

Redes Inalámbricas

Comunicaciones - LCC

Flavio E. Spetale

spetale@cifasis-conicet.gov.ar

Ondas electromagnéticas

Magnitudes de una onda electromagnética

Longitud de onda (λ): longitud de un ciclo

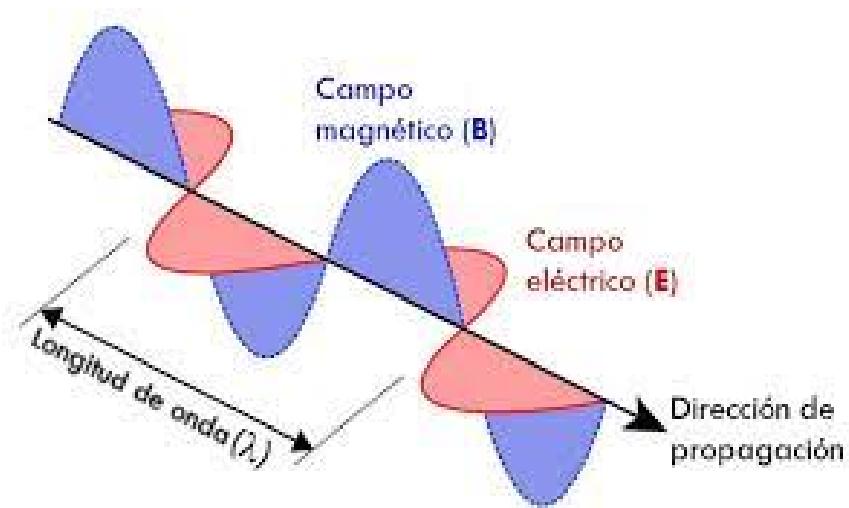
Amplitud (A): máximo valor que alcanza la onda

Frecuencia (f): número de veces que se repite un ciclo en un segundo.

Hercio (Hz) = ciclo / seg

Período (T): tiempo en recorrer un ciclo = $1/f$

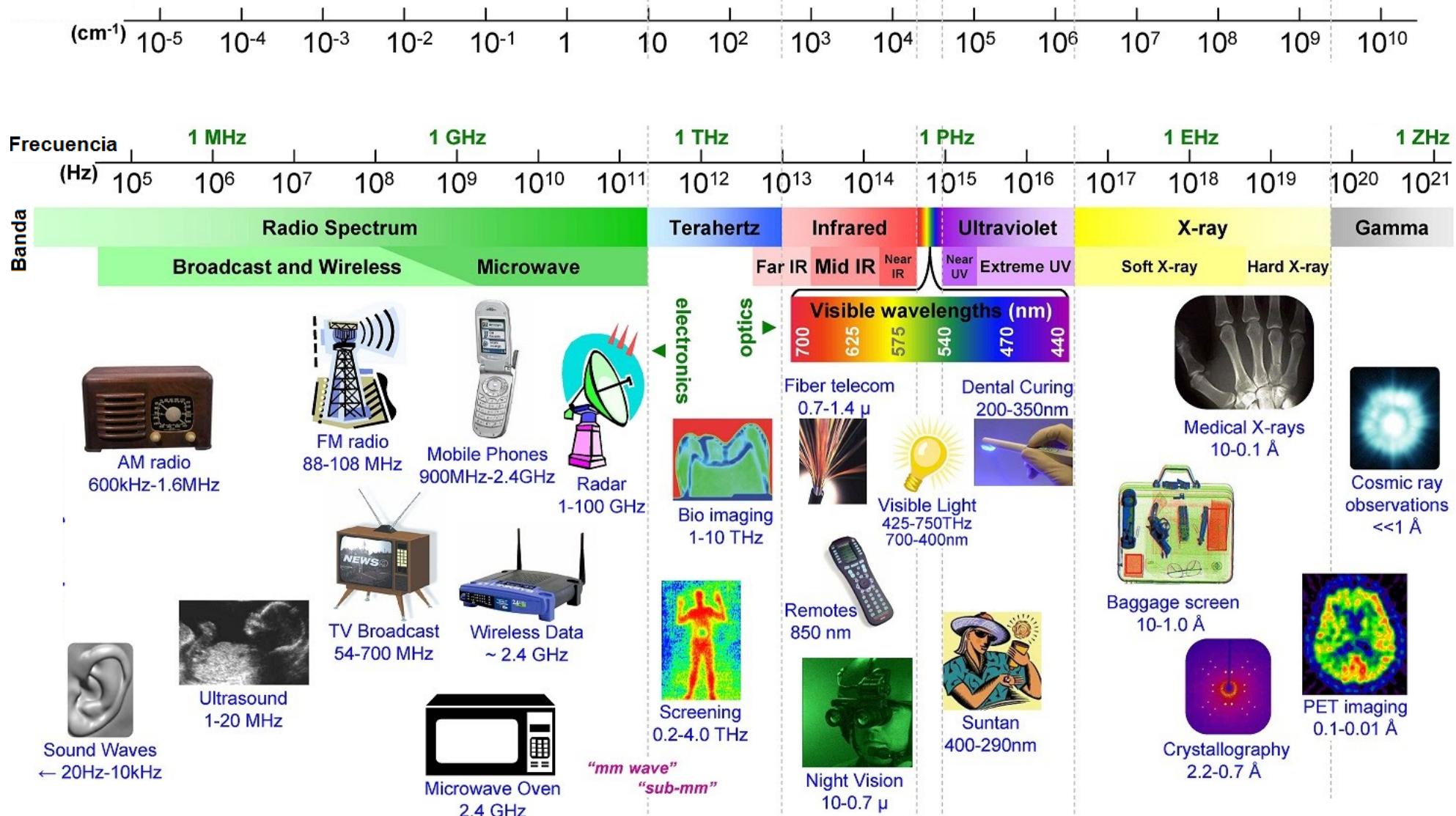
Velocidad de la luz (c): $\lambda / T = \lambda \cdot f$



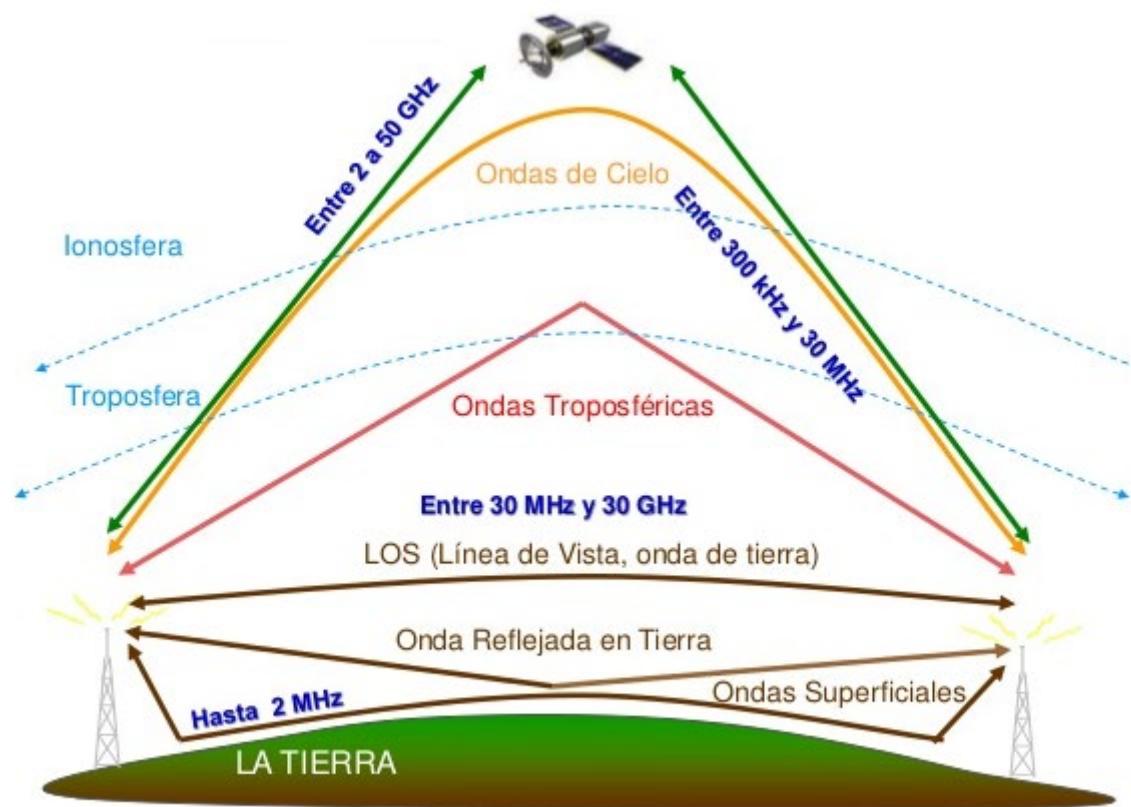
Las **ondas electromagnéticas** están formadas por la unión de un **campo eléctrico** y un **campo magnético** y se desplazan a la velocidad de la luz.

Espectro electromagnético

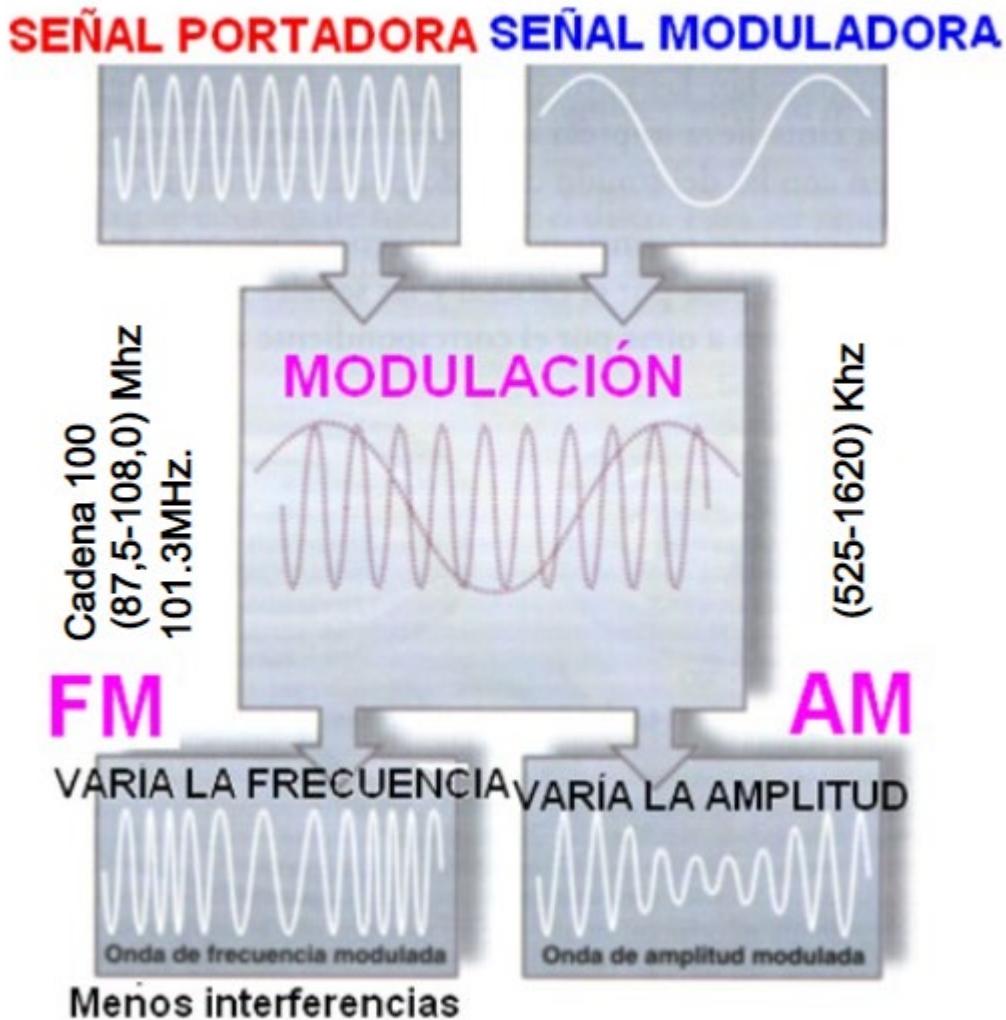
Longitud de onda



Propagación de ondas electromagnéticas



Espectro electromagnético



Contenido

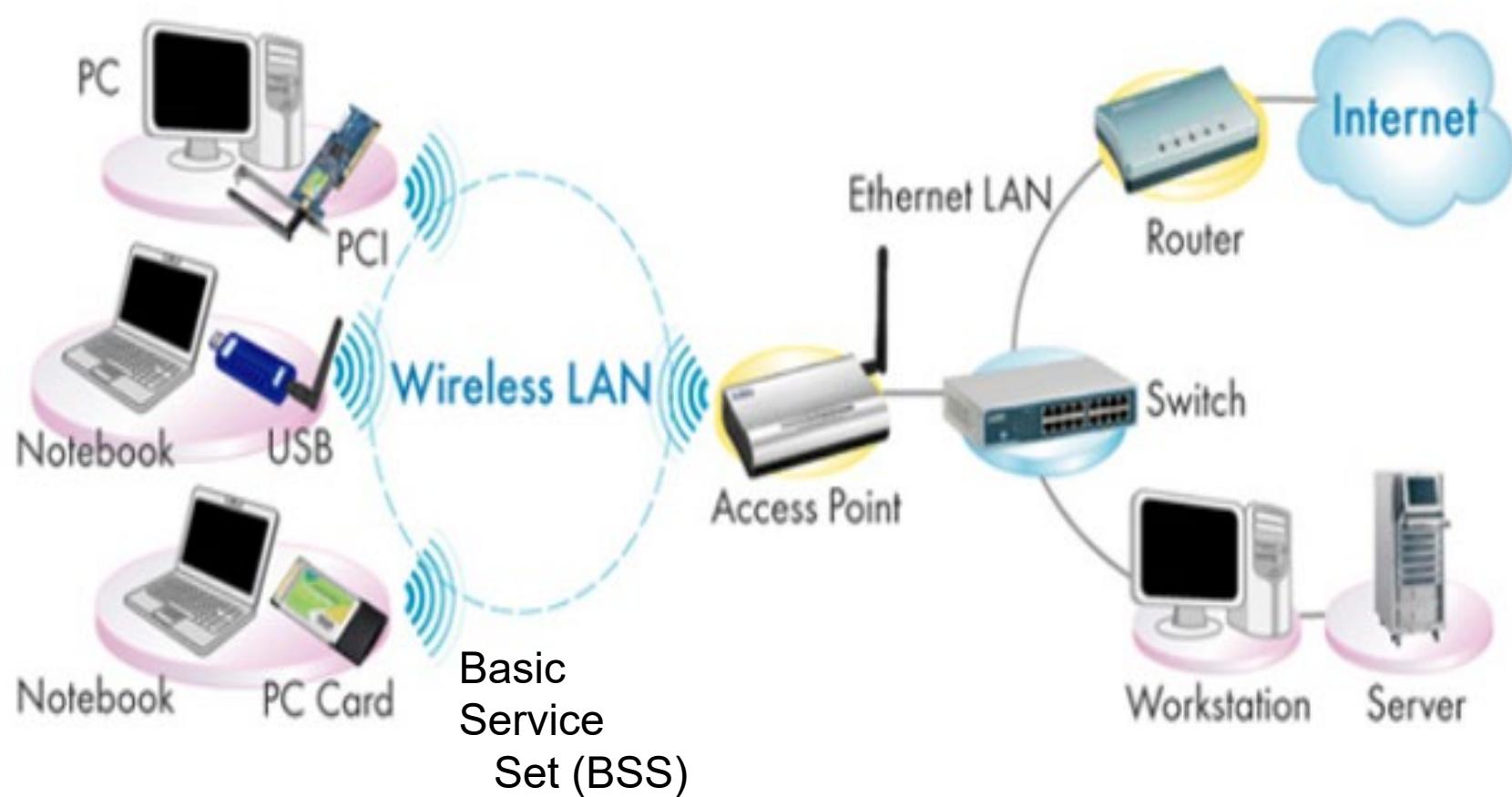
- WLAN - WIFI
- WPAN
- LTE

WLAN - WIFI

Secciones

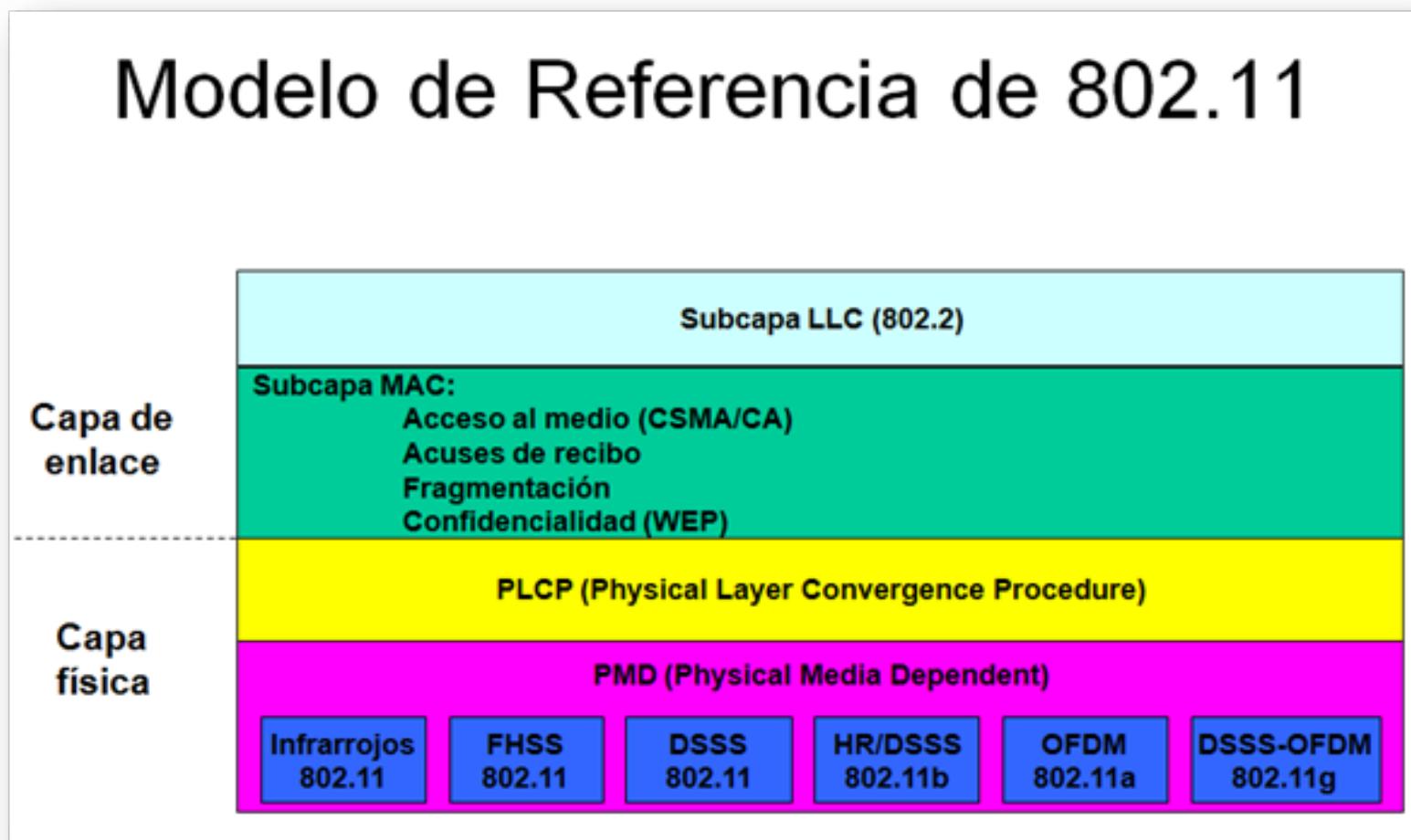
- Arquitectura
- Capa Fisica
- Control de Acceso al Medio (MAC)
- Control de Capa de Enlace (LLC)

