

# 8

# REDES WLAN



## Manual de clases

### Objetivo

- Analizar la arquitectura 802.11 de las redes LAN inalámbricas, los canales WiFi de las diferentes bandas de frecuencias y el proceso de asociación a los Access Point.

Última modificación:  
29 de abril de 2023

Tema 8 de:  
**COMUNICACIÓN POR RADIO**

Edison Coimbra G.

# 1. FUNDAMENTOS DE LAS REDES WLAN

## REDES WLAN

### Origen de las Redes LAN inalámbricas

- **Presentes por todas partes**, en las oficinas, en los domicilios particulares, en las instituciones educativas, en las cafeterías, en los aeropuertos e incluso en la esquina de cualquier calle, **las Redes LAN inalámbricas** son hoy en día una de las tecnologías más importantes de redes de acceso a Internet.
- **Aunque en la década** de 1990 se desarrollaron muchas tecnologías y estándares para redes LAN inalámbricas, hay una clase concreta de estándares que ha terminado por emerger como ganador indiscutible: **la Red LAN inalámbrica IEEE 802.11**, también conocida como **red WiFi**.
- **El término "WiFi"** fue creado por Wi-Fi Alliance y hace referencia a un **grupo de protocolos** de redes inalámbricas que se basan en el estándar de redes IEEE 802.11. El WiFi existe desde finales de los 90, pero ha mejorado drásticamente en la última década.
- **El análisis** de las redes LAN inalámbricas abarca:
  - La **arquitectura** 802.11.
  - La **estructura** de trama.
  - El **protocolo** de acceso al medio.
  - La **interconexión** de las redes LAN 802.11 con las redes LAN Ethernet cableadas .



# Fundamentos de las redes WLAN

REDES WLAN

¿Quién inventó el WiFi?



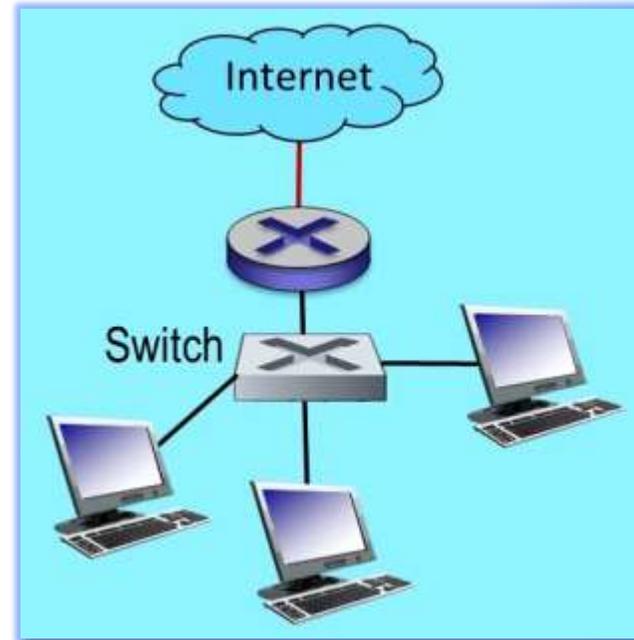
# Fundamentos de las redes WLAN

## REDES WLAN

### Red cableada vs. red inalámbrica

(Kurose, 2017)

- **Considere** una red cableada simple, por ejemplo una red doméstica, con un **Switch Ethernet** cableado que interconecta los hosts.
- **Si se reemplaza** la Ethernet cableada por una red inalámbrica WiFi (802.11), se tendrían que sustituir las tarjetas Ethernet cableadas de los hosts por tarjetas NIC inalámbricas y cambiar el Switch Ethernet por un **Access Point inalámbrico**, pero no haría falta prácticamente ningún cambio en la capa de red ni en las capas superiores.
- **Esto sugiere** que la atención debe centrarse en la **capa de enlace** a la hora de buscar diferencias importantes entre las redes cableadas e inalámbricas. De hecho, se pueden encontrar varias distinciones de importancia entre un enlace cableado y un enlace inalámbrico.



