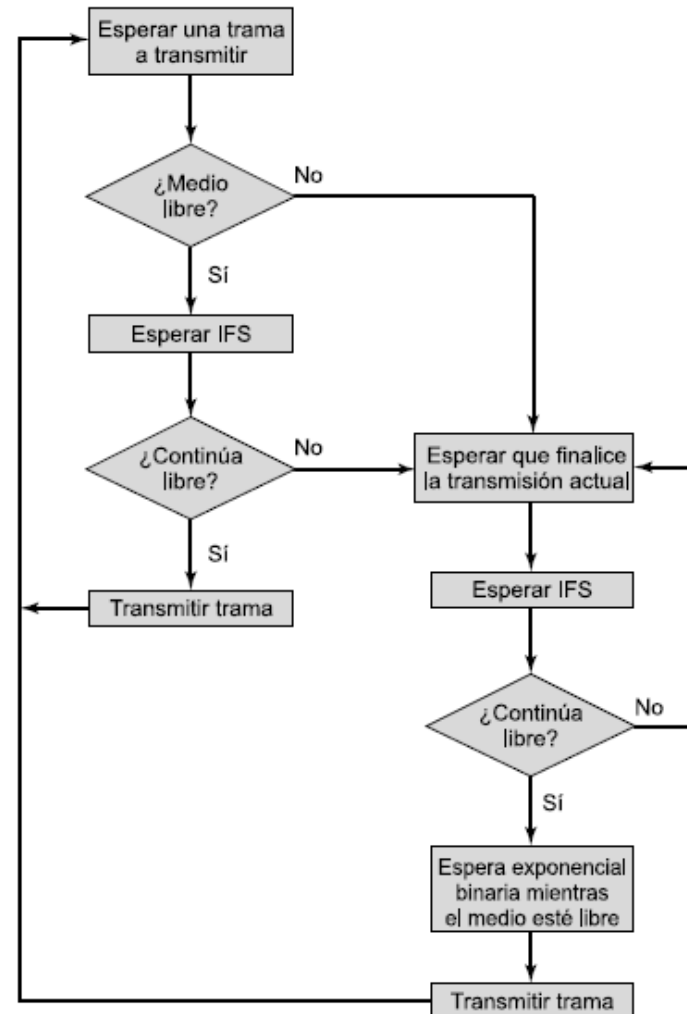
## Función: Control de Acceso al medio

### Función de Coordinación Distribuida (DCF)

- ✓ La subcapa DCF hace uso de un sencillo algoritmo CSMA o acceso múltiple con detección de portadora:
- ✓ Las estaciones están “escuchando” el medio. Cuando una desea transmitir una trama, si el medio está libre la estación puede transmitir. En el otro caso, la estación debe esperar hasta que el medio quede libre de señal.
- ✓ La DCF no incluye una función de detección de colisiones como CSMA/CD porque este mecanismo no puede ser aplicable a una red inalámbrica. (para que eso sea posible, las estaciones deben poder detectar las colisiones cosa que no ocurre por las características del medio).
- ✓ Para asegurar un funcionamiento adecuado y equitativo de este algoritmo, la DCF incluye un retardo en tiempo llamado IFS (InterFrame Space).

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

Función: Control de Acceso al medio. DCF reglas de CSMA/CA



# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función: Control de Acceso al medio

### Función de Coordinación Puntual (PCF)

- ✓ PCF es un método (centralizado) de acceso alternativo implementado sobre DCF (distribuido) y cuya función consiste en un sondeo realizado por un dispositivo central de sondeos (coordinador puntual).
- ✓ El coordinador puntual hace uso de los IFS (que esperan las estaciones para transmitir) para adueñarse del medio y bloquear todo el tráfico. Usando tiempos menores que el IFS emite un sondeo a las estaciones y recibe las respuestas.

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función: Control de Acceso al medio

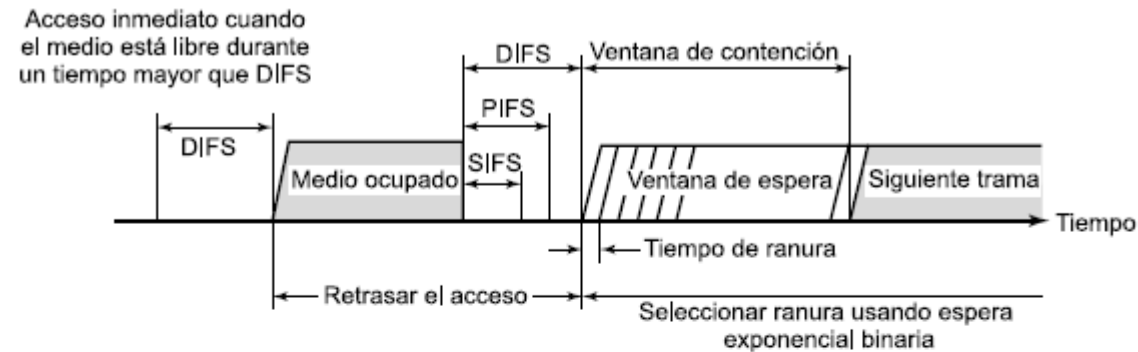
### Función de Coordinación Puntual (PCF)