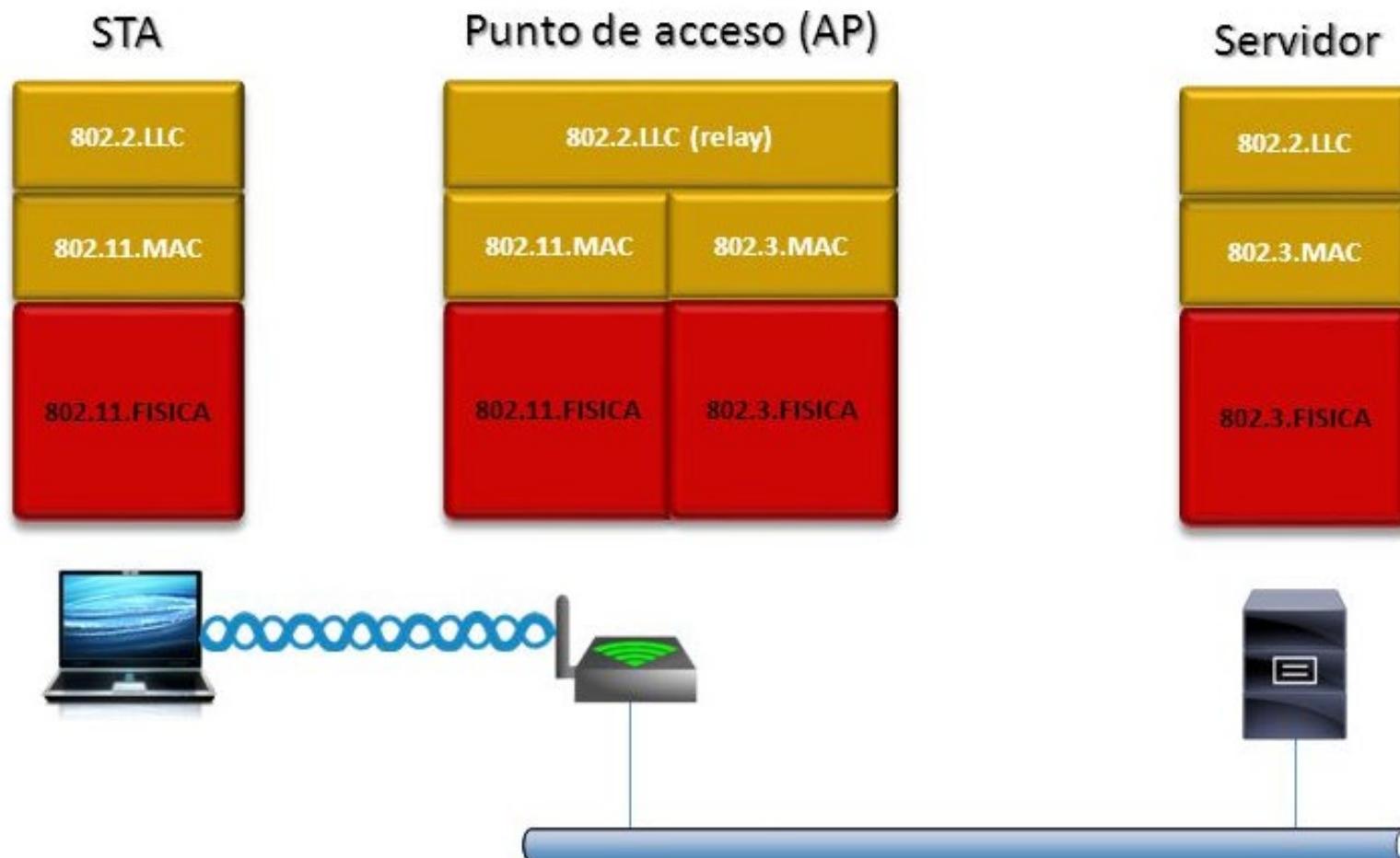
Sistema de Distribución - DS





Modelo de Referencia de 802.11





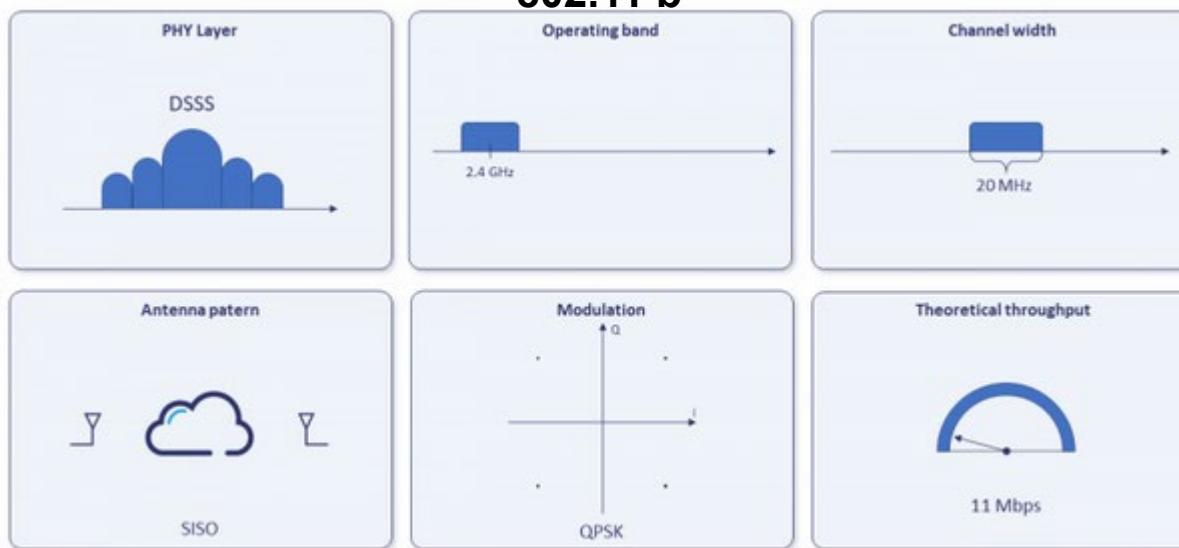
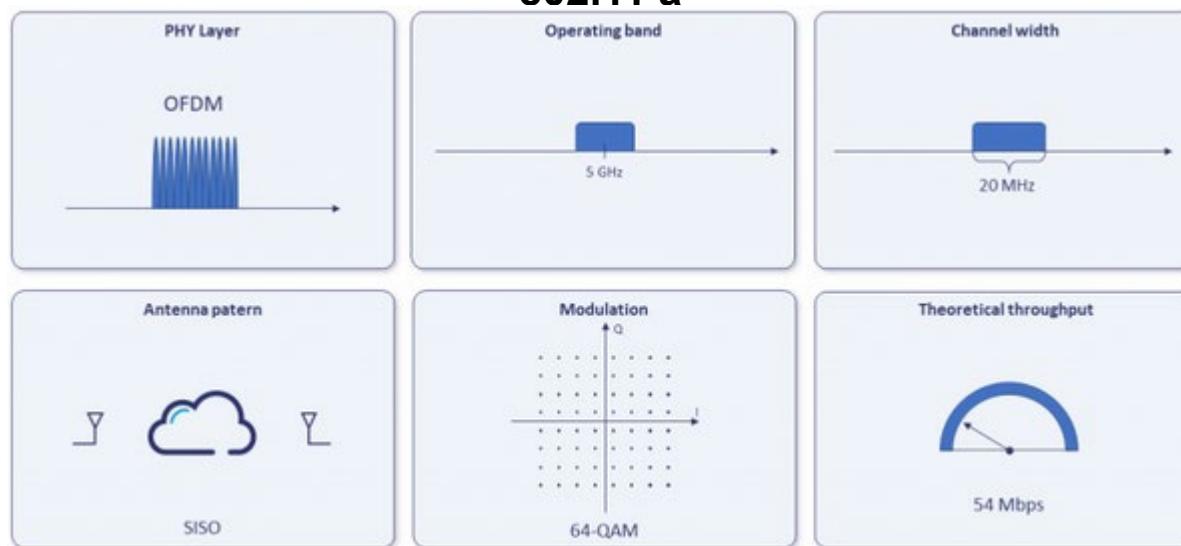
- ◆ Rendimiento
- ◆ Número de nodos
- ◆ Conexión a la red LAN
- ◆ Área de servicio
- ◆ Consumo de energía
- ◆ Robustez y seguridad en la transmisión
- ◆ Funcionamiento sin licencia (ISM)
- ◆ Traspasos (Handoff) e Itinerancias (Roaming)
- ◆ Configuración dinámica

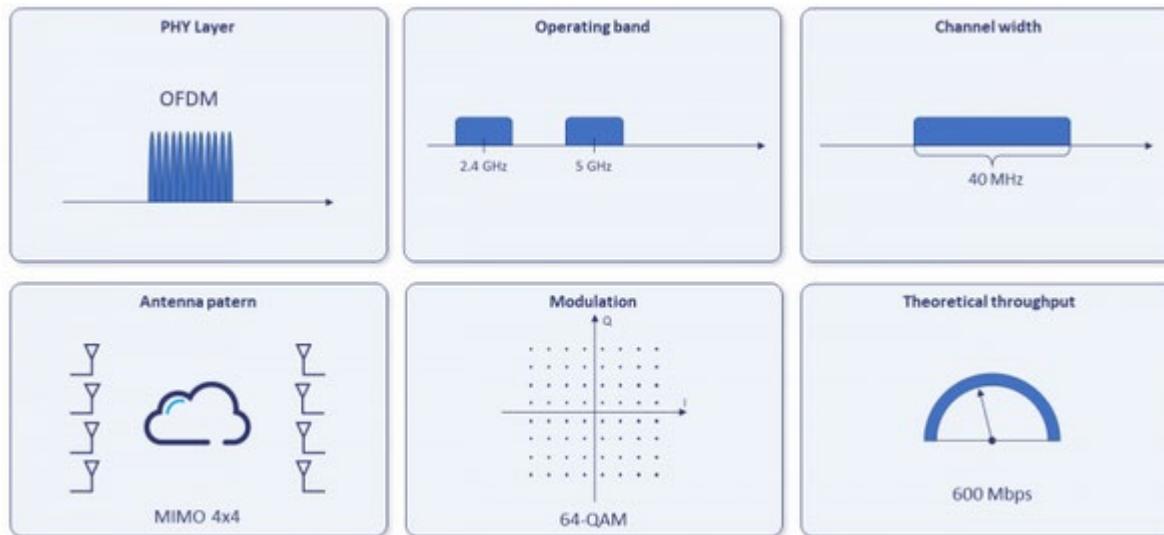
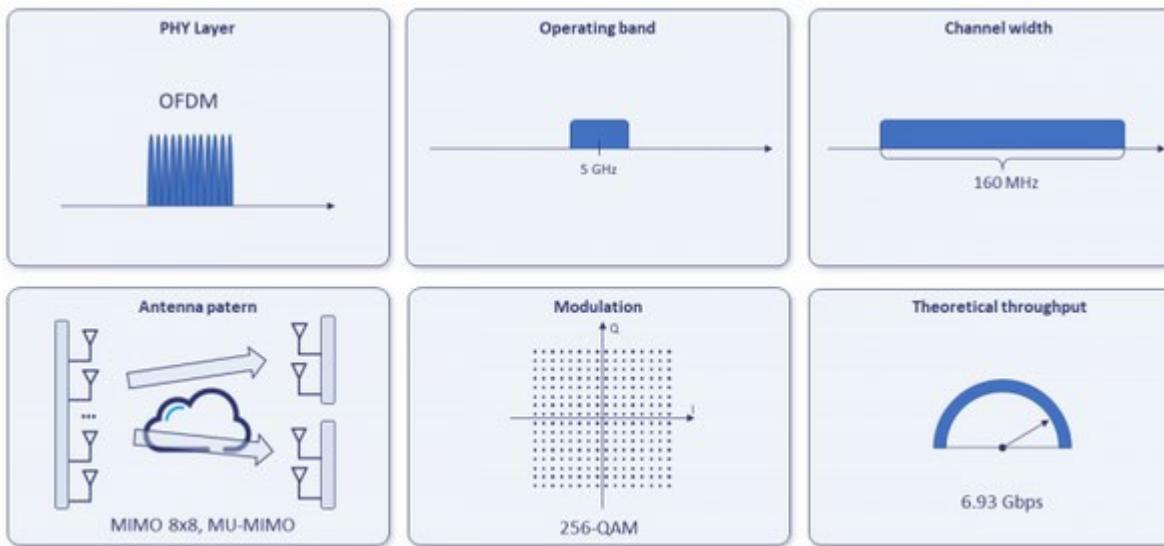
Funciones:

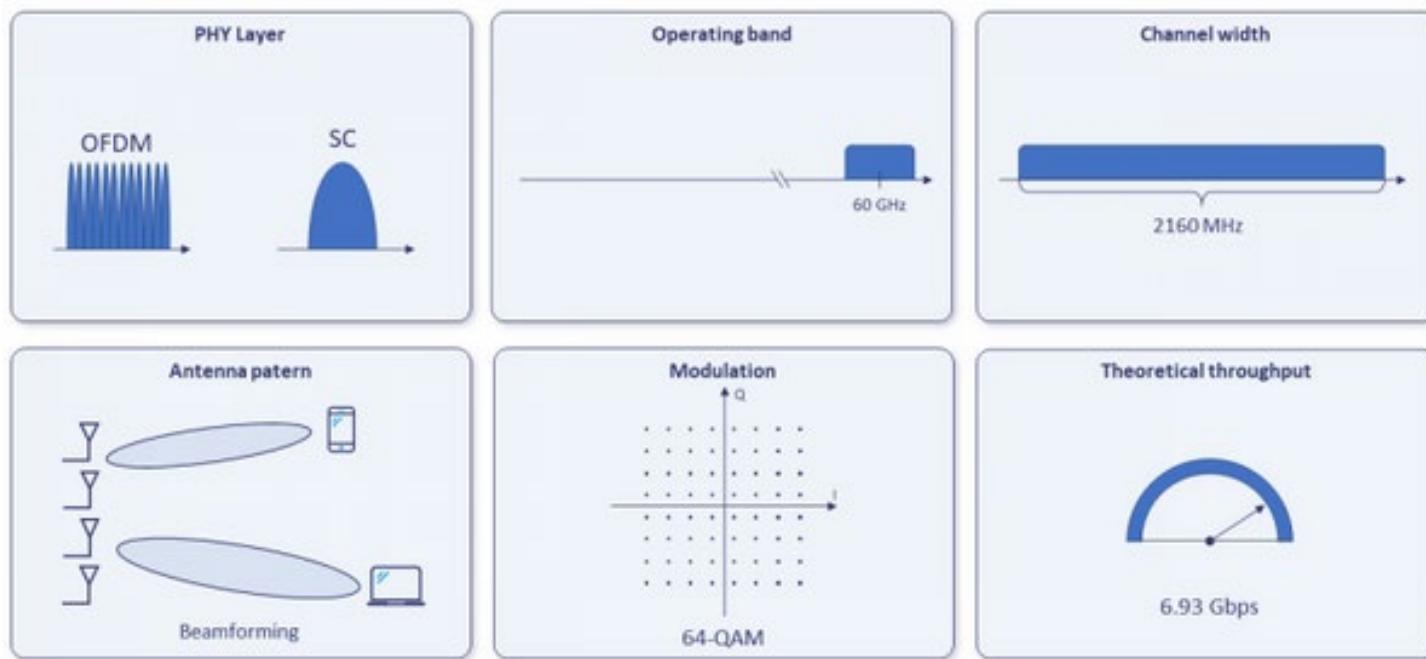
- ◆ Codificación/Decodificación de las señales
- ◆ Generación y remoción de la Cabecera (Sincronización)
- ◆ Trasmisión/Recepción de bits
- ◆ Especificaciones del medio de transmisión