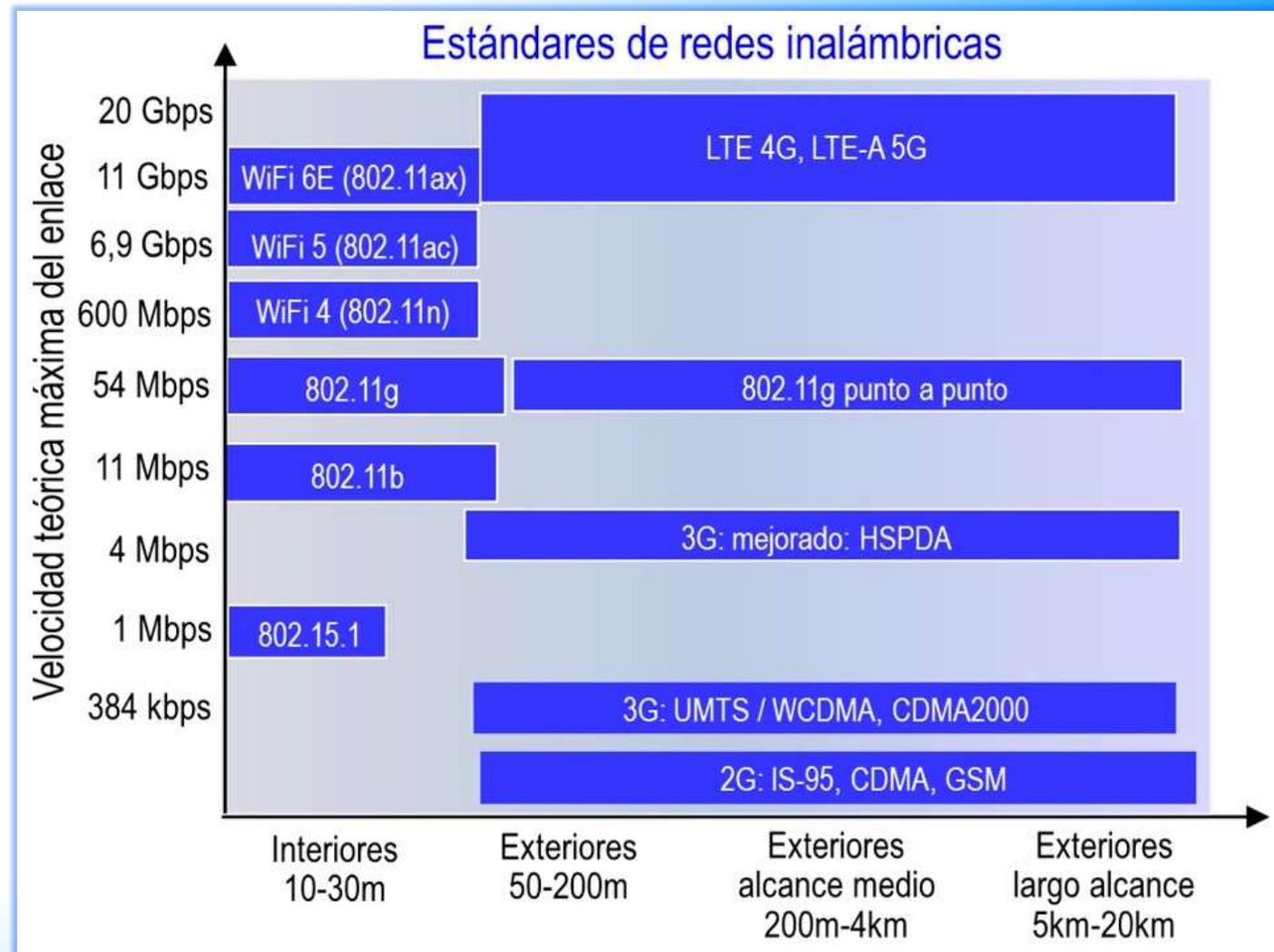
# Fundamentos de las redes WLAN

## REDES WLAN

### Estándares de las redes inalámbricas

- **Las diferentes tecnologías** de enlaces inalámbricos tienen distintas velocidades de transmisión y pueden transmitir a diferentes distancias.
- **La figura muestra** dos características clave de los estándares más populares de redes inalámbricas, que son el **área de cobertura** y la **velocidad del enlace**. La figura solo pretende proporcionar una idea aproximada de estas características.
- **Algunos de estos tipos** de redes solo ahora se están comenzando a implantar y algunas velocidades de enlaces pueden aumentar o disminuir respecto a los valores mostrados, dependiendo de la distancia, de las condiciones del canal y del número de usuarios en la red inalámbrica.