- ✓ Si el coordinador puntual recibe una o más respuestas durante el IFS, autoriza a las estaciones a transmitir siguiendo una escala de prioridades.
- ✓ Si el coordinador puntual no recibe respuestas durante el IFS, deja ese tiempo para las estaciones que operan en forma distribuida
- ✓ En una red inalámbrica pueden haber algunas estaciones que operan en forma distribuida y otras con coordinación puntual

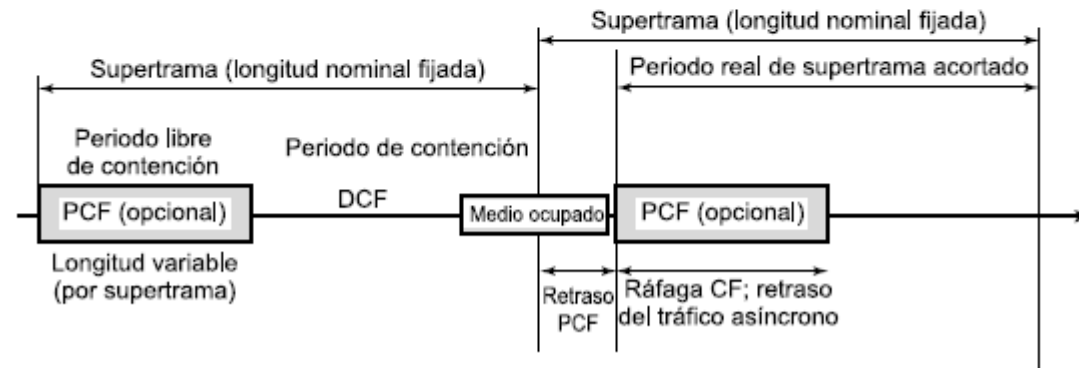
# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función: Control de Acceso al medio