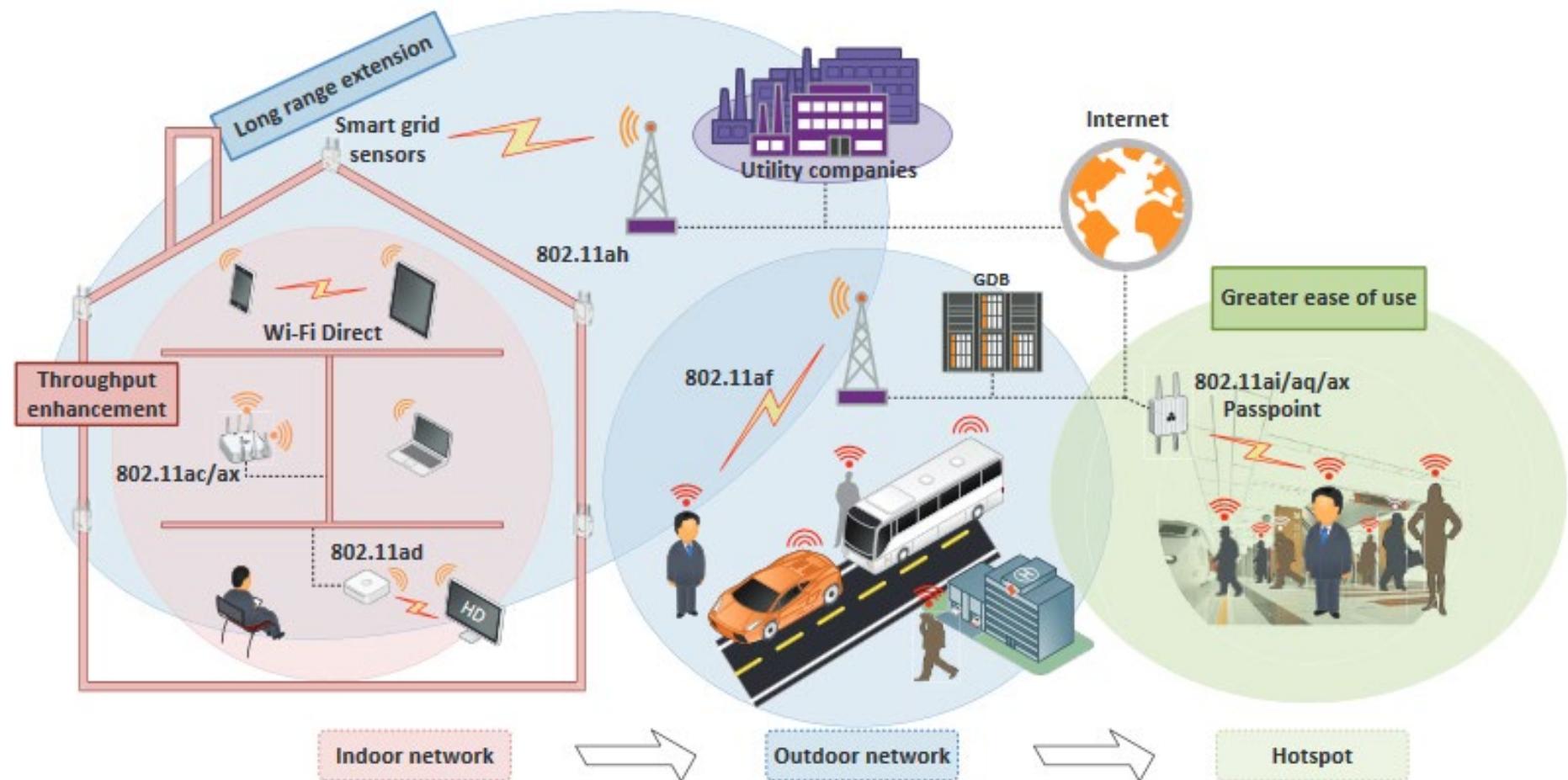
Versiones del estándar 802.11

Versión	802.11 Legacy	802.11 a	802.11 b	802.11 g	802.11 n	802.11 ac	802.11 ad	802.11 ax
Año	1997	1999	1999	2003	2009	2014	2016	2019
Tecnología PHY	DSSS	DSSS/CKK	OFDM	OFDM DSSS/CKK	SDM/OFDM	OFDM	SC, OFDM	OFDMA
Tasa de datos Mbps	1, 2	5.5, 11	6 – 54	1 – 54	6 – 600	6 – 1300	9600	7000
Banda de frecuencias	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 y 5 GHz	5 GHz	60 GHz	2,4 y 5 GHz
Ancho de banda del canal MHz	25	25	20	25	20 y 40	20, 40 y 80	160	20, 40, 80 y 160

802.11 b**802.11 a**

802.11**802.11 ac**

802.11 ad



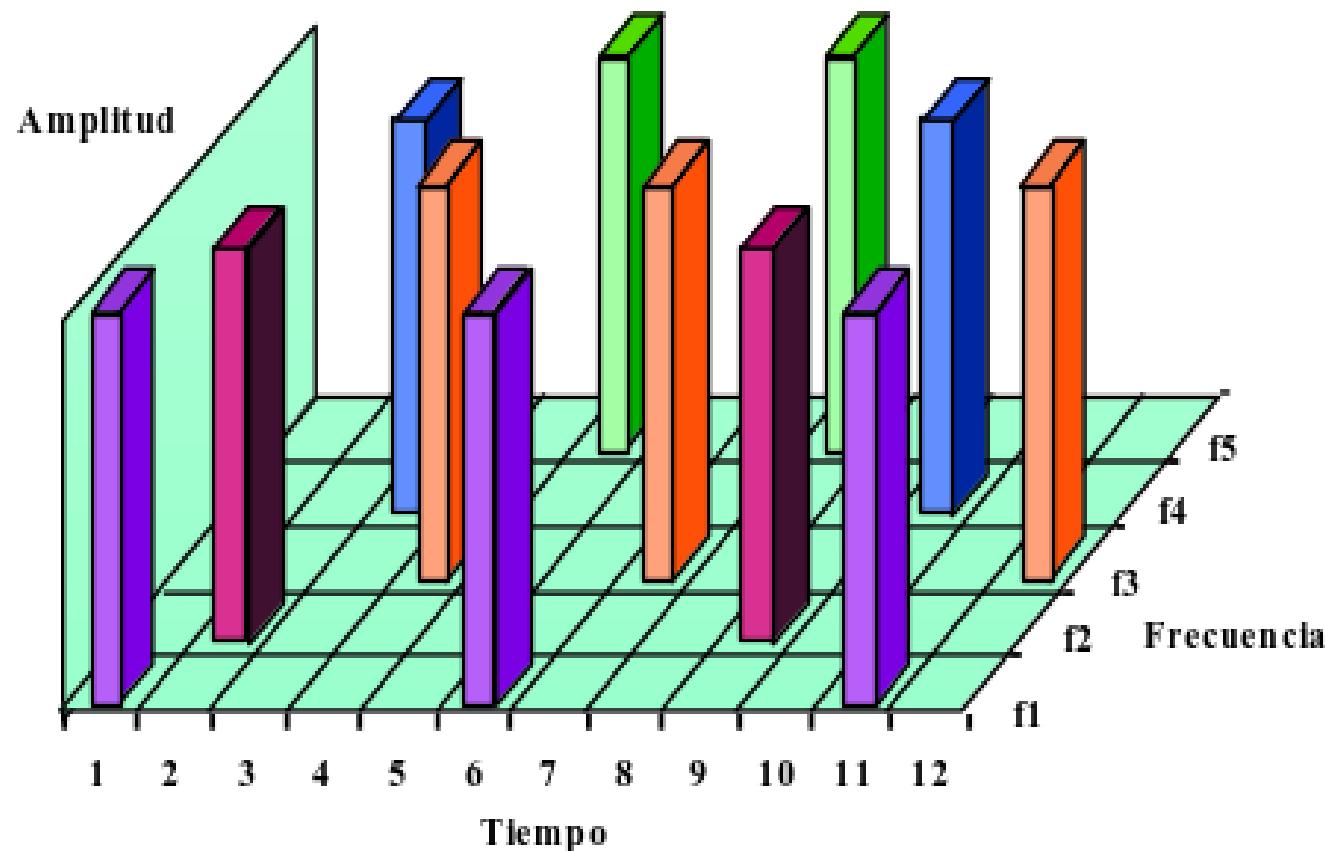
New paradigm of all Wi-Fi heterogeneous access.

Espectro Disperso por Salto de Frecuencia

(Frequency-Hopping Spread Spectrum, FHSS)

- ◆ El ancho de banda disponible se divide en un gran número de slots de frecuencia no solapados.
- ◆ Las secuencias código PN determinan en cada momento de la comunicación que slot de frecuencia de entre los disponibles se utiliza.
- ◆ Si se utilizan códigos de longitud n bits, significa que se tienen 2^n slots de frecuencias diferentes.
- ◆ FHSS permite obtener señales de espectro ensanchado de anchos de banda de GHz, al menos un orden de magnitud mayor que los anchos de banda permitidos por DSSS.

Espectro Disperso por Salto de Frecuencia

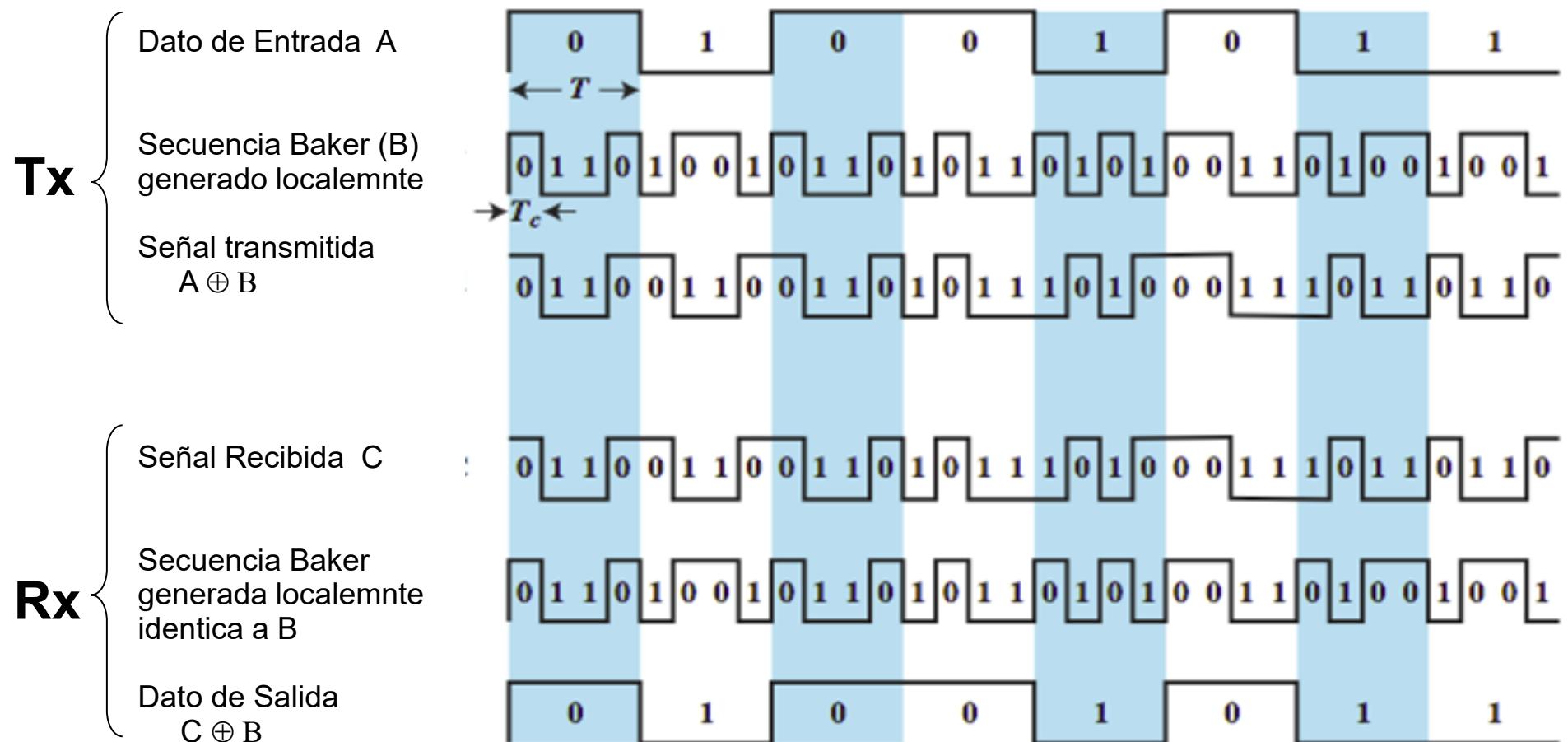


Espectro Disperso con Secuencia Directa

(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)

- ◆ Es una técnica que genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal.
- ◆ Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias.
- ◆ El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el optimo es de 100.
- ◆ La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker.
- ◆ Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original.

Espectro Disperso con Secuencia Directa

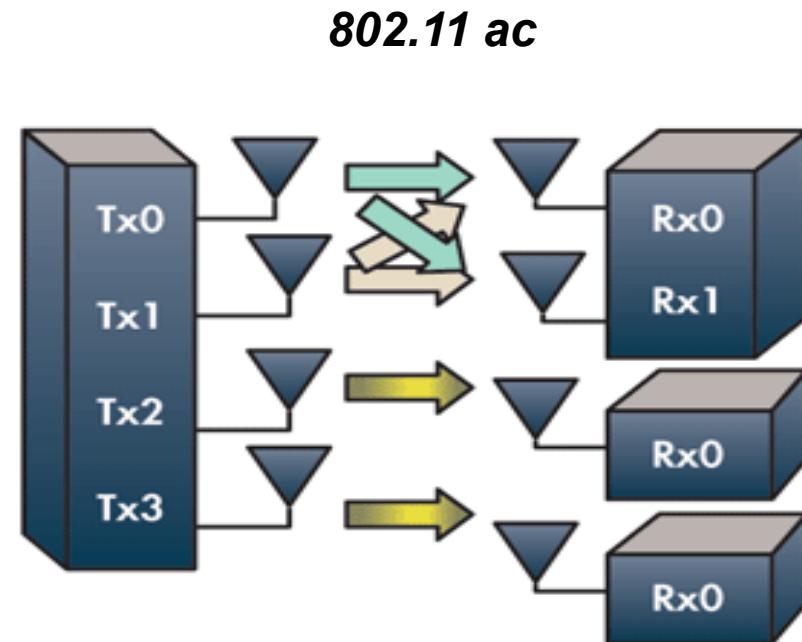
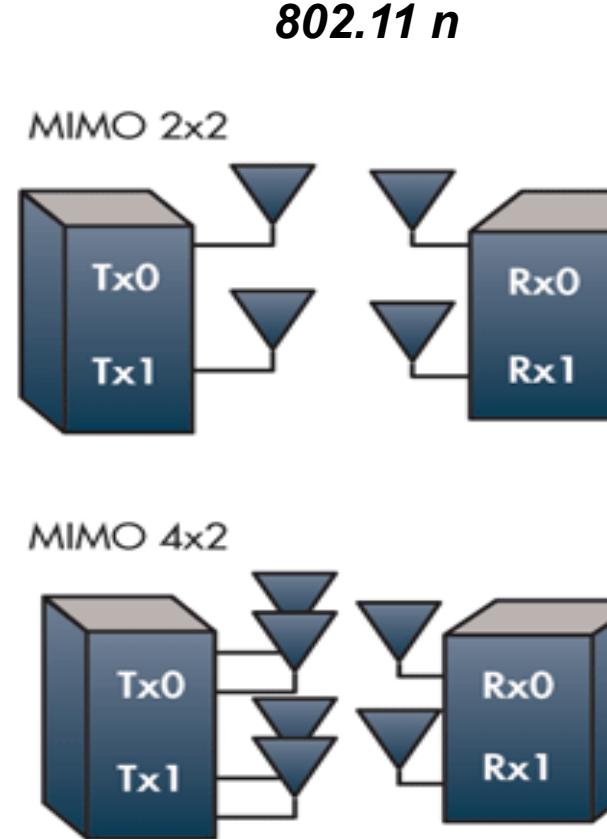


Múltiple Entrada / Múltiple Salida

(Multiple-input Multiple-output, MIMO)

- ◆ Es una tecnología inalámbrica que utiliza varios transmisores y receptores para transferir más datos al mismo tiempo.
- ◆ Aprovecha las ventajas del fenómeno ondas de radio denominado multiruta donde la información transmitida rebota en las paredes, techos y otros objetos.
- ◆ Permite que varias antenas envíen y reciban varios flujos espaciales al mismo tiempo.
- ◆ Las antenas inteligentes utilizan la tecnología de diversidad espacial.
- ◆ Mejora la SNR en el receptor por medio de: i) Beamforming, ii) Multiplexación espacial y Diversidad espacial.

Múltiple Entrada / Múltiple Salida





El espectro en torno a la frecuencia utilizada (2.4GHz) se divide en varios canales.

Permite tener varias redes en el mismo espacio

Los canales cercanos se pueden interferir

Para poder comunicarse en un BSS los hosts deben primero asociarse a la red deseada (identificada por su SSID)

¿Como se conoce el SSID?

- ↗ *La estación base envía periódicamente tramas (beacon) con su nombre (SSID) y su dirección MAC.*

Eso permite a los hosts escanear los canales y presentar al usuario los SSIDs observados para que elija.

- ↗ *La estación base no envía tramas beacon (SSID oculto) y el administrador es responsable de configurar el SSID.*

Esto no implica una medida de seguridad dura. El SSID no se protege y si observas el canal cuando otro host se asocia ves el SSID.