(Kurose, 2017)



# 2. ESTANDARES DE LAS REDES Wi Fi

## REDES WLAN

### Estándares IEEE 802.11

(Intel, 2020)

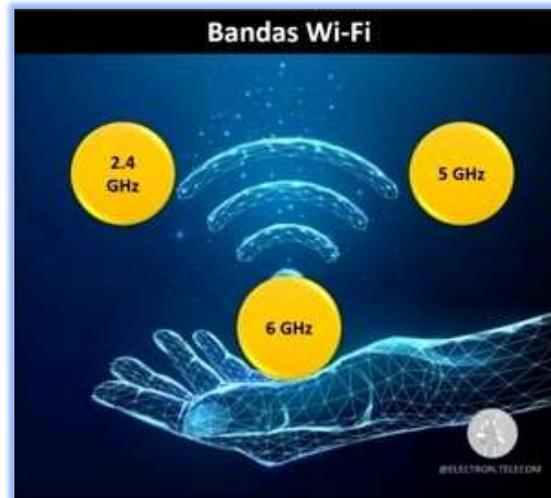
- **Existen varios** estándares 802.11 para la tecnología LAN inalámbrica en las familias IEEE 802.11 (WiFi). Los diferentes estándares 802.11 comparten todos ellos algunas características comunes.
- **Para hacer más evidentes** las diferencias entre cada generación, WiFi Alliance adoptó una convención de nomenclatura más tradicional, suprimiendo la designación 802.XX para un **sufijo numérico simplificado**.
- **Este esquema** numérico simplificado hace que sea más fácil conocer cuál generación de la tecnología se está utilizando y determinar la compatibilidad con los dispositivos que soportan esa versión. La tabla muestra el resumen de las tres últimas versiones de WiFi.
  - ▶ **Todos ellos** emplean el mismo protocolo de acceso al medio CSMA/CA.
  - ▶ **Utilizan** la misma estructura de trama para sus tramas de la capa de enlace.
  - ▶ **Tienen** la capacidad de reducir la velocidad de transmisión con el fin de alcanzar mayores distancias.
  - ▶ **Los productos** 802.11 son también compatibles en sentido descendente, lo que significa, por ejemplo, que un móvil que usa solo el estándar WiFi 4 puede interactuar con un moderno Access Point WiFi 6.

Resumen de los estándares IEEE 802.11			
Estándar	Rango de frecuencias	Velocidad máxima del enlace	Año
WiFi 6E (802.11ax)	6 GHz	600-11.000 Mbps	2020
WiFi 6 (802.11ax)	2,4 GHz y 5 GHz	600-9.608 Mbps	2019
WiFi 5 (802.11ac)	5 GHz	433-6.933 Mbps	2014
WiFi 4 (802.11n)	2,4 GHz y 5 GHz	72-600 Mbps	2009

### Diferencias entre estándares WiFi (Kurose, 2017)

- **Los diferentes** estándares WiFi presentan algunas diferencias importantes en la capa física.
- **▶ 1. Banda de frecuencias.** Los dispositivos 802.11 operan en tres distintos rangos de frecuencias libres, no licenciadas:
  - **▶ 2,4 - 2,4835 GHz** (al que se hace referencia como rango de **2,4 GHz**).
  - **▶ 4,91 – 5,925 GHz** (el rango de **5 GHz**).
  - **▶ 5,925 – 7,125 GHz** (el rango de **6 GHz**)
- **✉ El rango de 2.4 GHz** es una banda de frecuencia en la que los dispositivos móviles 802.11 pueden competir por el espectro de frecuencias con los hornos microondas y teléfonos a 2,4 GHz.
- **✉ En el rango de 5 y 6 GHz**, las redes LAN 802.11 proporcionan una distancia de transmisión más corto para un determinado nivel de potencia y se ven más afectadas por la propagación multitrayecto.