### Funciones PCF y DCF



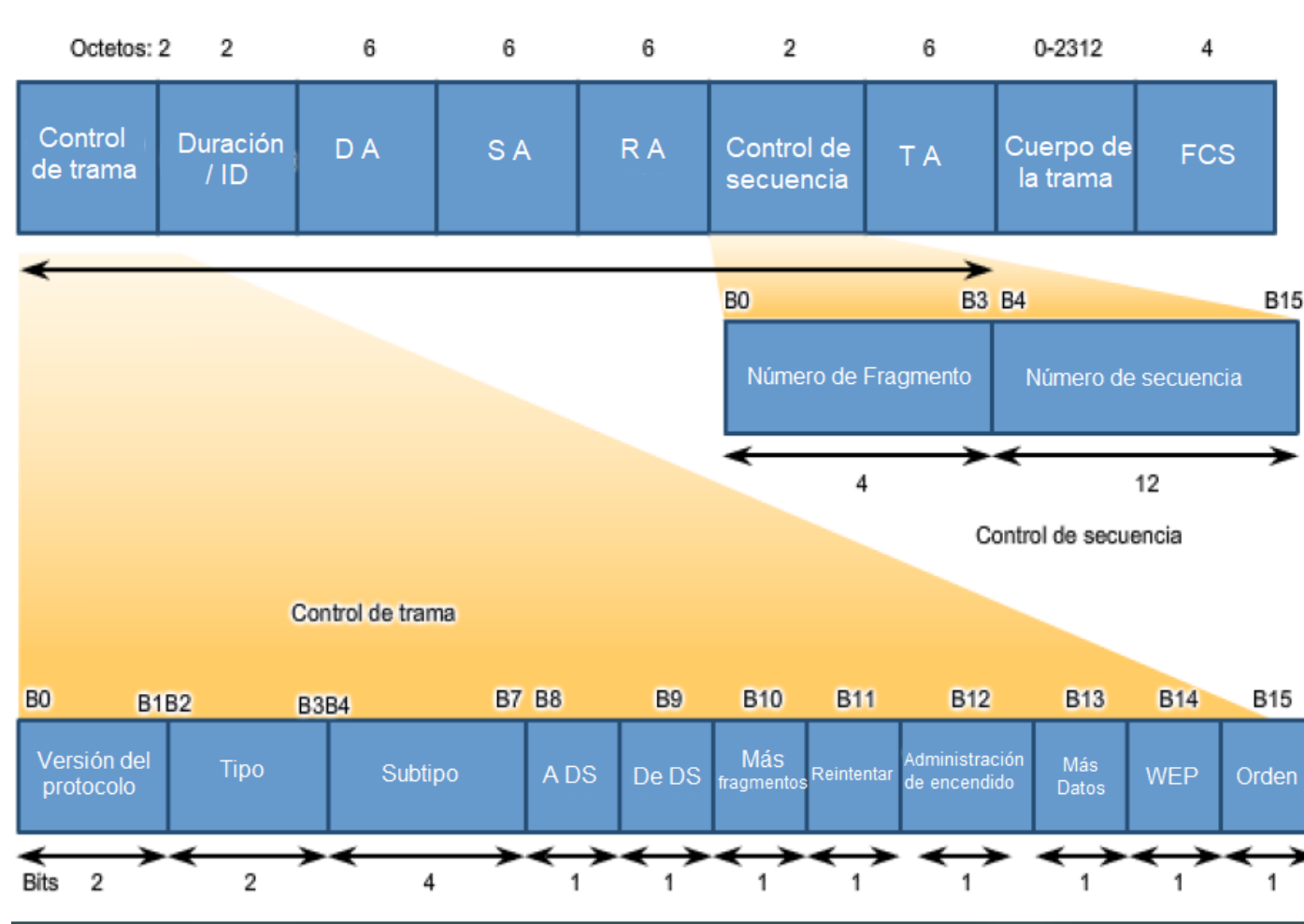
(a) Método básico de acceso



(b) Uso de las supertramas por la PCF

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Formato de la Trama





# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Formato de la Trama 802.11

- ✓ Campo FC – Frame Control (2 bytes):
  - ✓ Versión del protocolo (2 bits) actualmente es la 0
  - ✓ Tipo (2 bits): gestión(00), control(01) o datos(10)
  - ✓ Subtipo (4 bits): petición de envío (1011)(RTS), listo para enviar(1100)(CTS) o confirmación(1101)(ACK)
  - ✓ A DS (1 bit): Se define después (DS – Distribution System)
  - ✓ DE DS (1 bit): Se define después (Distribution System)
  - ✓ Flag (1 bit): Más fragmentos
  - ✓ Reintento (1 bit): Trama retransmitida
  - ✓ Gestión de potencia (1 bit): La estación está en modo potencia
  - ✓ Más datos (1 bit): Hay más datos para enviar
  - ✓ WEP (1 bit): Cifrado implementado
  - ✓ Rsvd (1 bit): Reservado

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Formato de la Trama 802.11

A DS	DE DS	MAC ADDRESS 1	MAC ADDRESS 2	MAC ADDRESS 3	MAC ADDRESS 4
0	0	DA (Destino)	SA (Origen)	ID de BSS	N/A
0	1	DA (Destino)	TA - AP Emisor	SA	N/A
1	0	RA - AP Receptor	SA (origen)	DA (destino)	N/A
1	1	RA - AP Receptor	TA – AP Emisor	DA (origen)	SA (destino)

Caso 00: Envío de estación a estación.

Caso 01: Envío de AP a estación.

Caso 10: Envío de estación a AP

Caso 11: Envío de AP a AP

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Formato de la Trama 802.11

- ✓ Campo D (2 bytes):
  - ✓ Duración de la transmisión para fijar el valor NAV (Tiempo de espera de las demás estaciones antes de comprobar que el canal está libre)
- ✓ Campo direcciones MAC (6 bytes cada uno):
  - ✓ El valor de los campos depende de los bits A DS y DE DS visto anteriormente
- ✓ Campo de control de secuencia (2 bytes):
  - ✓ Define el número de secuencia de la trama
- ✓ Cuerpo de la trama (Entre 0 y  $2^{31}-2$  bytes).
- ✓ Campo FCS (4 bytes):
  - ✓ Contiene una secuencia de detección de errores CRC

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

## Función de seguridad

- ✓ Una red inalámbrica es insegura por su naturaleza
- ✓ Mecanismos para mejorar la seguridad de una red inalámbrica
  - ✓ Ocultar el anuncio del SSID (Service Set Identifier)
  - ✓ Activar el acceso por direcciones MAC (MAC Address)
  - ✓ Acotar el rango y las opciones del servidor DHCP
  - ✓ Implementar el alquiler de direcciones IP estáticas
  - ✓ Implementar mecanismos de asociación y autenticación (WEP, WPA, WPA2, etc).
  - ✓ Implementar cifrados en capas superiores (IPSec)

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

**Función de seguridad:** Wired Equivalen Privacy (WEP)

- ✓ Objetivos
  - ✓ Conseguir en la red inalámbrica el mismo nivel de privacidad que en una red cableada
  - ✓ Proteger la confidencialidad de los datos que se transmiten por el aire: cifrar las tramas de datos
  - ✓ Proteger la integridad de los mensajes
- ✓ Utiliza el algoritmo de cifrado RC<sub>4</sub>
- ✓ Originalmente era un algoritmo propietario de RCA Security, pero se publicó de forma anónima en Internet y se popularizó
- ✓ El algoritmo cifra a gran velocidad y parecía muy seguro
- ✓ Con el tiempo se le han ido encontrando algunos problemas