Pasos del proceso de asociación:

1. Escanea permanentemente los canales en busca de tramas beacon.

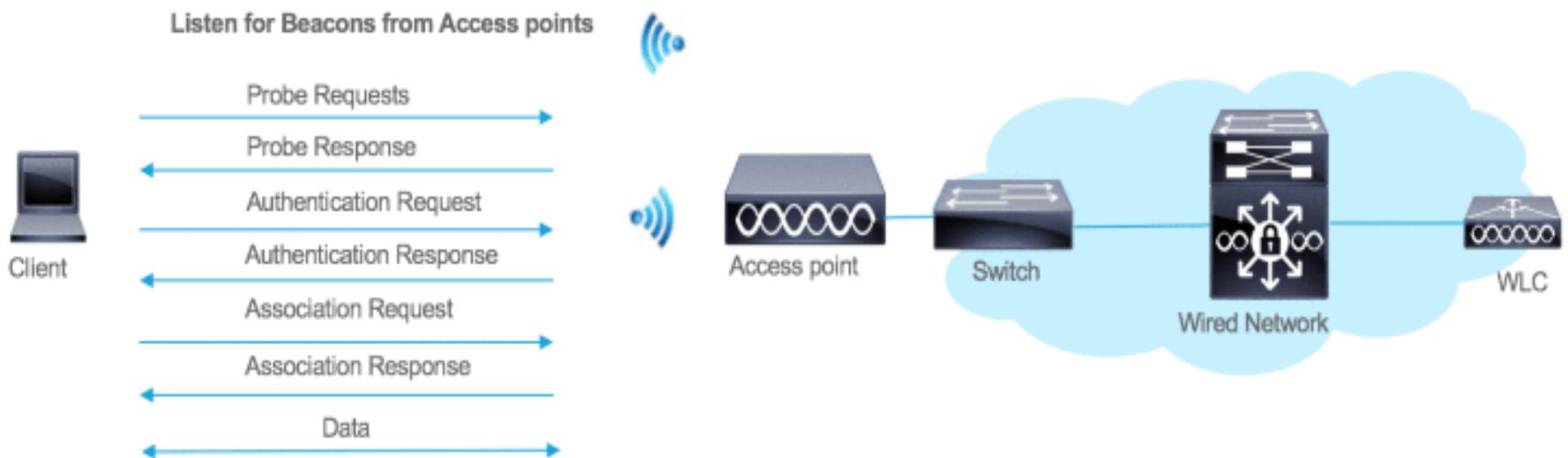
2. Una vez elegido el SSID realiza autentificación y asociación:

- * Pide autorización al AP para estar en la red
- * Comprueba si el usuario tiene acceso a la red (con contraseña (SKA), autentificación abierta (OSA))
- * Pide al AP que lo considere asociado a su red

3. Una vez realizada el host puede enviar tramas a otros hosts del BSS o al router.

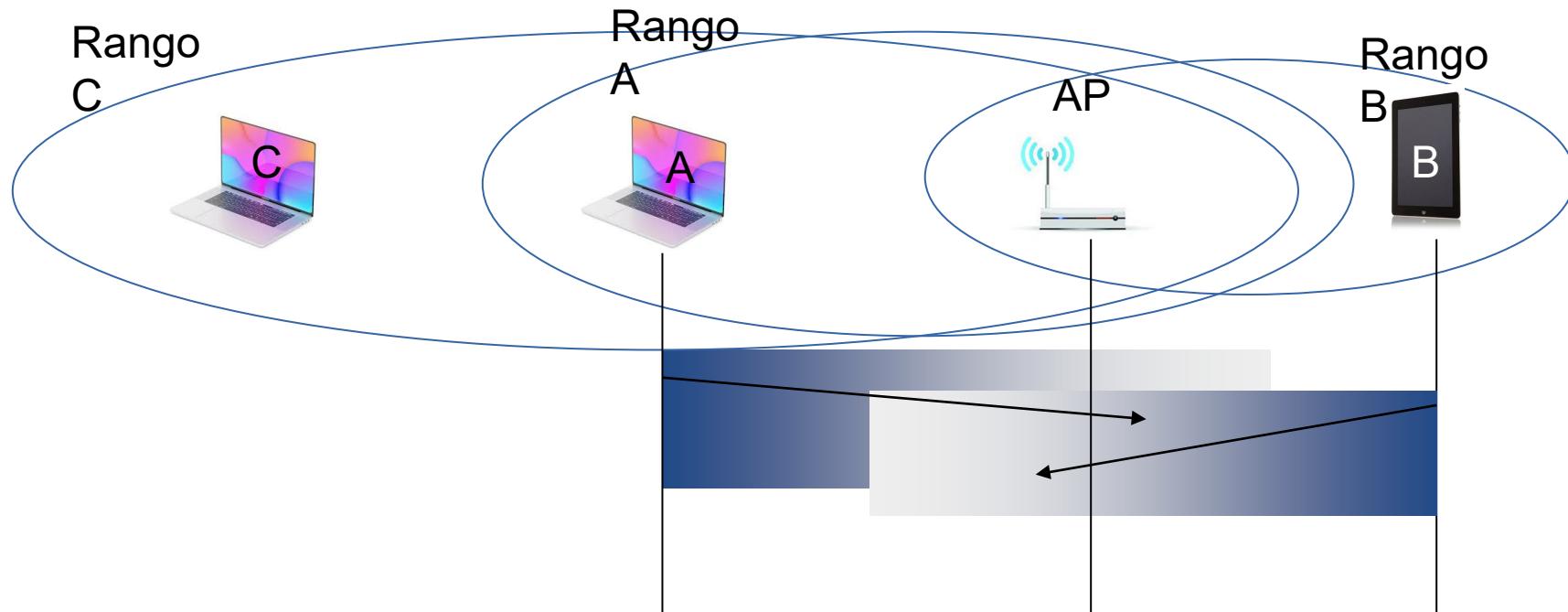
Normalmente lo primero que hace el host es usar protocolos de configuración de IP, enviar petición de DHCP para obtener IP y parámetros de configuración IP en la red de la estación.

802.11 connection basics



Acceso múltiple

Si A y B quieren enviar a la vez a C



Hay una colisión y AP no recibe ninguno mensaje

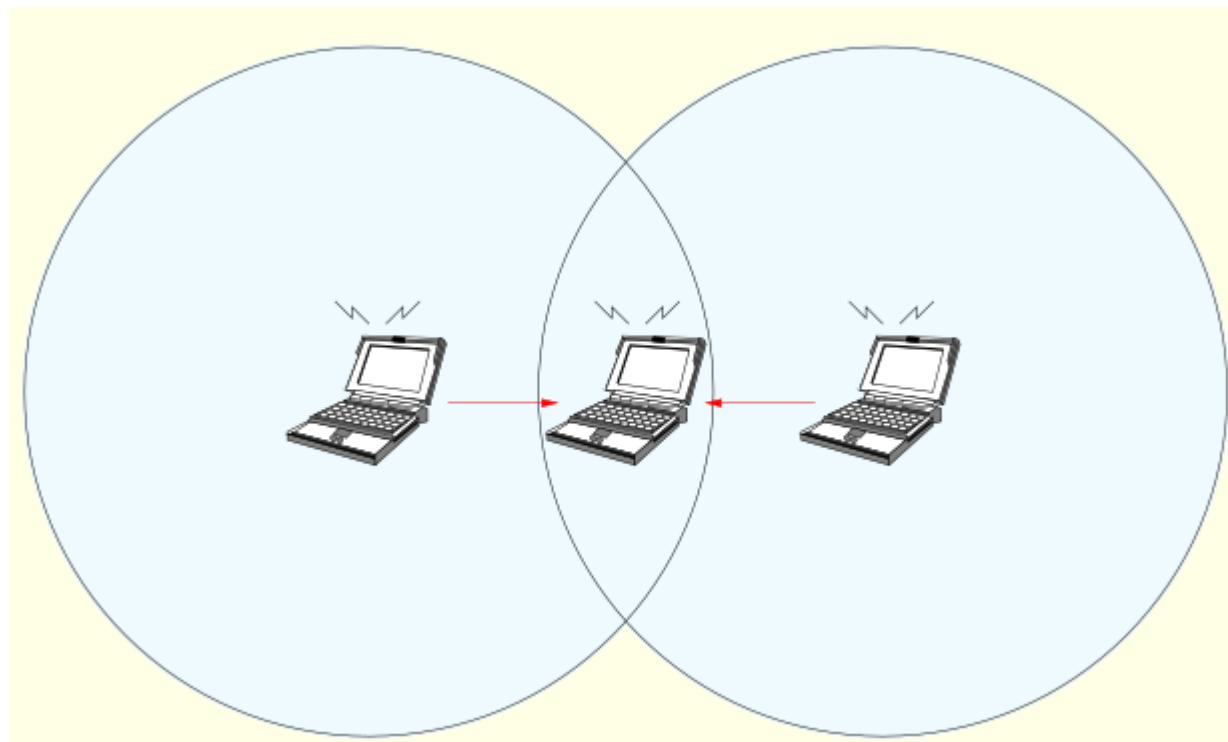
Problemas:

Ni A ni B pueden detectar la colisión porque están fuera de rango

AP no reenvía ninguno de los dos mensajes y C no recibe nada

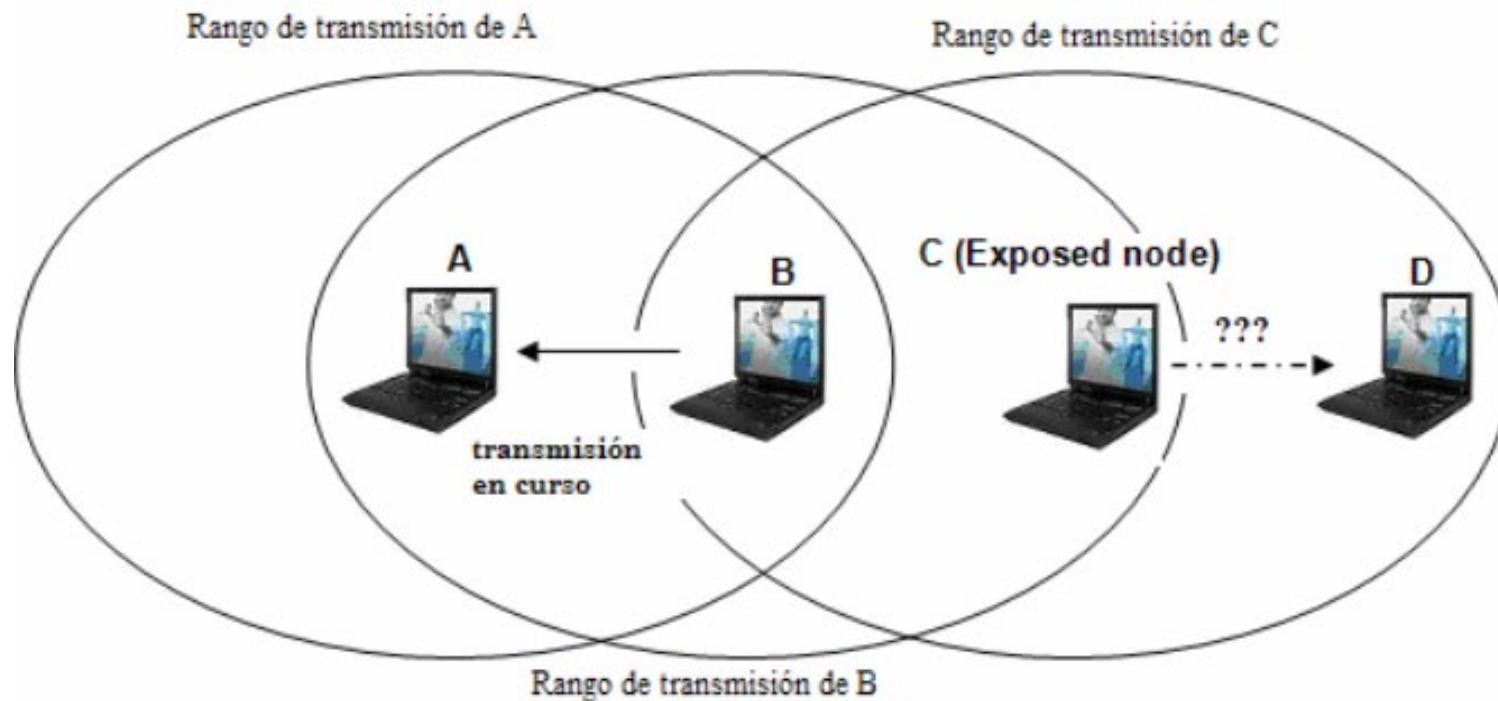
Estación oculta:

- ▶ Los obstáculos físicos en el ambiente o la distancia pueden hacer que la estación A compruebe el canal, lo encuentre libre e inicie una transmisión hacia el nodo B que está ya recibiendo una trama desde otra estación C.
- ▶ Por lo tanto, en B le llegan dos paquetes desde nodos diferentes.



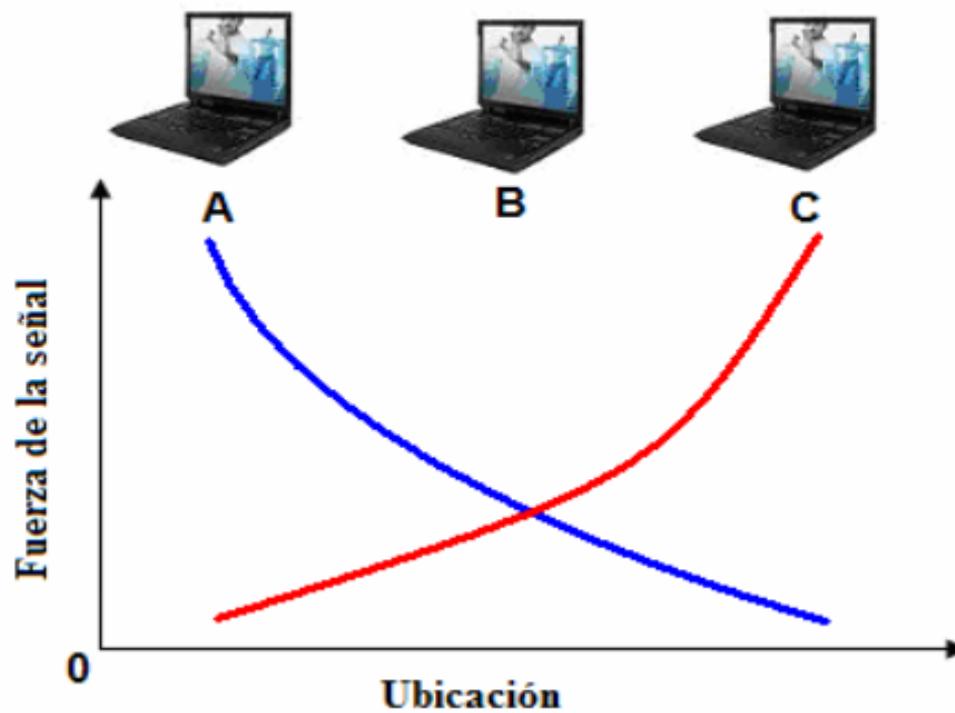
Estaciones expuestas:

- ▶ B está transmitiendo una trama a A; el nodo C (nodo expuesto) no puede transmitir hacia D porque siente el canal ocupado por la transmisión de B (se encuentra en su radio de acción), aunque su transmisión no creara una colisión en A.
- ▶ Este problema lleva a una baja utilización de la banda disponible



El problema de la atenuación (fading):

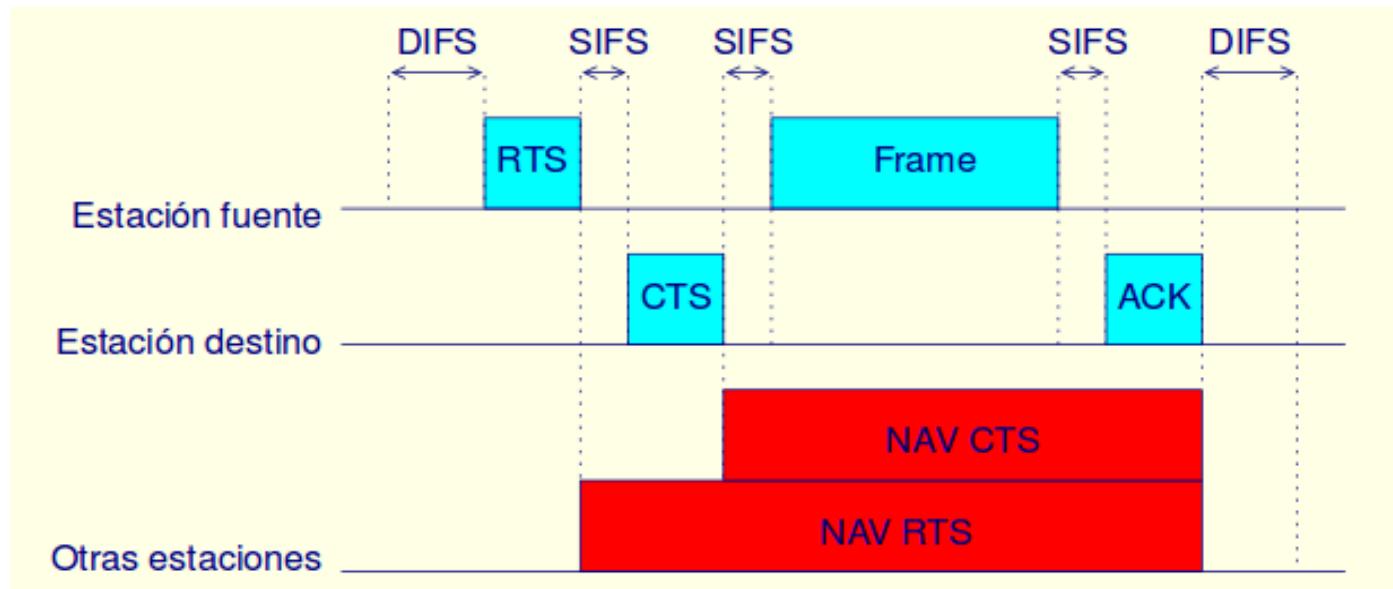
- ▶ Debido a la atenuación de la señal cuando se propaga a través del aire, dos estaciones pueden transmitir simultáneamente hacia el mismo nodo y provocar en el receptor colisiones no advertidas



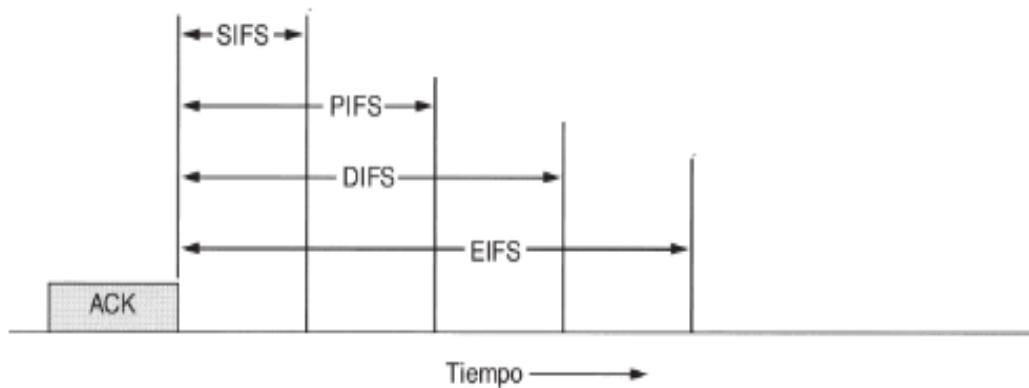
Para intentar solucionar estos problemas se propone otro protocolo de acceso al medio:

RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send)

- ▶ Intenta evitar colisiones anunciando la intención de transmitir y esperando la disponibilidad para recibir.
- ▶ Se puede saber si hay transmisiones en curso incluso sin detectarlas.
- ▶ Genera una mayor sobrecarga en información de control.