Estándar	Rango de frecuencias	Velocidad máxima del enlace	Año
WiFi 6E (802.11ax)	6 GHz	600-11.000 Mbps	2020
WiFi 6 (802.11ax)	2,4 GHz y 5 GHz	600-9.608 Mbps	2019
WiFi 5 (802.11ac)	5 GHz	433-6.933 Mbps	2014
WiFi 4 (802.11n)	2,4 GHz y 5 GHz	72-600 Mbps	2009



Banda de 900 MHz	902-928 MHz
Banda de 2.4 GHz	2400 - 2483.5 MHz
Banda de 5 GHz	4910 - 5925 MHz
Banda de 6 GHz	5925 - 7125 MHz
Banda de 60 GHz	57 - 64 GHz

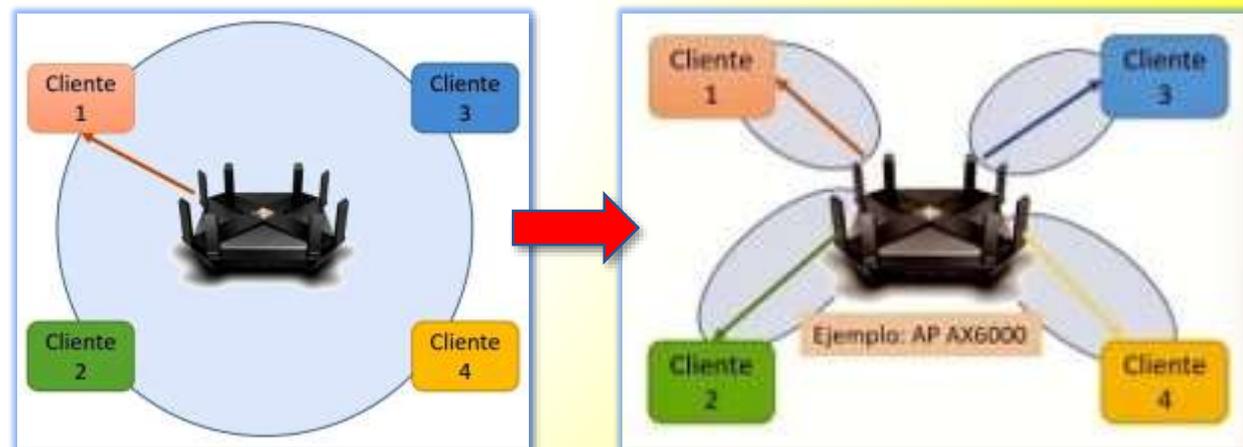
Es usual que se impongan restricciones de potencia o de PIRE

### Diferencias entre estándares WiFi (cont.)

(Kurose, 2017)

- ▶ **2. Antenas inteligentes.** Los estándares más recientes utilizan antenas MIMO; es decir dos o más antenas tanto en el lado emisor como en el lado receptor que transmiten y reciben distintas señales.
  - ✉ Los **Access Point**, a partir de WiFi 5, pueden transmitir simultáneamente a varios dispositivos móviles y usan **antenas inteligentes** para conformar adaptativamente el haz, con el fin de dirigir las transmisiones hacia un determinado receptor.
  - ✉ El **haz adaptativo** hace que disminuya la interferencia y aumente la distancia alcanzada a una velocidad de datos dada.
- ▶ **3. Las velocidades de datos** mostradas en la tabla son para un entorno ideal, por ejemplo, un receptor colocado a un metro del Access Point, sin ninguna interferencia – un escenario muy improbable en la práctica, como dice el refrán: una cosa es la teoría y la otra la práctica (o en este caso, la velocidad del enlace inalámbrico).

Resumen de los estándares IEEE 802.11			
Estándar	Rango de frecuencias	Velocidad máxima del enlace	Año
WiFi 6E (802.11ax)	6 GHz	600-11.000 Mbps	2020
WiFi 6 (802.11ax)	2,4 GHz y 5 GHz	600-9.608 Mbps	2019
WiFi 5 (802.11ac)	5 GHz	433-6.933 Mbps	2014
WiFi 4 (802.11n)	2,4 GHz y 5 GHz	72-600 Mbps	2009



# Diferencias entre estándares WiFi

## REDES WLAN

### Diferentes esquemas de acceso

- ▶ **4. El esquema de acceso.**  
En WiFi 6 la sobrecarga se comparte entre todos los usuarios, por lo que el uso de recursos es más eficiente.