# LAN inalámbricas: Capa Control de Acceso al Medio

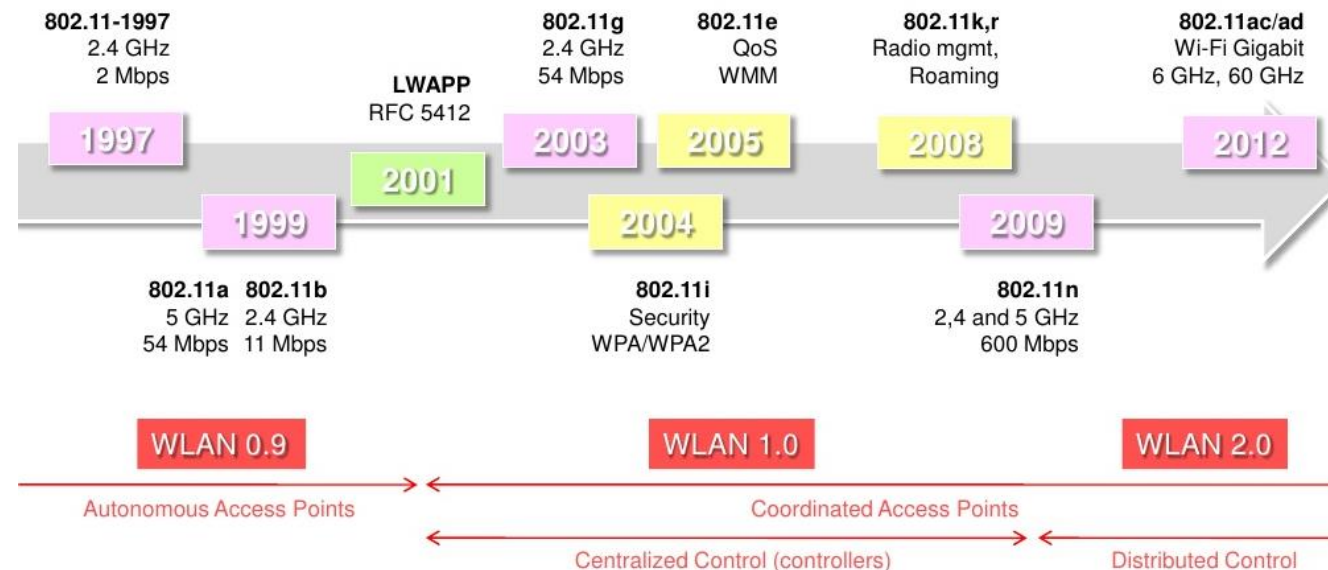
**Función de seguridad:** Wi-Fi Protected Access (WPA)

- ✓ Resuelve los problemas de seguridad de WEP
- ✓ Emplea TKIP (Temporal Key Integrity Protocol)
- ✓ Utiliza método de autenticación
- ✓ Ofrece dos versiones:
  - ✓ WPA Personal (clave pre compartida, WPA-PSK)
  - ✓ WPA Empresarial (Enterprise, WPA Enterprise)
- ✓ WPA2 (IEEE 802.11i, 2004) :
  - ✓ Seguridad extra a WPA, utiliza AES
  - ✓ Menos eficiencia en el rendimiento de la red (precio de la seguridad)
  - ✓ Fue vulnerado una vez en 2017
- ✓ WPA3 (anunciado en Enero de 2018)
  - ✓ Cifrado de 128 bit en WPA3 Personal
  - ✓ Cifrado de 192 bit en WPA3 Empresarial
  - ✓ En proceso de implementación

# LAN inalámbricas: Familia 802.11

## 802.11 Legacy

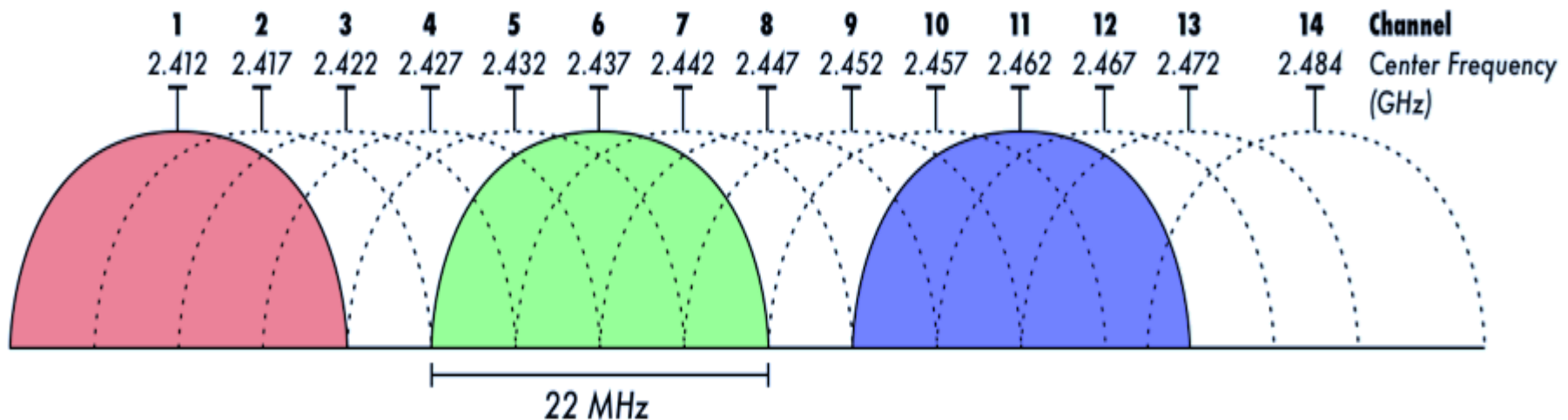
- ✓ Primera norma 802.11, publicada en 1997, velocidades de 1 y 2 Mbps
- ✓ Trabajaba en la frecuencia de los 2,4 GHz, tuvo bastante dificultades para operar con equipos de distintos fabricantes
- ✓ Actualmente está obsoleta