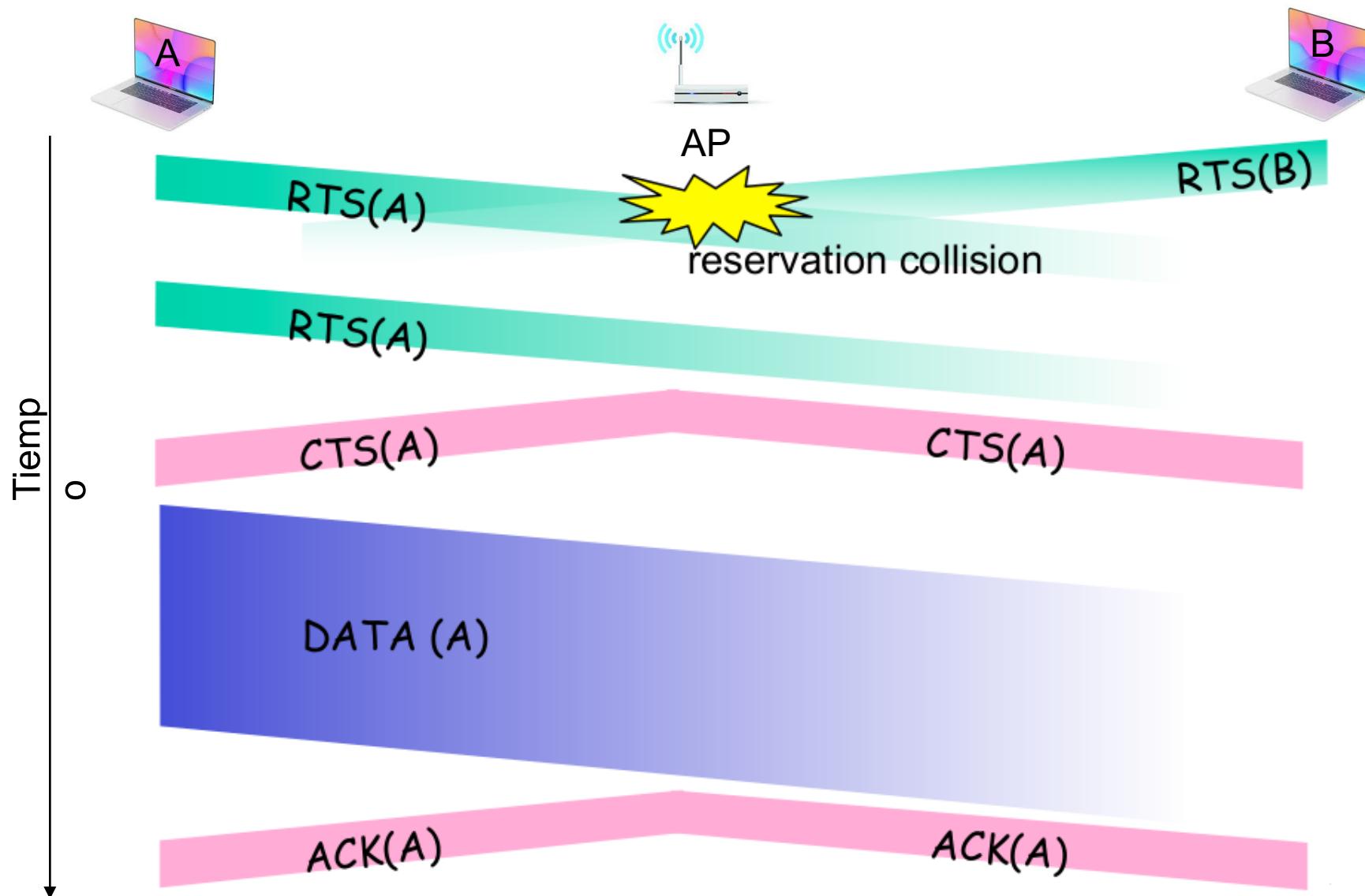


Espaciamiento intertrama



- SIFS: Usado para transmisiones de alta prioridad.
- PIFS: Usado por la PCF durante una operación libre de contienda.
- DIFS: Tiempo mínimo para servicios basados en contienda.
- EIFS: Usado solamente cuando hay un error en la transmisión.

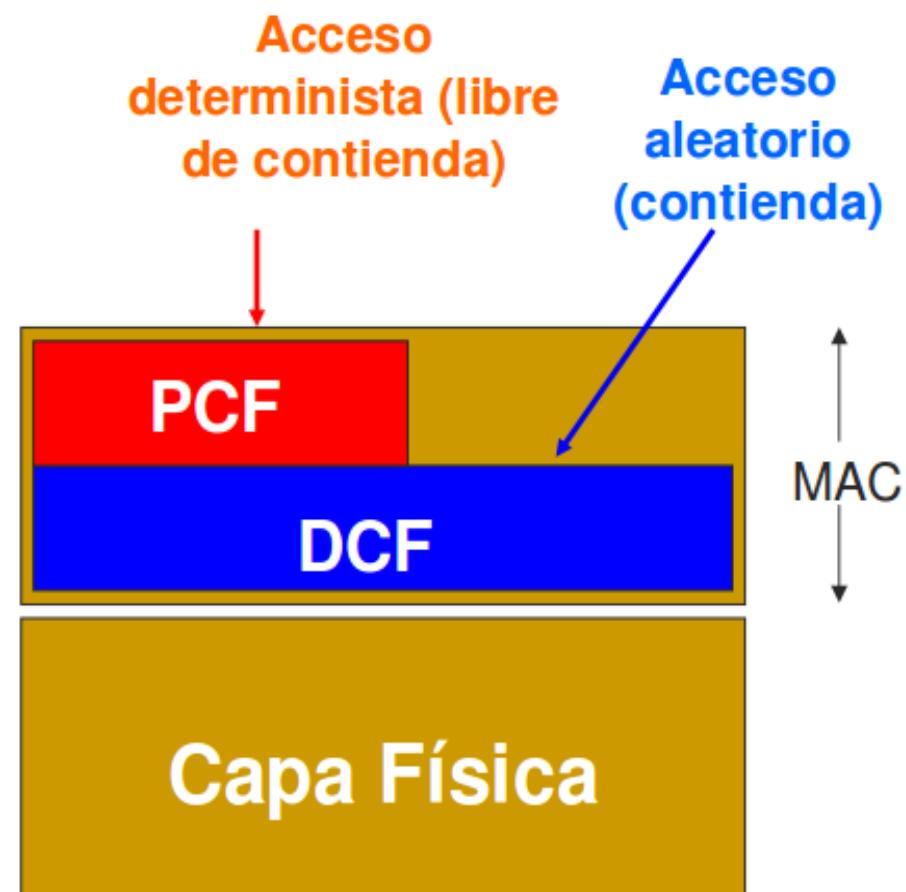
Ejemplo



El acceso al medio en sistemas inalámbricos es significativamente distinto que en enlaces por cable.

La subcapa Mac del estándar cuenta con 2 funciones:

- DCF (*Función de coordinación distribuida*)
- PCF (*Función de coordinación puntual*)



Las características de la DCF son:

- Utiliza CSMA/CA
- Reconocimiento de ACKs
- Implementa fragmentación de datos
- Soporta broadcast y multicast
- Dos métodos de acceso al canal:

Acceso Básico

Intercambio de tramas RTS/CTS

Las características de la **PCF** son:

- Es un protocolo de acceso centralizado donde una estación tiene autoridad para decidir cual estación transmitir.
- Se asocia a transmisiones libres de contienda que utilizan técnicas de acceso deterministas.
- Define una técnica de interrogación circular.
- Se aplica a servicios del tipo síncrono que no toleran retardos aleatorios.

Limitaciones en QoS

DCF (Distributed Coordination Function)

Solo soporta servicios best-effort.

No soporta ningún tipo de prioridad para el acceso al medio.

No hay garantía de ancho de banda, retardo o variación del retardo.

Degradoación del caudal en condiciones de alta carga.

PCF (Point Coordination Function)

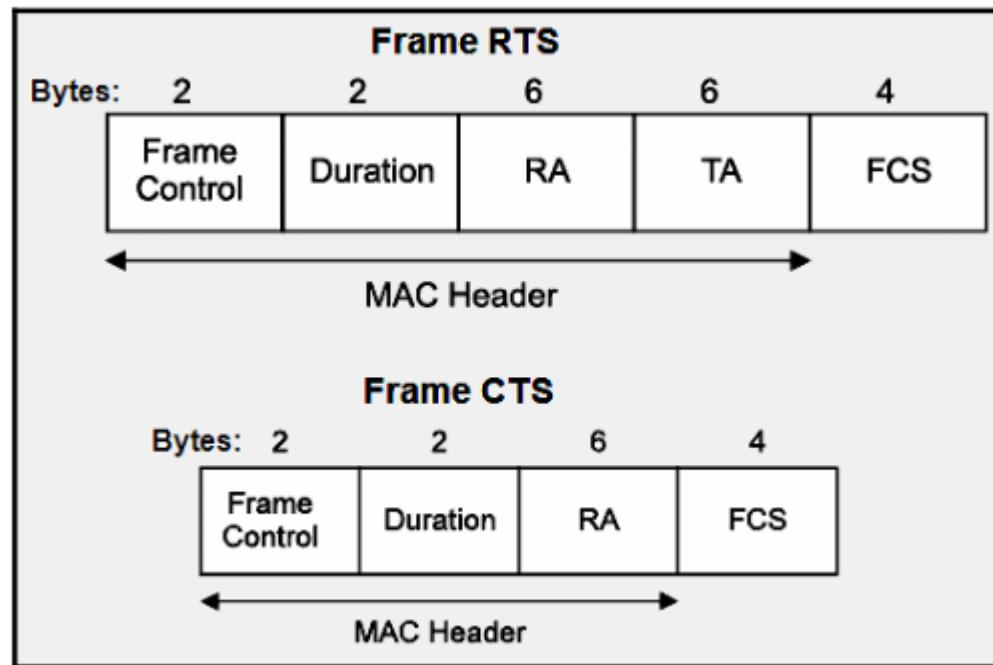
Soporta tráficos de tiempo real.

El tiempo de transmisión de las estaciones interrogadas es impredecible.

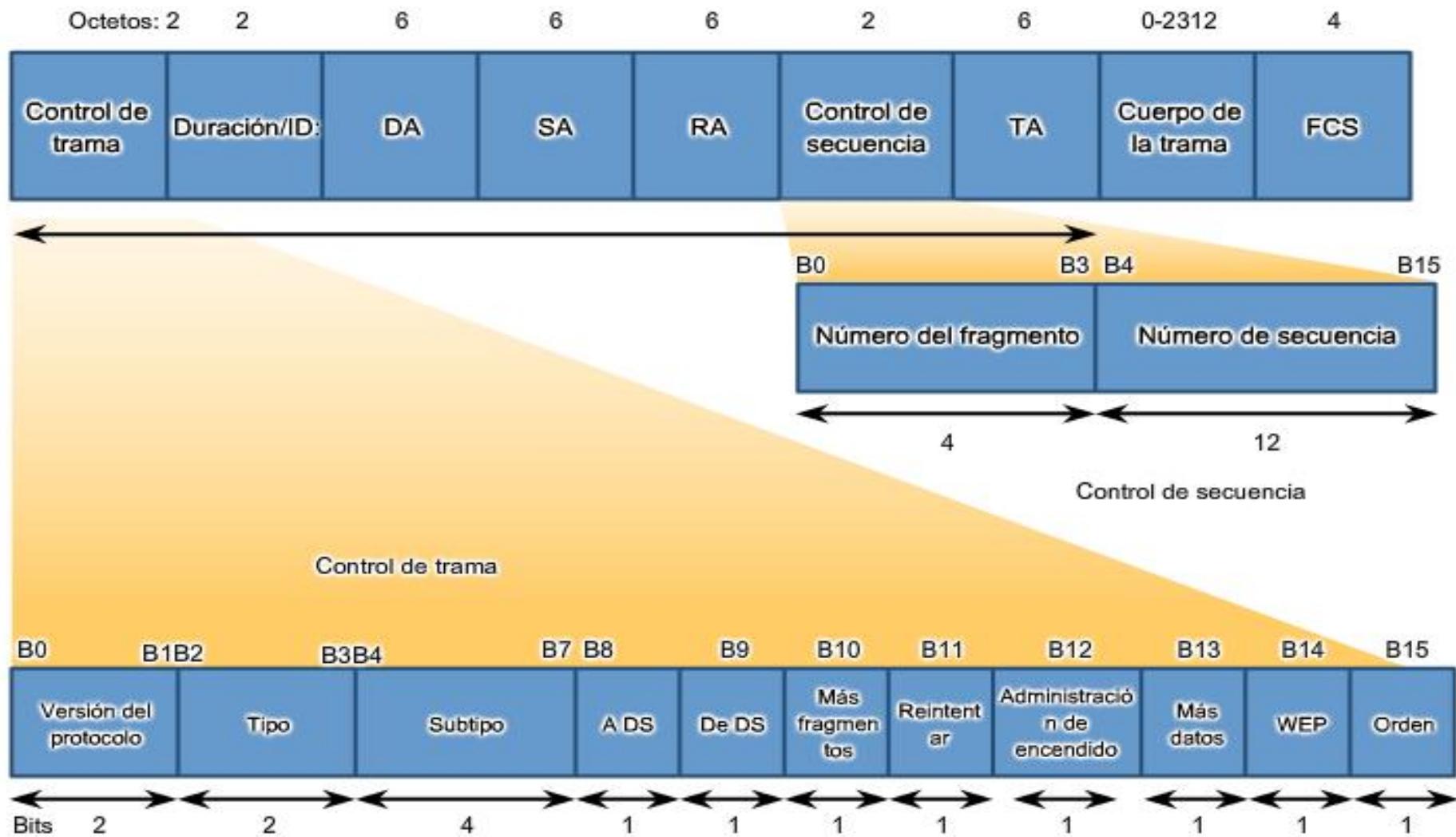
Tiempo de transmisión del beacon también es impredecible.

DCF y PCF no diferencian entre tipos de tráfico o de fuentes.

Tramas RTS y CTS



Protocolo LAN inalámbrico de 802.11



- Esta basado en el protocolo HDLC.
- Especifica los mecanismos para el direccionamiento de estaciones conectadas.
- Especifica el control de datos entre usuarios de la red.
- Tres tipos de servicio:

Sin conexión y sin reconocimiento

Con conexión

Con reconocimiento y sin conexión



WPAN

- Tecnologías
- Estándares
 - Bluetooth
- Arquitectura
- Capa de Radio Física
- Capa de Banda Base
- Administración de Enlace (LMP)
- Capa de adaptación y control de enlace lógico (L2CAP)

- Bluetooth → Fue lanzado por Ericsson en 1994.
- HomeRF → Fue lanzada en 1998 por HomeRF Working Group
- Zigbee → Fue diseñado por la ZigBee Alliance y última versión es 2006.
- Infrarojo

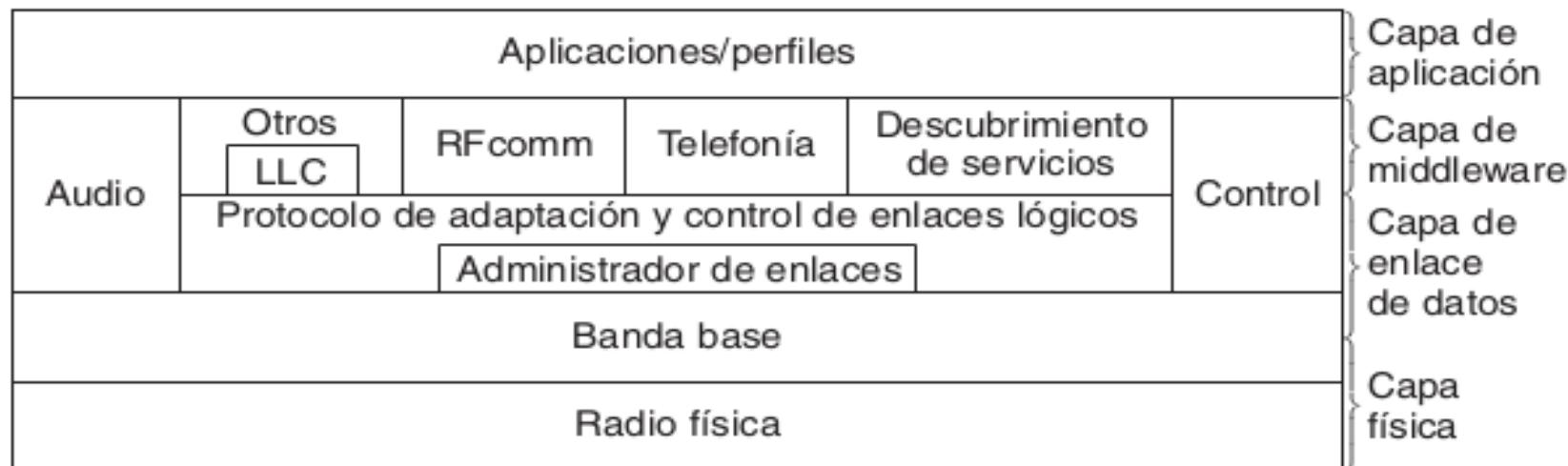
En base a la tasa de transferencia de datos, consumo de energía y calidad de servicio (QoS) se han definido 4 clases:

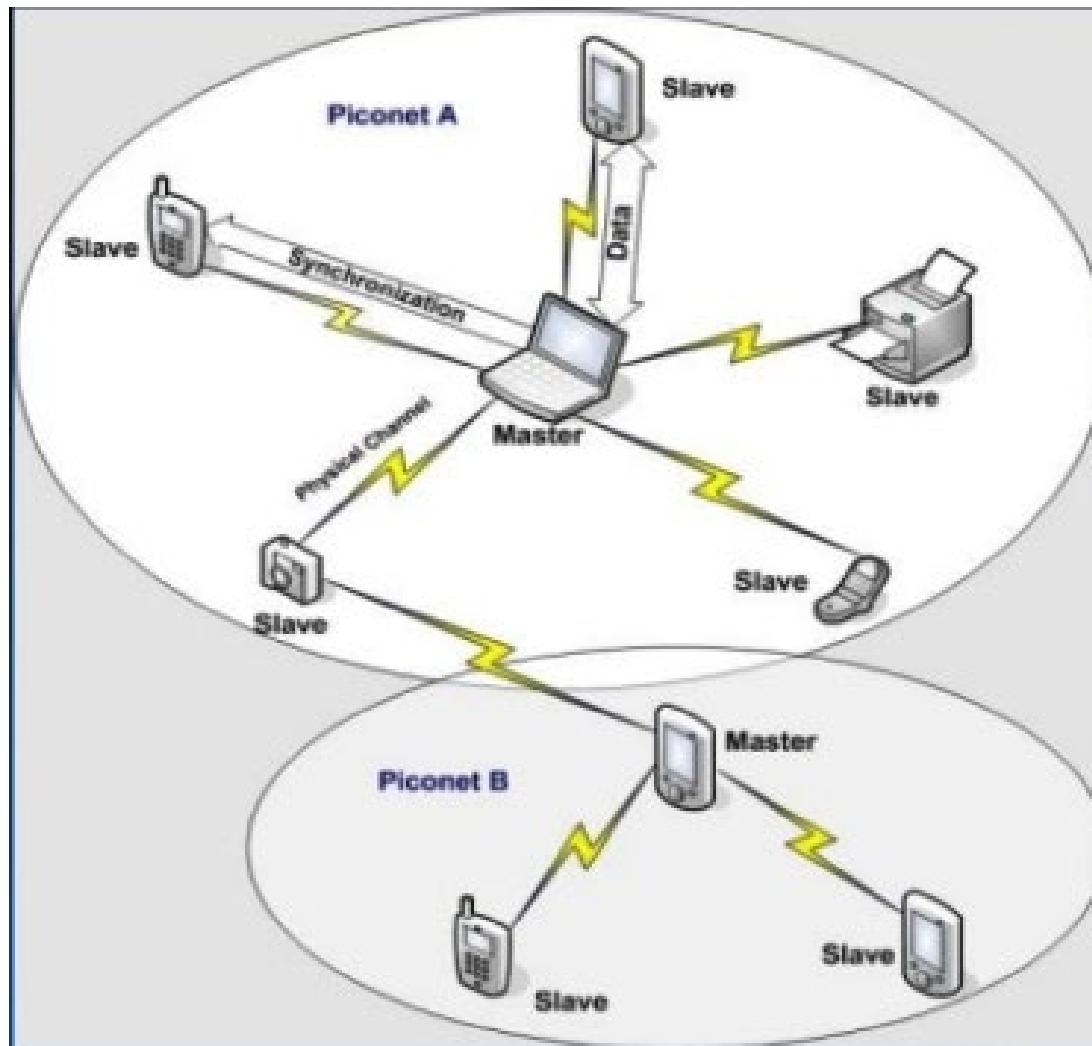
802.15.1: Se adoptó Bluetooth como base del estándar.