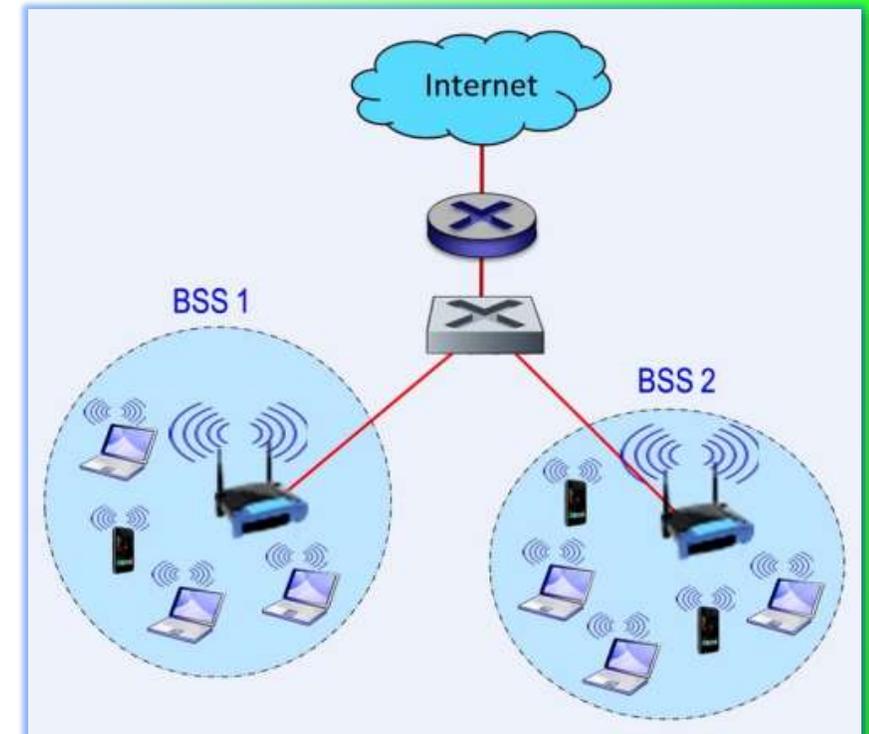
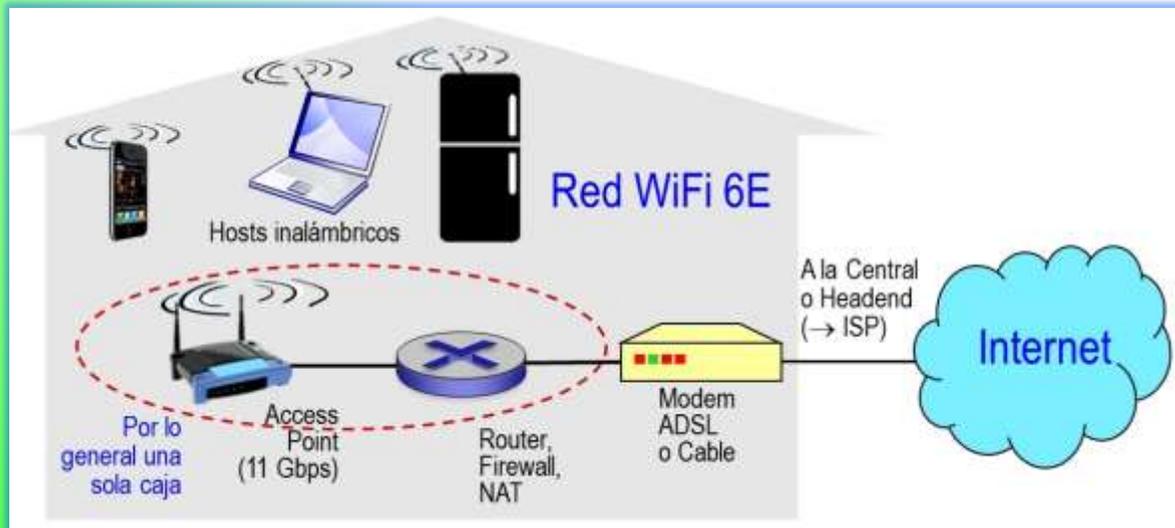
# 3. LA ARQUITECTURA 802.11

## REDES WLAN

### Escenario de una red WLAN

(Kurose, 2017)

- **La figura** ilustra los principales componentes de la arquitectura de una red WLAN. El componente fundamental de la arquitectura es el **conjunto de servicios básicos (BSS)**, el cual contiene uno o más hosts inalámbricos y una estación base central, conocida con el nombre de **Access Point (AP)**.
- **La figura** muestra el AP en cada uno de los dos BSS. Los AP se interconectan a un dispositivo de interconexión (como un switch o un router) que a su vez lleva hacia Internet.
- **En una red doméstica** típica existirá un **AP** y un router (normalmente integrado en una misma unidad), que conectarán el BSS con internet.