# LAN inalámbricas: Familia 802.11

## 802.11 b

- ✓ Publicada 1999, trabaja a 11 Mbps y usa el estándar CSMA/CA
- ✓ Trabaja en la frecuencias de los 2.4 GHz, compatible con 802.11 Legacy
- ✓ Debido al uso de CSMA/CA la velocidad máxima es 5,9 Mbps sobre TCP y 7,1 Mbps sobre UDP
- ✓ Utiliza 11 canales separados por 5 MHz entre ellos, en Europa 14 canales
- ✓ Modulación CCK, mejorado con una codificación PBCC

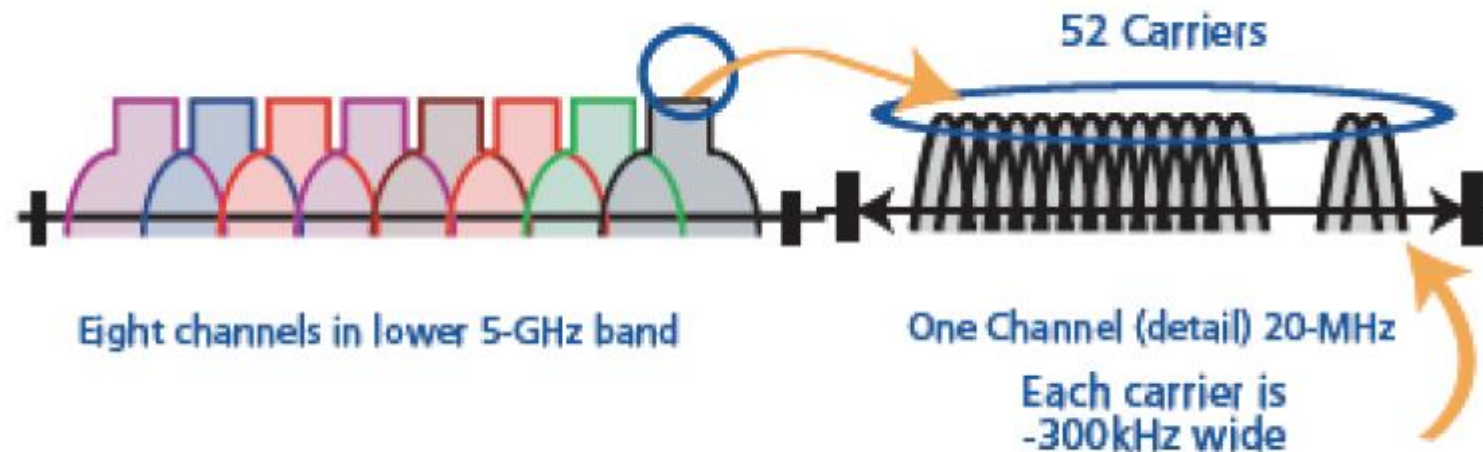




# LAN inalámbricas: Familia 802.11

## 802.11 a

- ✓ Publicada a fines 1999, permite velocidades de 54 Mbps
- ✓ Trabaja en los 5.0 GHz. La frecuencia más alta, y técnicas de modulación y codificación permiten los 54 Mbps
- ✓ Define 12 canales no solapados de 25 MHz de ancho de banda cada uno
- ✓ No compatible con 802.11 b



# LAN inalámbricas: Familia 802.11

## 802.11 g

- ✓ Se publica en el 2003 como una evolución del 802.11 b
- ✓ Trabaja en los 2.4 GHz con una velocidad teórica de 54 Mbps
- ✓ Compatible con el estándar b, trabaja con los mismos canales. Cuando existen nodos 802.11 b y 802.11 g, la velocidad baja a los valores de 802.11 b
- ✓ Mejora la reflexión de la señal

Data Rate (Mbps)	Transmission type	Modulation scheme
54	OFDM	64QAM
48	OFDM	64QAM
36	OFDM	16QAM
24	OFDM	16QAM
18	OFDM	QPSK
12	OFDM	QPSK
11	DSSS	CCK
9	OFDM	BPSK
6	OFDM	BPSK
5.5	DSSS	QPSK, DQPSK
2	DSSS	QPSK
1	DSSS	BPSK