802.15.2: Definición de modelos de coexistencia entre redes WPAN y WLAN.

802.15.3: Estándar WPAN de alta velocidad para servicios multimedia.

802.15.4: Estándar WPAN de baja velocidad, baja complejidad y bajo costo.





Translada los bits del maestro al esclavo y viceversa.

Trabaja en la banda de frecuencias de 2.4GHz.

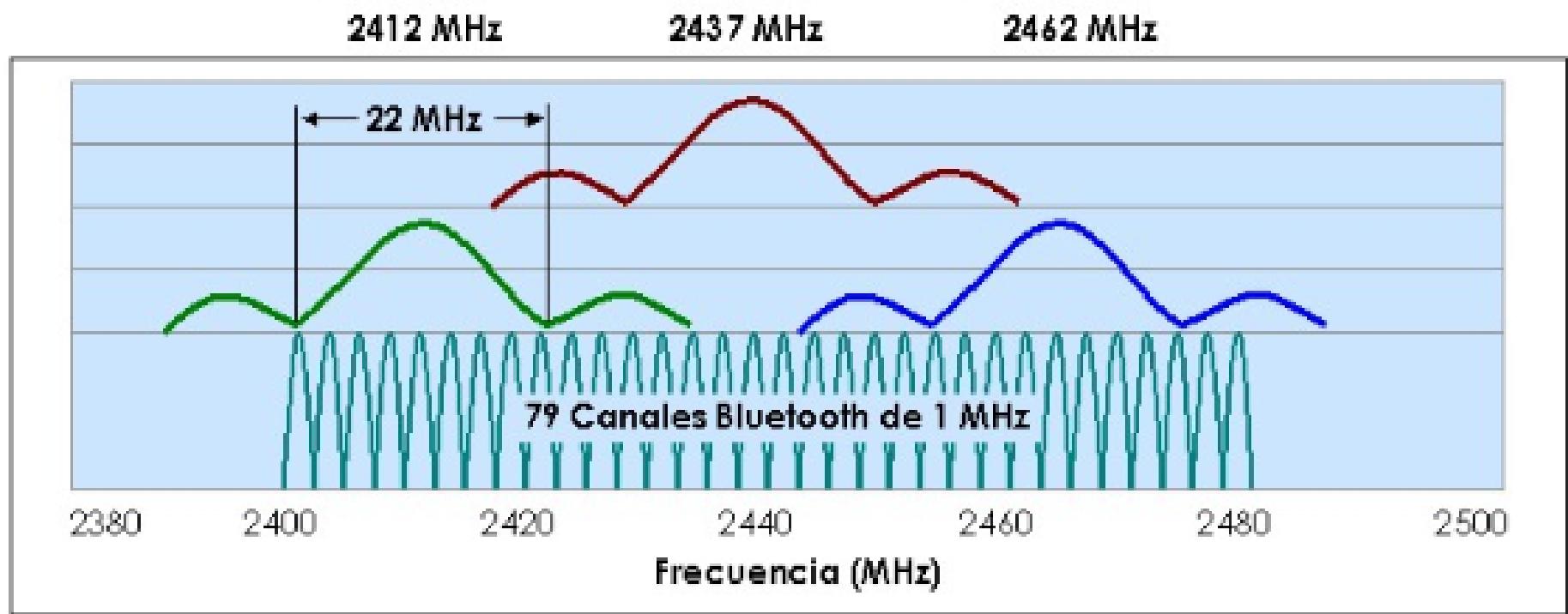
La banda se divide en 79 canales de 1MHz cada uno.

Utiliza la modalidad de transmisión de ensanchamiento del espectro por saltos de frecuencia (FHSS)

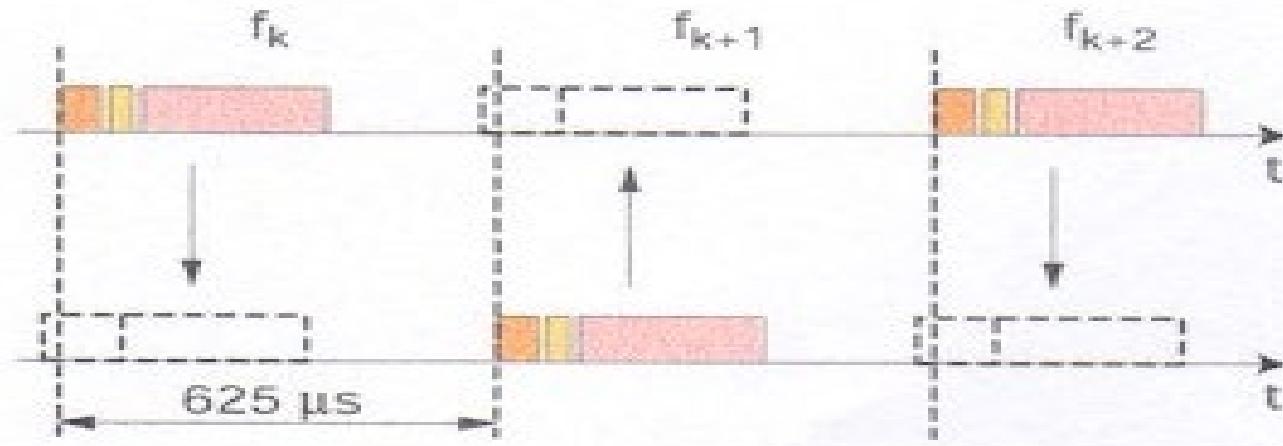
Se define tres clases de dispositivos Bluetooth

Clase	Potencia Máxima	Alcance
Clase 1	100mW	100m
Clase 2	2.5mW	10m
Clase 3	1mW	1m

Comparación entre Bluetooth y Wi-Fi



- Convierte el flujo de bits en tramas.
- El maestro de la Piconet define una serie de ranuras. En las pares transmite y en las impares recibe.
- Las tramas pueden tener 1, 3 o 5 ranuras
- Luego de cada salto hay un tiempo de asentamiento de 250 microseg para estabilizar circuitos.



Hay dos tipos de enlaces lógicos:

Enlace ACL (Asícrono no orientado a la conexión):

Conexión simétrica o asimétrica punto a multipunto sin ancho de banda prefijado entre un maestro y uno mas esclavos activos.

Es del tipo de conexión de conmutación de paquetes.

Se necesita asegurar la entrega de datos.

Es utilizado para la transferencia de datos sin requerimientos temporales.

Enlace SCO (Síncrono orientado a la conexión):

Conexión punto a punto con un ancho de banda fijo entre el maestro y un esclavo específico.

El enlace SCO reserva slots en intervalos regulares en el inicio.

Este tipo de enlace no es necesario asegurar la entrega de datos.

Es utilizado en comunicaciones de voz.

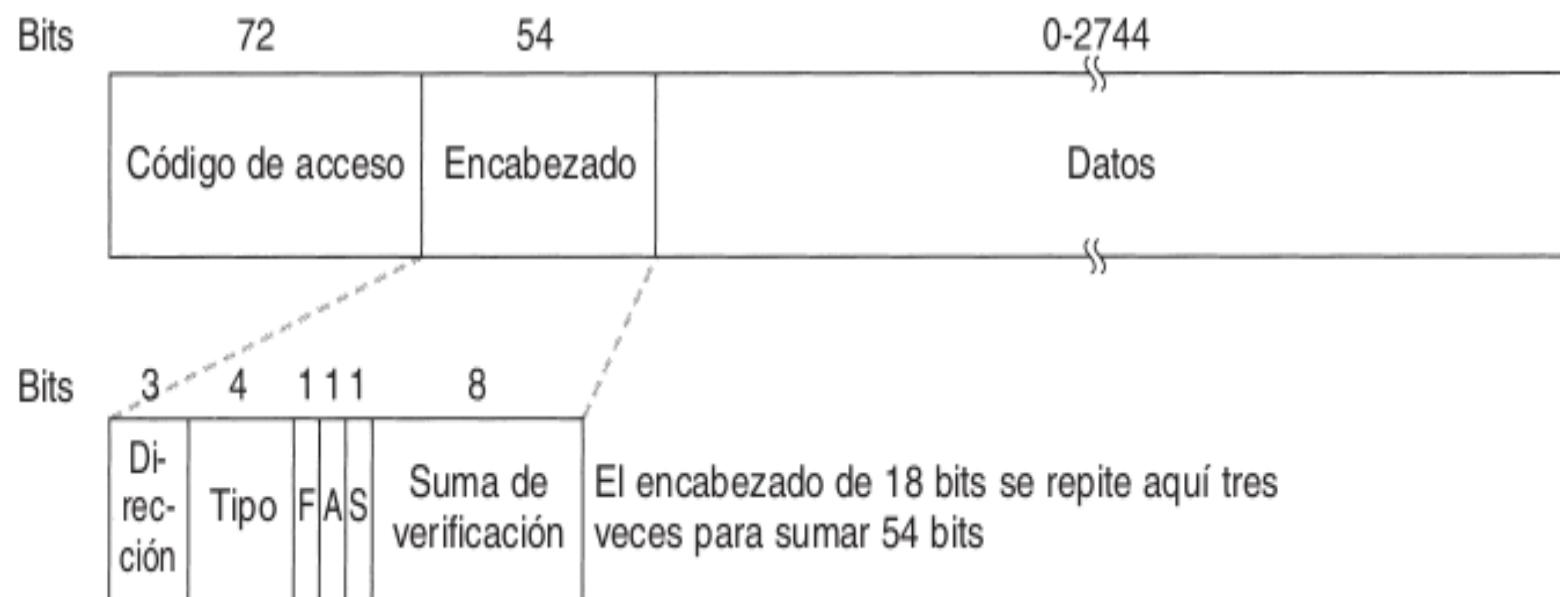
Es el responsable de configurar las conexiones entre los distintos dispositivos Bluetooth mediante la trasmisión de distintos mensajes o PDU.

Funcionalidades:

- ◆ Calidad de soporte de servicio.
- ◆ Autenticación y cifrado, intercambiando las claves de encriptación empleadas en este proceso.
- ◆ Control y negociación del tamaño de los paquetes de BandaBase.
- ◆ Estado de los dispositivos en una piconet.
- ◆ Control de energía de las unidades.
- ◆ Supervisión del enlace.

Tiene tres funciones principales:

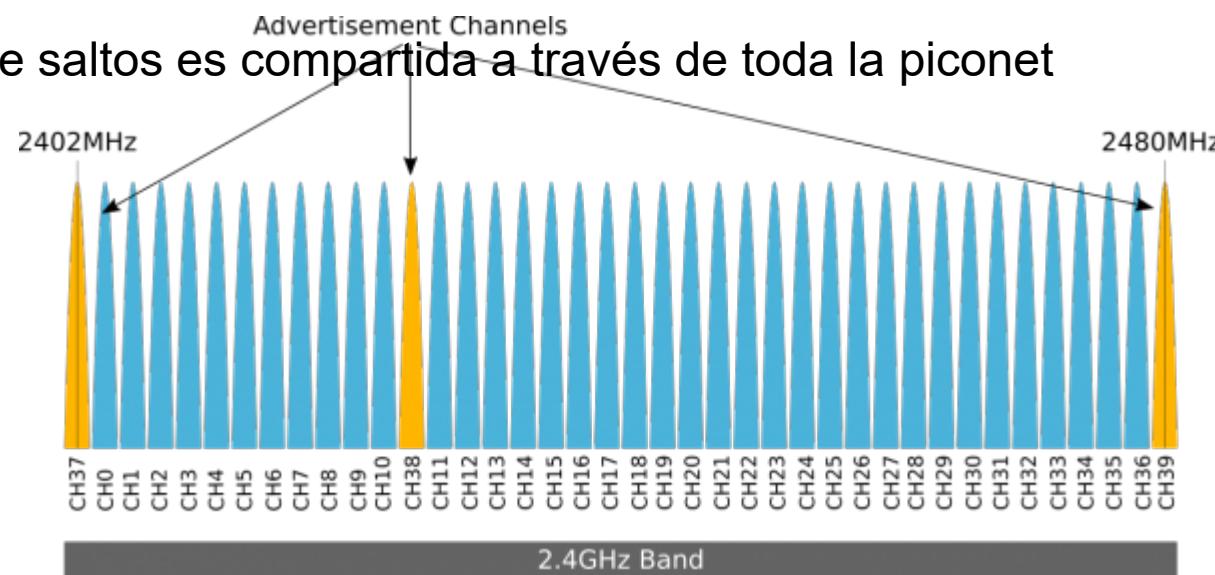
- ◆ Aceptar paquetes de 64KB y dividirlos en tramas.
- ◆ Manejar la multiplexación/demultiplexación de múltiples fuentes de paquetes.
- ◆ Administrar la calidad del servicio



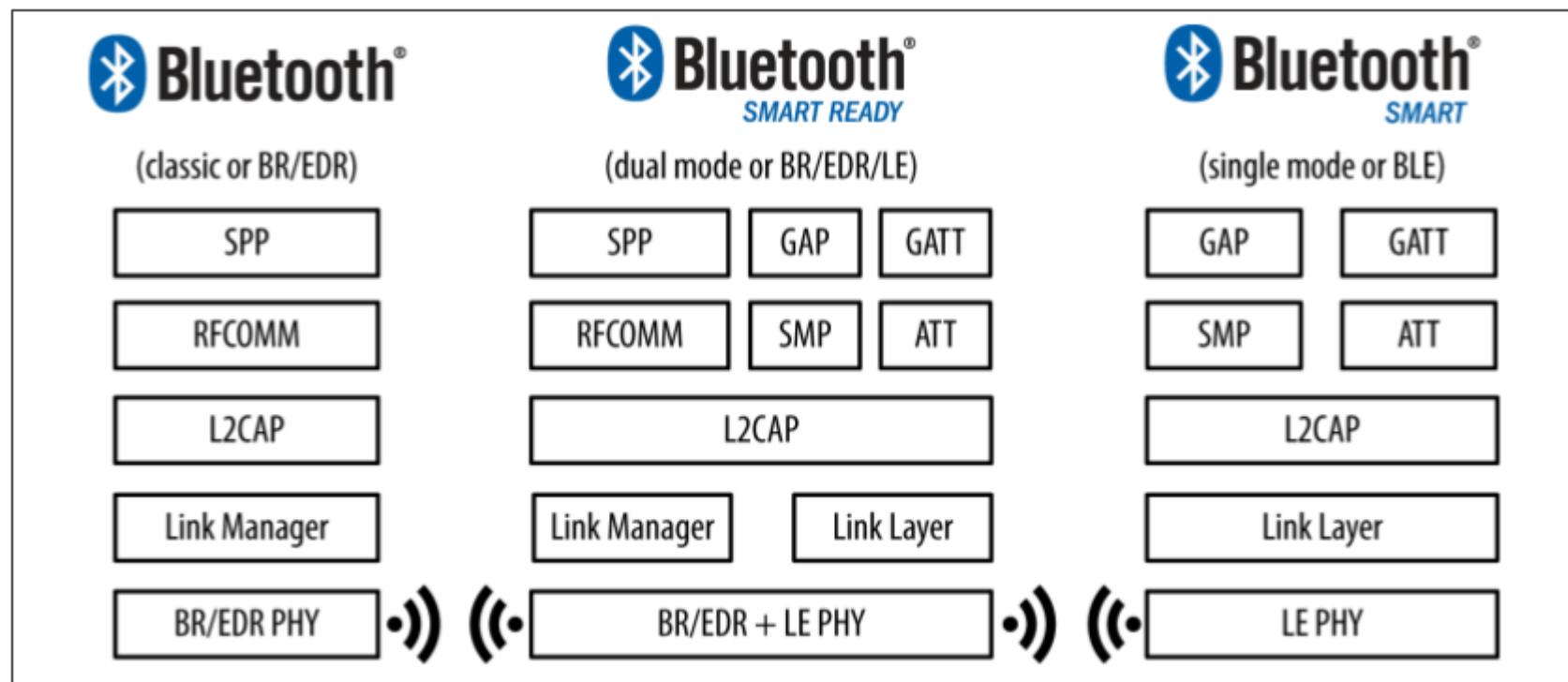
- Introducción
- Configuración
- Topología de red
- Perfiles Genéricos
- Capa Enlace

Técnica de modulación: Adaptive Frequency Hopping Spread Spectrum

- Resiste interferencias y efectos de múltiples trayectorias
- Proporciona una forma de acceso múltiple entre dispositivos co-localizados en diferentes piconets.
- El ancho de banda total de 80 MHz se divide en 40 canales de 2 MHz cada uno.
- FH se produce al saltar desde una frecuencia a otra utilizando una secuencia pseudo-aleatoria.
- Secuencia de saltos es compartida a través de toda la piconet



Modos de configuración: Único y Dual



Modo Dual

Bluetooth BR/EDR y LE

Utilizado en cualquier lugar que se utiliza hoy en día un BR / EDR



Modo Único

Implementado solo por Bluetooth LE en nuevos dispositivos o aplicaciones



Topología de red: Broadcasting

Se puede enviar datos a cualquier dispositivo que este explorando la medio o a cualquier receptor en el rango de audición

El transmisor BLE envía periódicamente paquetes de anuncio (advertising) a cualquier dispositivo que este dispuesto a recibirlas

El receptor BLE explora repetidamente las frecuencias de anuncio enviadas por algún transmisor.