# LAN inalámbricas: Familia 802.11

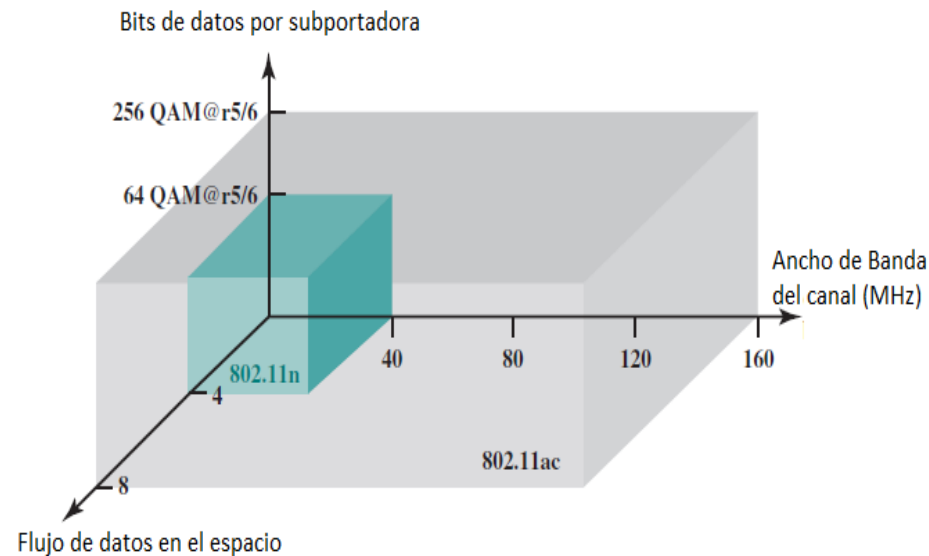
## 802.11 n

- ✓ Entre sus innovaciones clave, el estándar 802.11n (2009) añade una tecnología
- ✓ llamada «múltiple-input múltiple-output» (MIMO), una señal de procesamiento y
- ✓ una antena inteligente para transmitir varias secuencias de datos a través de
- ✓ diversas antenas
- ✓ La velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 Mbps (lo que significa que
- ✓ las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta
- ✓ 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de
- ✓ 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b
- ✓ A diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, 802.11n puede trabajar en dos
- ✓ bandas de frecuencias: 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a). Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de Wi-Fi. Además, es útil que trabaje en la banda de 5 GHz, ya que está menos congestionada y en 802.11n permite alcanzar un mayor rendimiento.

# Gigabit WI-FI

## 802.11ac (WI-FI 5G o WI-FI Gigabit)

Standard IEEE	Banda	Tecnología	Modulación	Ancho del canal	MIMO	Máxima Velocidad
802.11n	2.4 y 5 GHz	OFDM	Hasta 64 QAM	20 y 40 MHz	Hasta 4 x 4	600 Mbps
802.11ac	2.4 y 5 GHz	OFDM	Hasta 256 QAM	40, 80 y 160 MHz	Hasta 8 x 8	3 Gbps



# Gigabit WI-FI

## 802.11ad (Primer estándar WI-FI no creado por la IEEE)

- ✓ Opera en la banda de 60 GHz.
- ✓ Velocidad hasta 7 Gbps
- ✓ Nueva arquitectura PBSS (Personal Basic Set Service).
- ✓ Emplea el sistema MU-MIMO, configuración de hasta 8 x 8.
- ✓ Técnica Beamforming
- ✓ Técnica de modulación OFDM.
- ✓ Podría descargar una película de 1 GB en 3 o 4
- ✓ Está diseñado para antena de única
- ✓ Canal con un gran ancho de banda: 2160 MZ
- ✓ Corto alcance (una habitación)

# Gigabit WI-FI

## 802.11ax (WI-FI 6)

	WIFI 5	WIFI 6
BANDAS	5 GHz	2.4 y 5 GHz
ANCHO DE BANDA DEL CANAL	20, 40, 80, 80+80 y 160 Mhz	20, 40, 80, 80+80 y 160 Mhz
TAMAÑOS DE FTT	64, 126, 256, 512	256, 512, 1024, 2048
MODULACIÓN MÁS ALTA	256-QAM	1024-QAM
VELOCIDAD DE DATOS	433 Mbps por stream (80 MHz) Máx. 7000 Mbps	600 Mbps por stream (80 MHz) Máx. 10000 Mbps
OFDMA	No disponible, OFDM en su lugar.	Disponible: menor latencia y menos congestión con varios dispositivos
MU-MIMO	Solo para descarga	Simultanea de subida y bajada: mejor velocidad en redes con muchos dispositivos
COLORACIÓN BSS	No disponible	Disponible: menos interferencias
TARGET WAKE TIME	No disponible	Disponible: mejor ahorro energético

# LAN inalámbricas: La familia de Normas 802.11

Standard	Frecuencia	Ancho de Banda	Modulación	Técnica de Transmisión	Velocidad	Distancia	Potencia
802.11	2,4 GHz	20 MHz	BPSK – 256-QAM	DSSS - FHSS	2 Mbps	20 m	100 mW
802.11b	2,4 GHz	21 MHz	BPSK – 256-QAM	CCK - DSSS	11 Mbps	35 m	100 mW
802.11a	5 GHz	22 MHz	BPSK – 256-QAM	OFDM	54 Mbps	35 m	100 mW
802.11g	2,4 GHz	23 MHz	BPSK – 256-QAM	DSSS, OFDM	54 Mbps	70 m	100 mW
802.11n	2,4 GHz/ 5 GHz	24 y 40 MHz	BPSK – 256-QAM	OFDM	600 Mbps	70 m	100 mW
802.11ac	5 GHz	20, 40, 80 y 160 MHz	BPSK – 256-QAM	OFDM, MIMO	6.93 Gbps	35 m	160 mW
802.11ad	60 GHz	2,16 GHz	BPSK – 256-QAM	SC, OFDM	6.76 Gbps	10 m	10 mW
802.11af	54-790 MHz	6, 7 y 8 MHz	BPSK – 256-QAM	SC-OFDM	26.7 Mbps	1 Km	100 mW
802.11ah	900 GHz	1,2,4 y 8 MHz	BPSK – 256-QAM	SC-OFDM	40 Mbps	1 Km	100 mW

# LAN inalámbricas: La familia de Normas 802.11

## Tecnologías para enlaces Punto a Punto y Multipunto con Antenas

Marca	Tecnología	Basado en	Frecuencias	Observaciones
Ubiquiti	airMAX / airMAX AC / airMAX AX	802.11	2.4 / 5 / 6 GHz	Muy usado en WISP. Baja latencia, buen manejo PTMP
Cambium	ePMP / PMP 450	802.11 / WiMAX	5 GHz, 3 GHz	Alta eficiencia espectral
MikroTik	Nv2 / TDMA	802.11	5 GHz	Mejor que 802.11 estándar



# LAN inalámbricas: La familia de Normas 802.11

## Comparación Ubiquiti: airMAX, airMAX AC y airMAX AX

Característica	AirMAX (M-series)	AirMAX AC	AirMAX AX (Wi-Fi 6)
Frecuencias	2.4 GHz / 5 GHz	5 GHz (principalmente)	5 GHz / 6 GHz
Ancho de canal	20 MHz	20 / 40 / 80 MHz	20 / 40 / 80 / 160 MHz
Velocidad máx.	~150 Mbps (real: ~90 Mbps)	~450–600 Mbps (real: ~300 Mbps)	~1 Gbps (real: ~600–900 Mbps)
Alcance típico	Hasta 10–15 km	Hasta 15–20 km	Hasta 20+ km
Tecnología base	802.11n	802.11ac (Wi-Fi 5)	802.11ax (Wi-Fi 6)
Latencia	Media (~15–30 ms)	Baja (~5–15 ms)	Muy baja (~2–10 ms)