Topología de red: Conexiones

Una conexión es permanente y periódicamente se intercambian paquetes de datos entre dos dispositivos.

Maestro: Escanea repetidamente las frecuencias predeterminadas para los paquetes de anuncio y cuando es apropiado inicia una conexión.

Esclavo: Envía paquetes de anuncio periódicamente y acepta las conexiones entrantes.

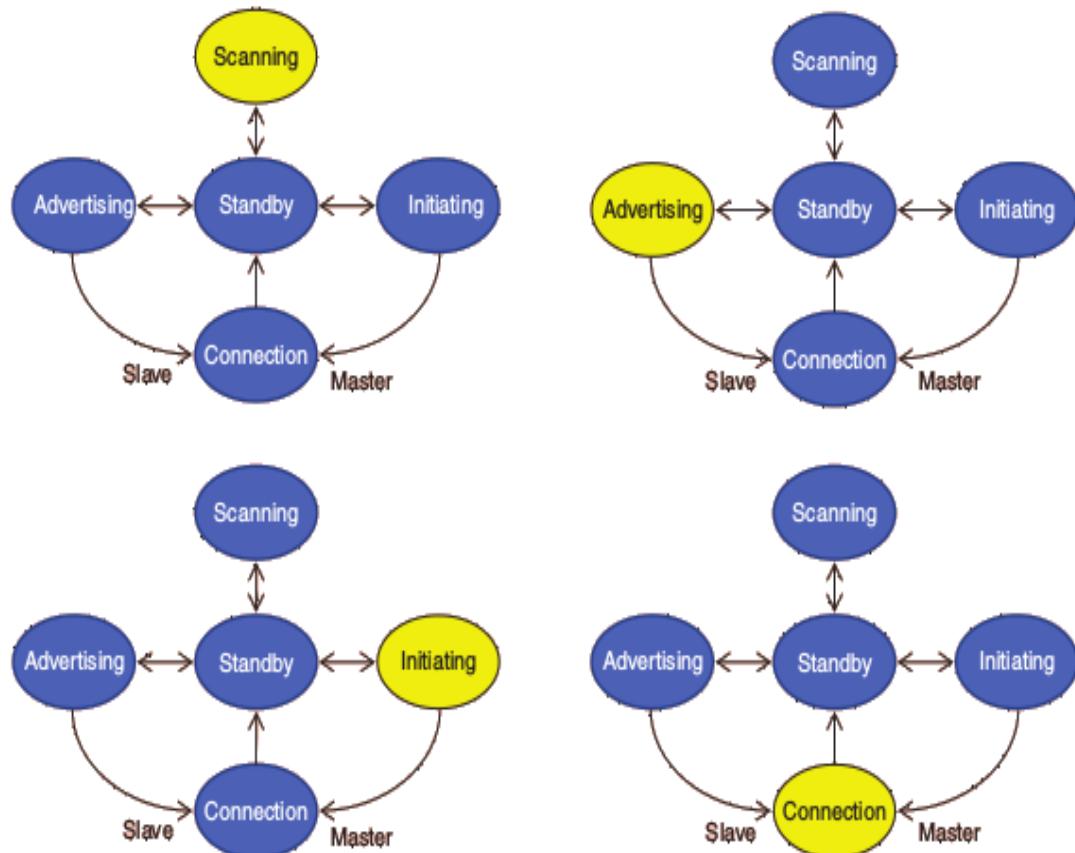
Perfiles Genéricos

Perfil de Acceso Genérico (GAP): Abarca el modelo de los protocolos de radio de las capas inferiores para definir las funciones, procedimientos y modos que permiten a los dispositivos para transmitir datos, descubrir dispositivos, establecer conexiones, gestión de conexiones, y negociar los niveles de seguridad.

GAP es la capa de control superior de BLE y es obligatorio para todos los dispositivos BLE.

Perfil de Atributo Genérico (GATT): Trata el intercambio de datos en el BLE, el GATT define un modelo de datos y los procedimientos básicos para permitir que los dispositivos para descubrir, leer y escribir los elementos de datos.
Es la capa de datos mas alta del BLE.

Capa de enlace

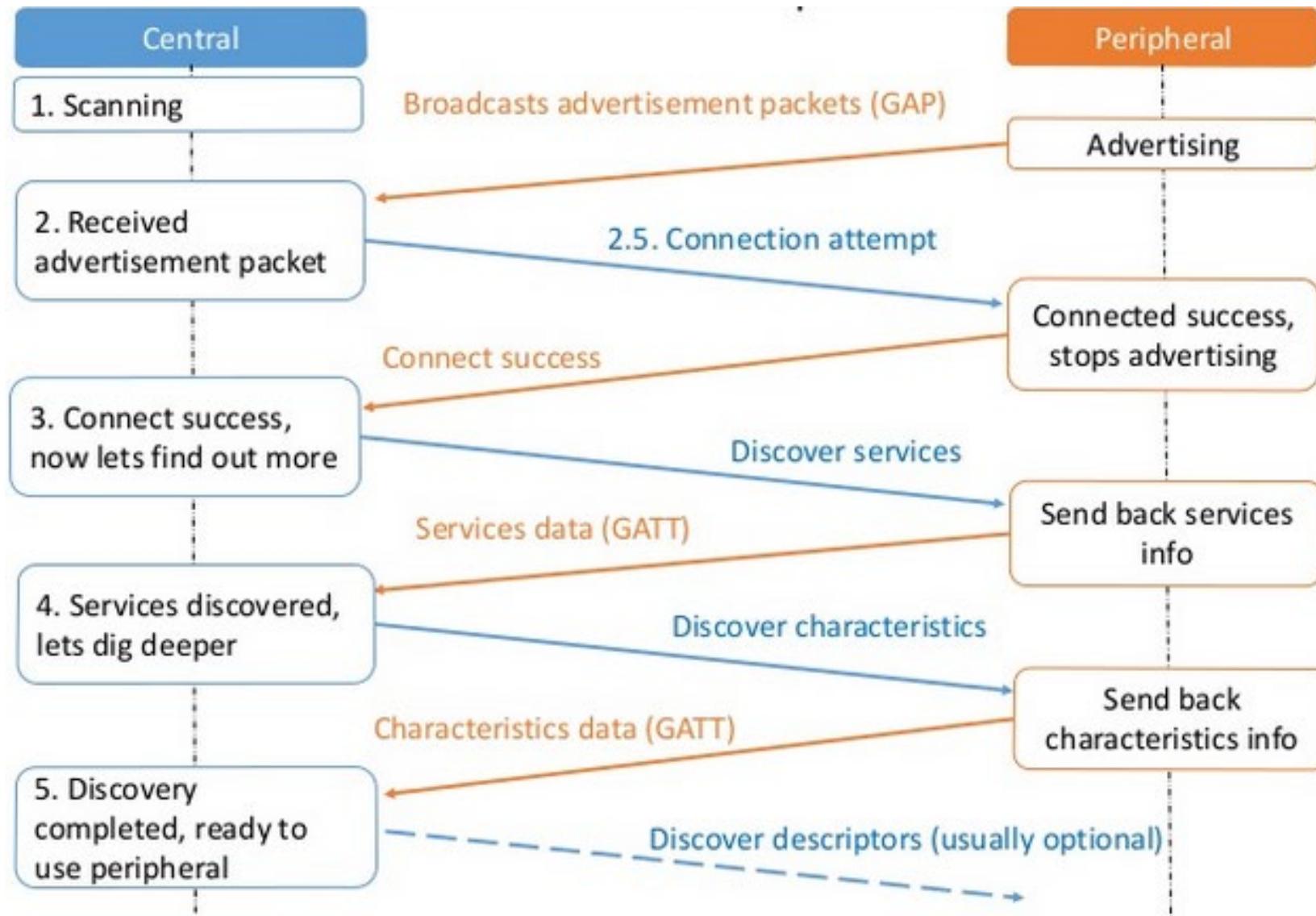


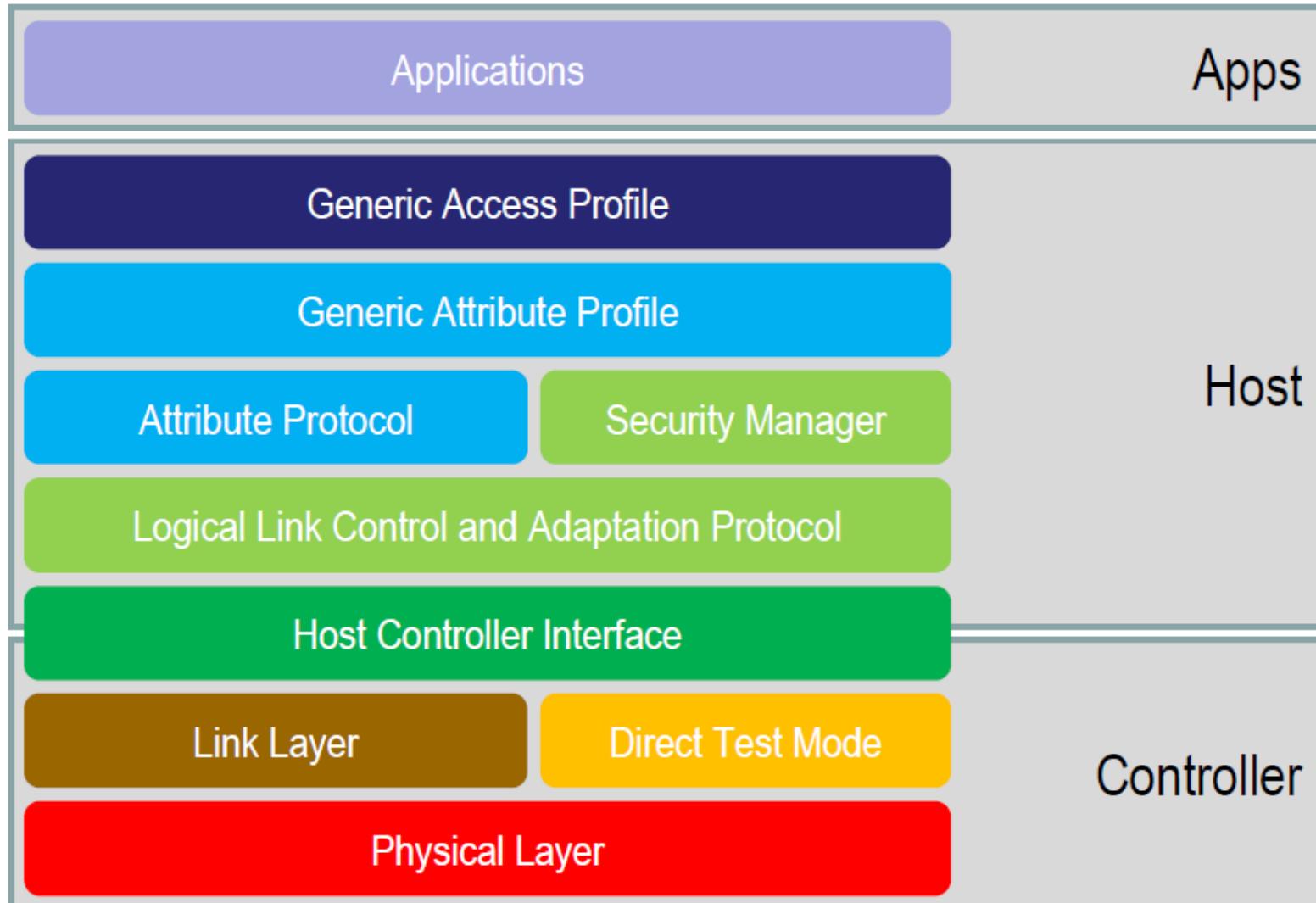
Espera (Standby): El dispositivo no esta transmitiendo ni recibiendo. Usualmente, esta asociado con el modo de ahorro de energia donde el dispositivo esta dormido.

Anuncio (Advertising): Un dispositivo que tiene un rol de esclavo entrara en el estado de anuncio donde se enviaran paquetes en los canales de anuncio.

Exploración (Scanning): Escucha los paquetes de anuncio que se envian a través de esos canales. Este modo se utiliza para buscar los dispositivos.

Inicialización (Initiating): Este estado es utilizado por el maestro antes de establecer una conexión.





Devices Connected to Internet



1990s

≈ 1 Billion Devices



2000s

Age of Smart Phones
≈ 2 Billion Devices



2021

Age of IoT

≈ 48 Billion Devices

- Bluetooth Low Energy (LE) has been actively evolved to make it a key enabler of the Internet of Things (IoT), focusing on the edge tier of IoT systems.
- Bluetooth 5 brings some major advances to the technology and makes it ideal for an even broader range of IoT scenarios.

≈ 30% devices are forecasted to include Bluetooth technology



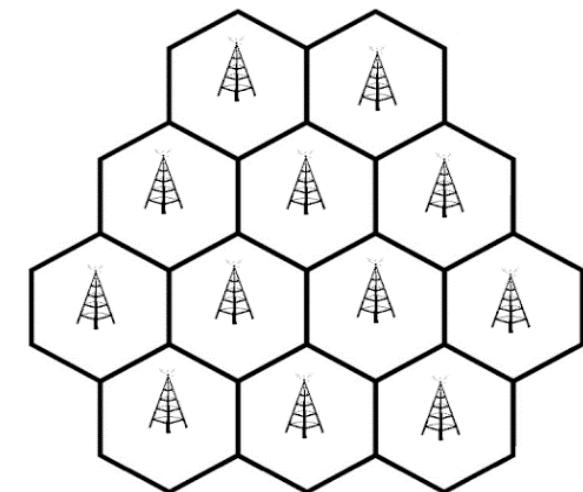
Especificación	Bluetooth 4.2	Bluetooth 5.0
Velocidad	1 Mbps	2 Mbps
Rango	10m interior 50m exterior	40m interior 200m exterior
Potencia	Alta	Baja
Capacidad de mensaje	31 bytes (Actual 17-20)	255 bytes
Tiempo de vida: Batería	Baja	Alta
Confiabilidad	Baja	Alta
Dispositivos IoT	No soporta	Soporta

Comparación de tecnologías

Feature	Bluetooth Classic	Bluetooth 4.x	Bluetooth 5	IEEE 802.15.4 - ZigBee	IEEE 802.11ah - HaLow
Radio Frequency (MHz)	2400 to 2483.5	2400 to 2483.5	2400 to 2483.5	868.3, 902 to 928, 2400 to 2483.5	900
Distance/Range (meters)	Up to 100	Up to 100	Up to 200	Up to 150	Up to 1000
Medium Access Technique	Frequency Hopping	Frequency Hopping	Frequency Hopping	CSMA/CA	Restricted Access Window
Nominal Data Rate (Mbps)	1-3	1	2	0.02-0.25	0.15-7.8
Latency (ms)	<100	<6	<3	<4	>1000
Network Topology	Piconet, Scatternet	Star-bus, Mesh	Star-bus, Mesh	Mesh	Star-bus
Multi-hop Solution	Scatternet	Yes	Yes	Yes	Up to 2 hops
Profile Concept	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Nodes/Active Slaves	7	Unlimited	Unlimited	Unlimited	Unlimited
Message Size (bytes)	Up to 358	31	255	100	100
Certification Body	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	ZigBee Alliance	IEEE

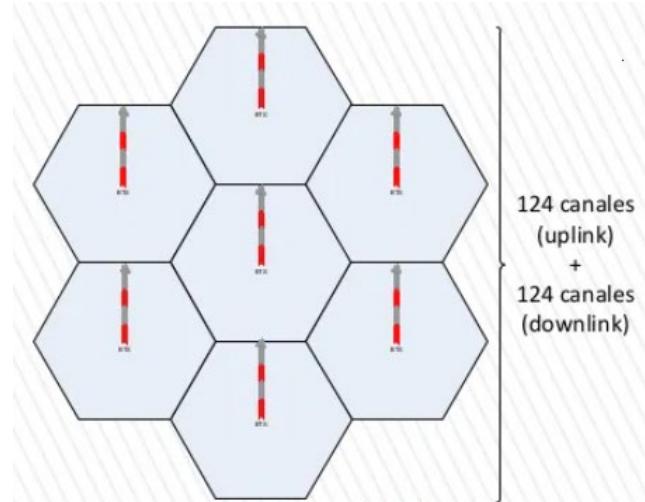
Sistemas comunicaciones móviles

- Reemplaza la antena transmisora de alta potencia para amplia cobertura por muchas estaciones transmisoras de baja potencia (radio bases), cada una proveyendo el servicio a una pequeña porción (celda) dentro del área total de cobertura.
- A cada radio base se le asigna una porción del total de canales disponibles en el sistema ⇒ diferentes grupos de canales son asignados a radio bases vecinas de modo que la interferencia en el enlace causada por transmisión desde radio bases vecinas es minimizada.
- El total de canales son asignados a un número relativamente pequeño de radio bases vecinas. Este conjunto de celdas que agrupan la totalidad de los canales del sistema se denomina “clúster”. Acumulando varios clústeres es como se alcanza la cobertura total del sistema celular.