# LAN inalámbricas: La familia de Normas 802.11

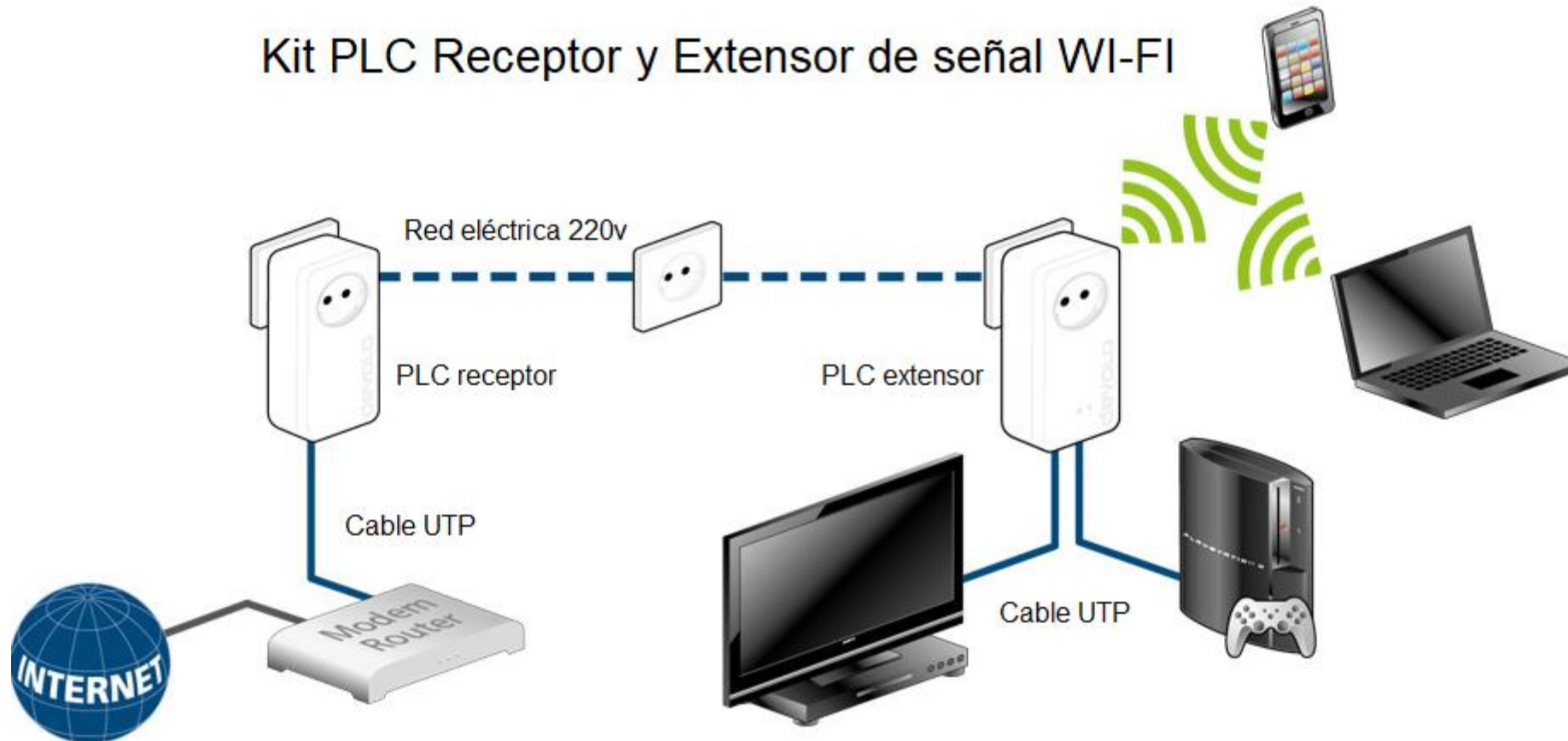
## Comparación MikroTik: NV2 y TDMA

Característica	MikroTik NV2	TDMA (802.11 basado)
Tipo de acceso	TDMA propietario	TDMA genérico basado en 802.11
Tecnología base	MikroTik propia (no compatible con 802.11 estándar)	MikroTik con 802.11 (modo AP Bridge)
Latencia típica	Baja (~2–5 ms)	Alta (~10–30 ms)
Estabilidad	Muy estable en entornos ruidosos	Afectado por colisiones e interferencias
Anchos de canal	5–40 MHz (dependiendo del hardware)	5–40 MHz
Frecuencias soportadas	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz (según equipo)	2.4 GHz, 5 GHz
Compatibilidad	Solo entre equipos MikroTik con NV2	Compatible con otros dispositivos 802.11

# Cómo extender el alcance de tu router WI-FI

## Power Line Communication (PLC)

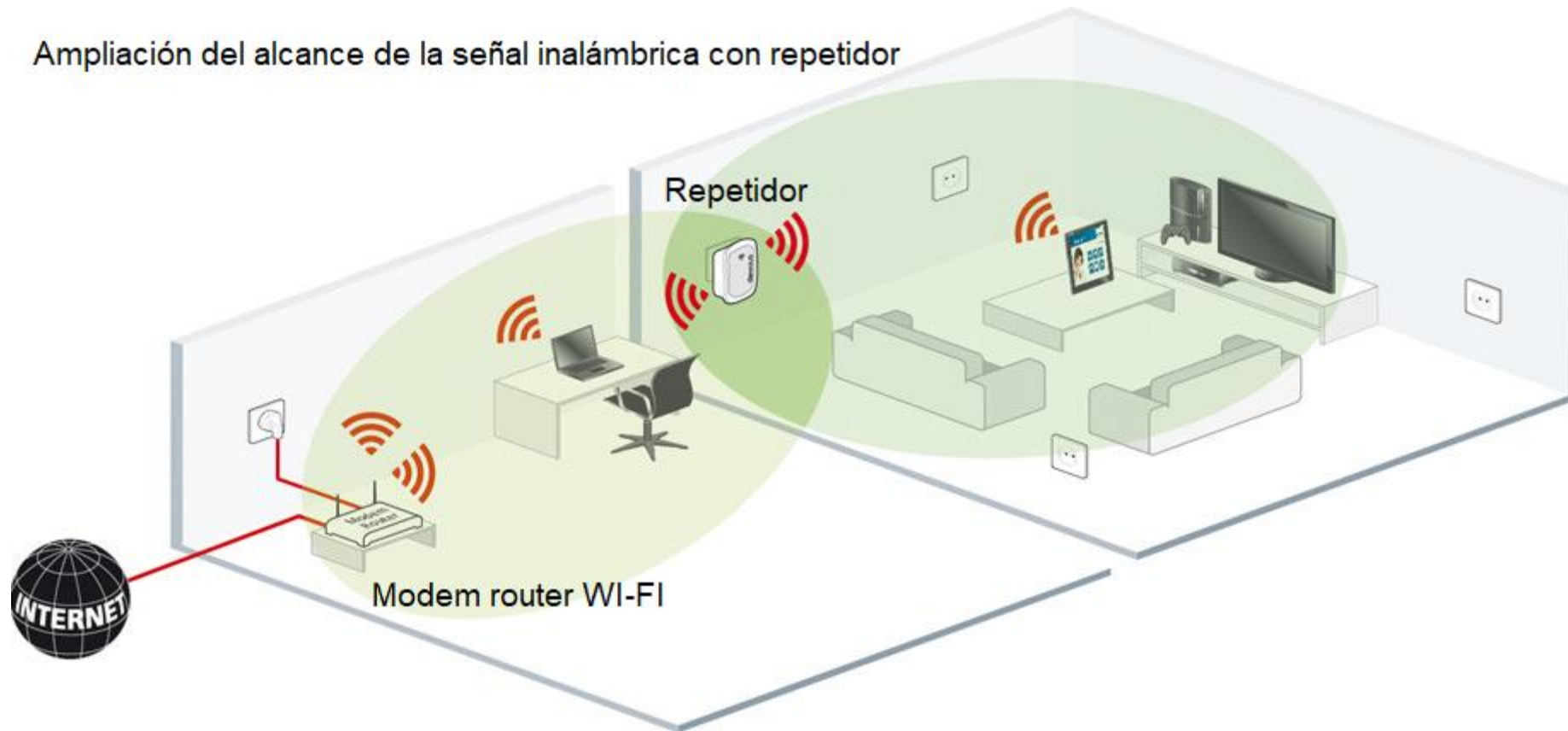
### Kit PLC Receptor y Extensor de señal WI-FI



# Cómo extender el alcance de tu router WI-FI

## Repetidor

Ampliación del alcance de la señal inalámbrica con repetidor



# Temas a tratados

1. LAN Inalámbrica: Definición, usos y requisitos
2. Arquitectura y servicios
3. Capa física
4. Capa control de acceso al medio
5. Gigabit WI-FI

## Fin Módulo 9