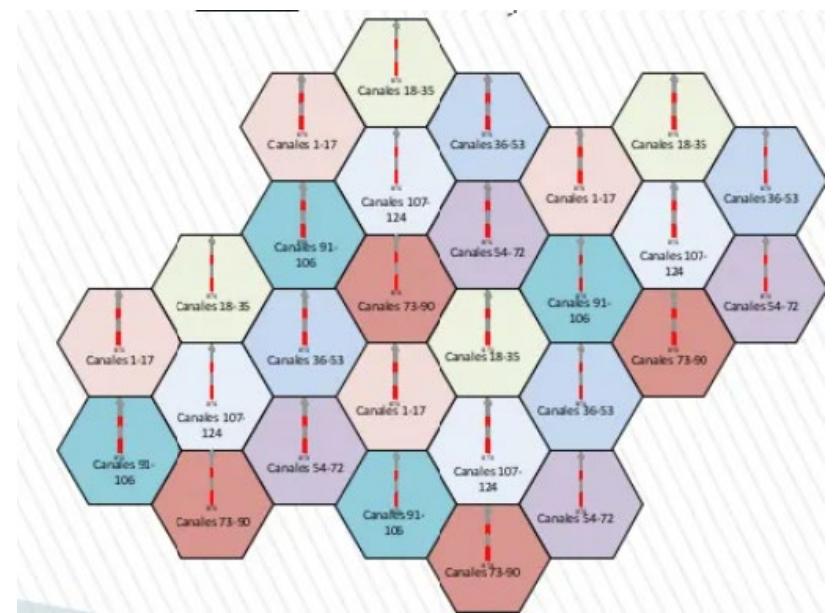


Reutilización de frecuencias

Problema
Número finito de canales de comunicación.



Solución
Reuso de frecuencias.
Celdas adyacentes tienen conjuntos de frecuencias disjuntas.



Traspaso: Handoff / Handover

Cuando una estación móvil se desplaza a una nueva celda mientras la llamada está en progreso, el centro de conmutación móvil y/o el centro de control de estaciones base transfiere automáticamente la llamada a un nuevo canal o código de comunicación perteneciente a la nueva estación radio base.



Los handoffs deben realizarse:

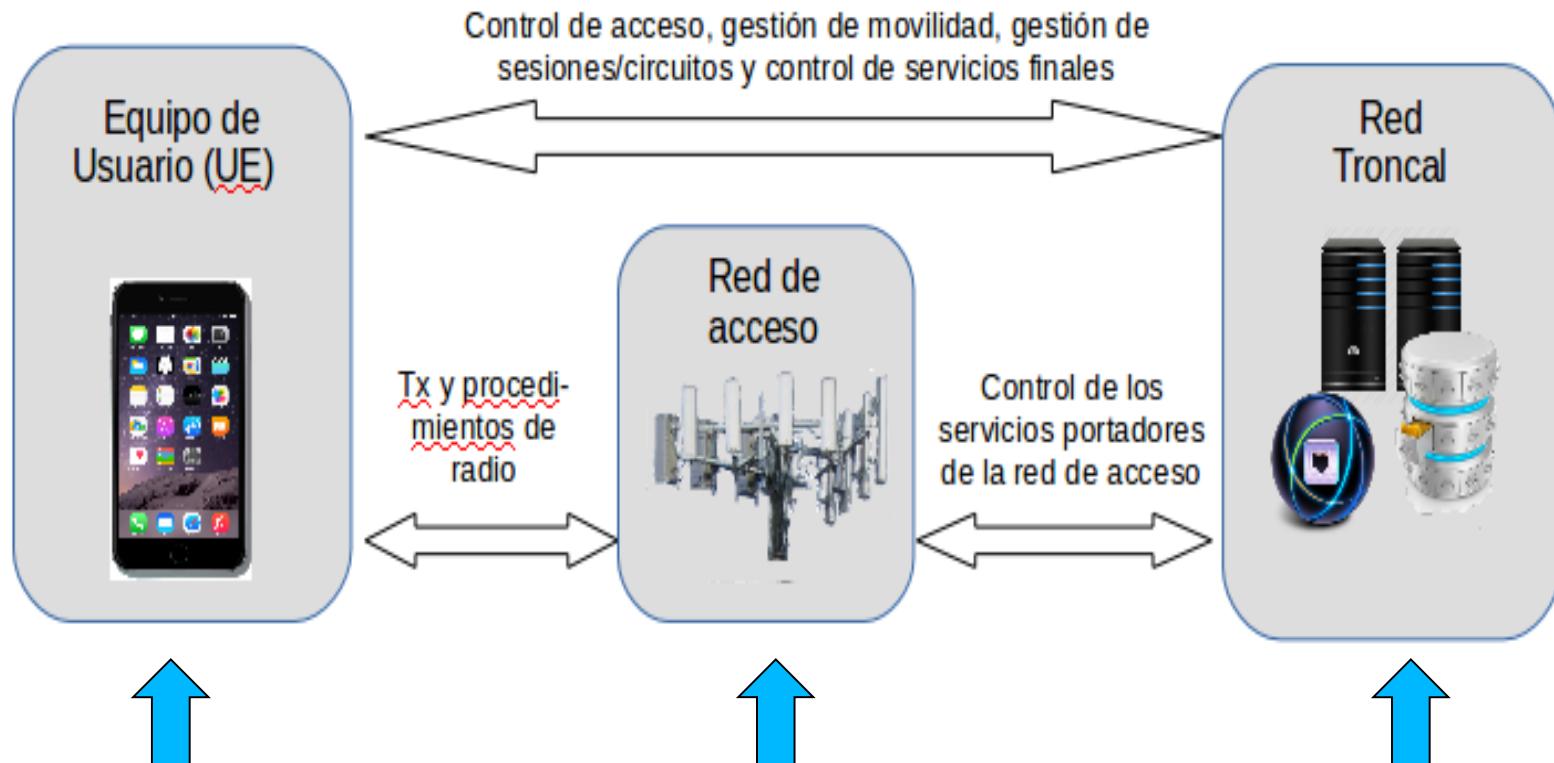
1. Exitosamente
2. Lo menos frecuentemente posible
3. Imperceptiblemente para los demás usuarios
4. Prioritariamente a arribos de solicitud de llamada

- 1G: Sistemas analógicos
 - I. Servicios de voz y mensajería unidireccional
 - II. NMT, TACS, AMPS
- 2G: Sistemas digitales
 - I. Servicios de voz y datos a baja velocidad en modo circuito
 - II. GSM, DECT, IS-95
- 2,5G: Sistemas digitales con comunicaciones en modo paquete
 - I. Servicios de datos de velocidad media en modo paquete
 - II. GPRS, EDGE, 1xRTT
- 3G: Sistemas digitales de banda ancha
 - I. Servicios de voz y datos de alta velocidad
 - II. UMTS, cdma2000
- 3.5G-3.9G: Incremento de BW
 - I. HSPA: HSDPA (R5), EUL-HSUPA (R6)
 - II. HSPA+
- 4G: Sistemas de alta velocidad y baja latencia
 - I. LTE
 - II. LTE Advanced

- Objetivos
- Arquitectura
- Elementos de un sistema LTE
- Capa física
- Interfaz de radio

- Incrementar las tasas de datos de los usuarios (downlink y uplink)
- Reducir retardos tanto en el establecimiento de la conexión como en la transmisión
- Ancho de banda escalable
- Mejorar la eficiencia espectral
- Arquitectura de red simplificada y con IP
- La interfase debe poder soportar diferentes tipos de usuarios
- Consumo de energía razonable para los terminales móviles

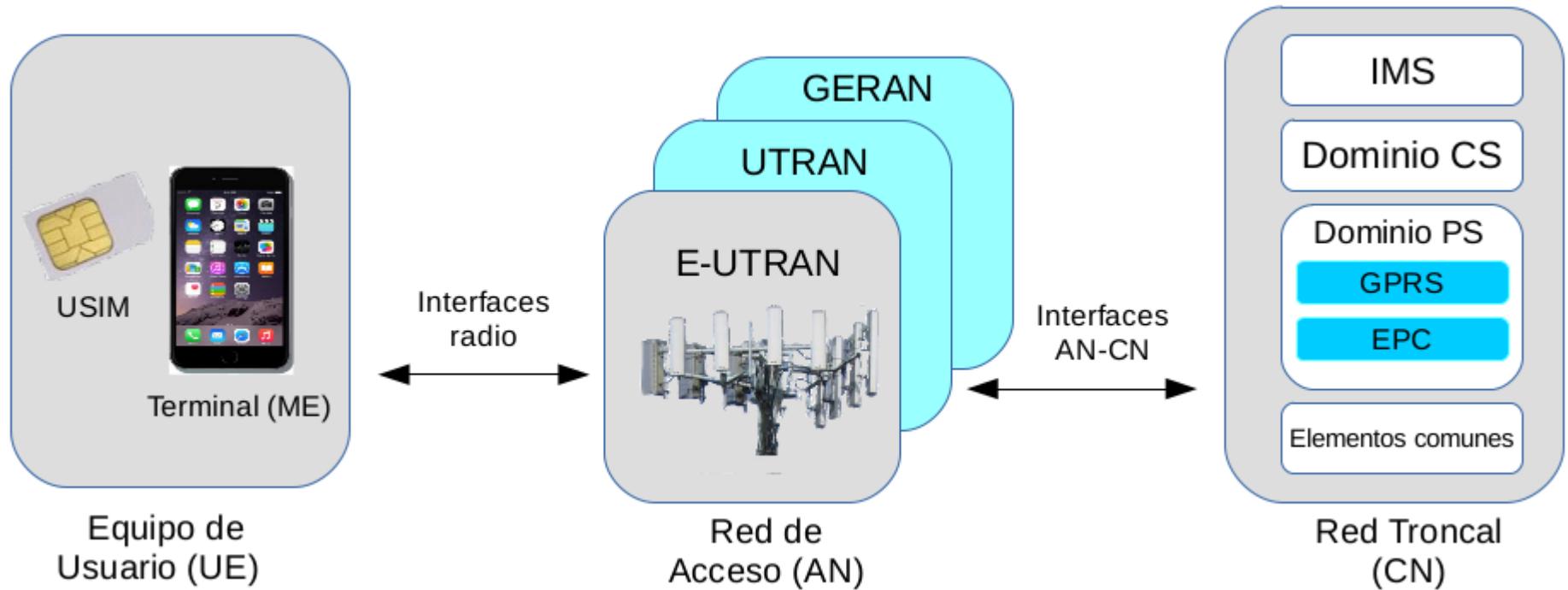


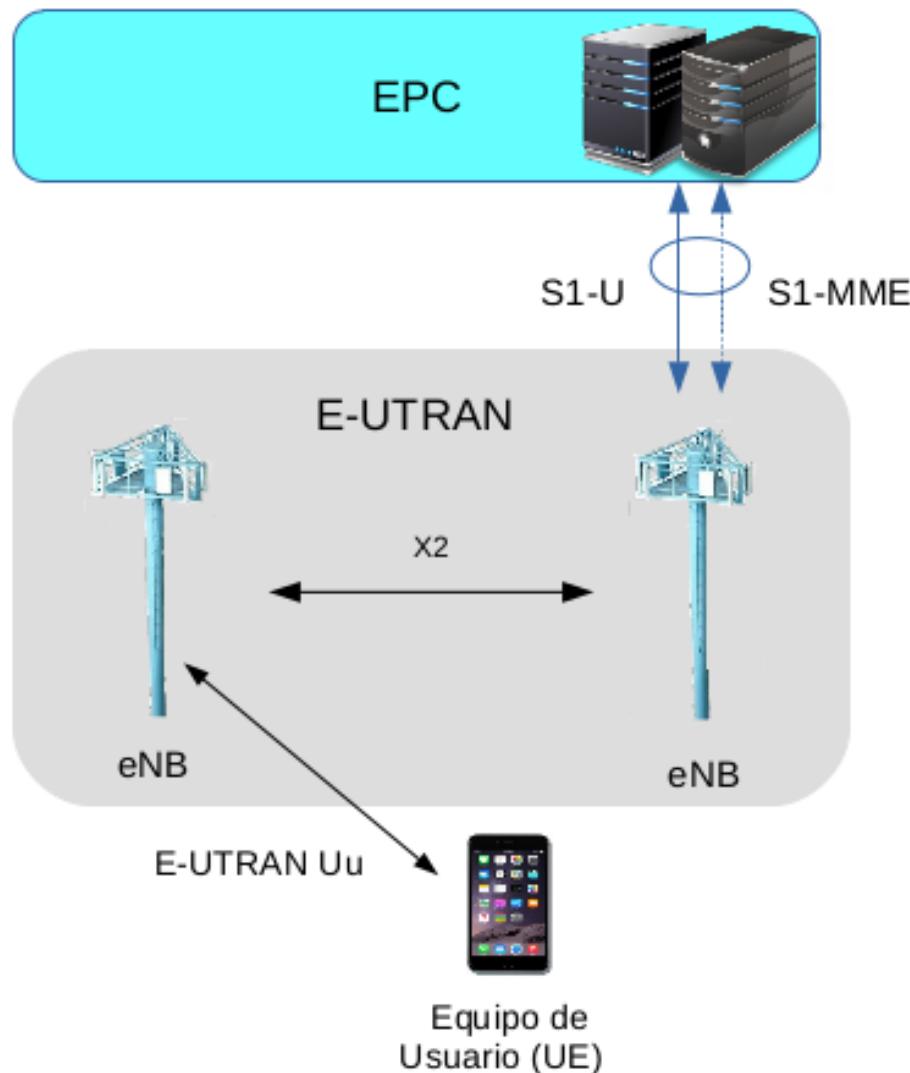


Dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios de la red.

Parte del sistema responsable de sustentar la transmisión de radio con los equipos de usuario para proporcionar la conectividad.

Parte del sistema encargado de control de acceso a la red celular, gestión de la movilidad de los usuarios, gestión de las sesiones de datos o circuitos que transportan la información de los usuarios





La red de acceso se compone de una única entidad de red denominada evolved NodeB (eNB) que constituye la estación base de E-UTRAN.

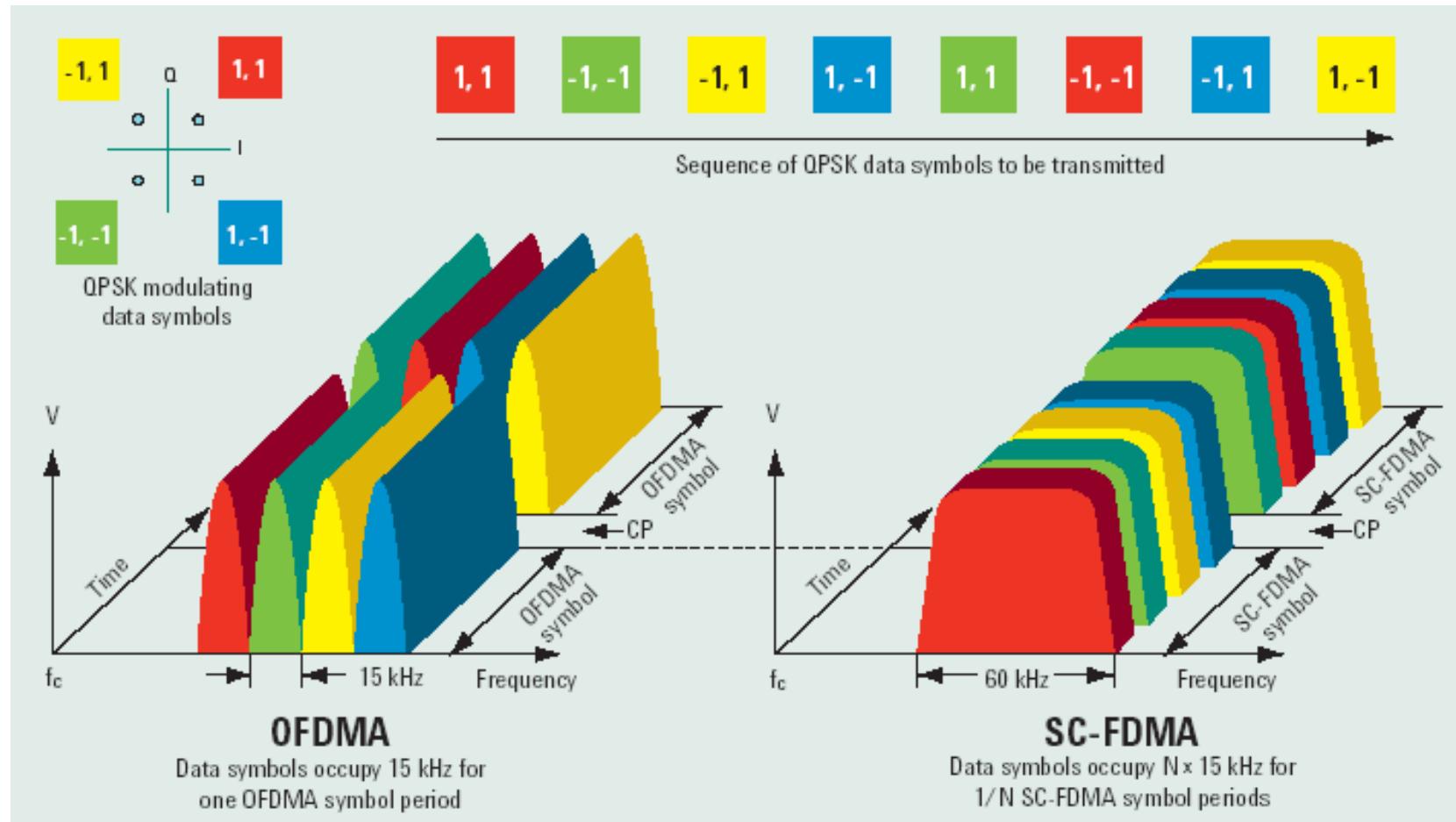
Cada eNBs proporciona la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC y se comunica con el resto de elementos mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

La interfaz E-UTRAN Uu permite la transferencia de información por el canal radio entre el eNB y los equipos de usuario

El eNB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1.

S1-MME para sustentar el plano de control
S1-U como soporte del plano de usuario

- Detección de errores en el canal de transporte e indicación a las capas superiores.
- Codificación/decodificación FEC en el canal de transporte.
- Control de la potencia de los canales físicos.
- Modulación y demodulación de los canales físicos.
- Sincronización de tiempo y de frecuencia.
- Procesado de antenas en MIMO.
- Diversidad de TX.



OFMDA

- Diversidad multiusuario
- Diversidad frecuencial
- Robustez frente a la propagación multicamino
- Flexibilidad en la banda
- nada
- Elevada granularidad en los recursos asignables

SC-FMDA

- Variaciones reducidas en la potencia instantánea de la señal transmitida
- Posibilidad de llevar a cabo de forma sencilla mecanismos de ecualización en el dominio de la frecuencia
- Capacidad de proporcionar una asignación de banda flexible.