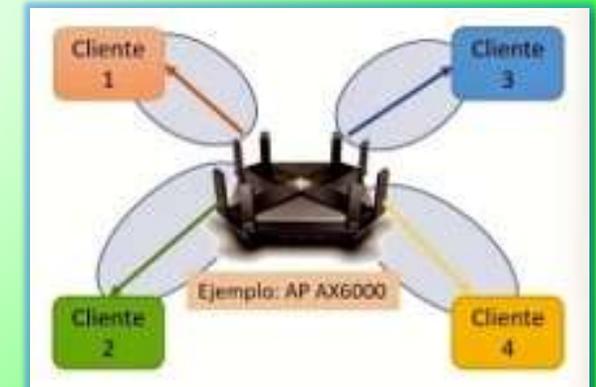
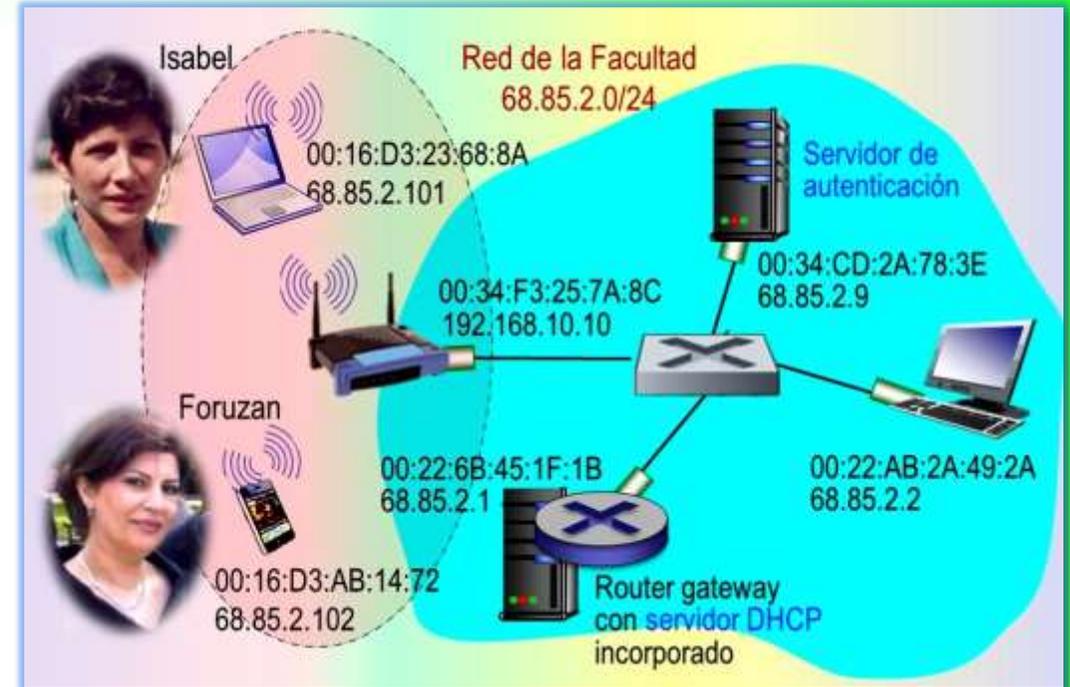
# La arquitectura 802.11

## REDES WLAN

### El Access Point (AP)

(Kurose, 2017)

- **El Access Point (AP)** es un dispositivo de red que se utiliza para conectar dispositivos de la red inalámbrica WLAN a una red cableada LAN.
- **El AP** se conecta a un router, switch, o hub por un cable Ethernet; y proyecta una señal Wi-Fi en ciertas áreas designadas.
- **El AP** funciona emitiendo señales que los dispositivos inalámbricos pueden detectar y utilizar para conectarse a la LAN y accedan a Internet y otros recursos en la red. Es responsable de retransmitir los datos entre los dispositivos inalámbricos y la LAN, y viceversa.
- **Un único AP** puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de al menos treinta metros y hasta varios cientos de metros.
- **El AP** tiene asignada una dirección IP, la cual solo se utiliza para acceder a su configuración. La dirección IP no interviene en la tarea de gestionar el tráfico de los clientes inalámbricos. Un AP es un OSI Capa 2 puente y sólo inspecciona las direcciones MAC cuando reenvía tramas.



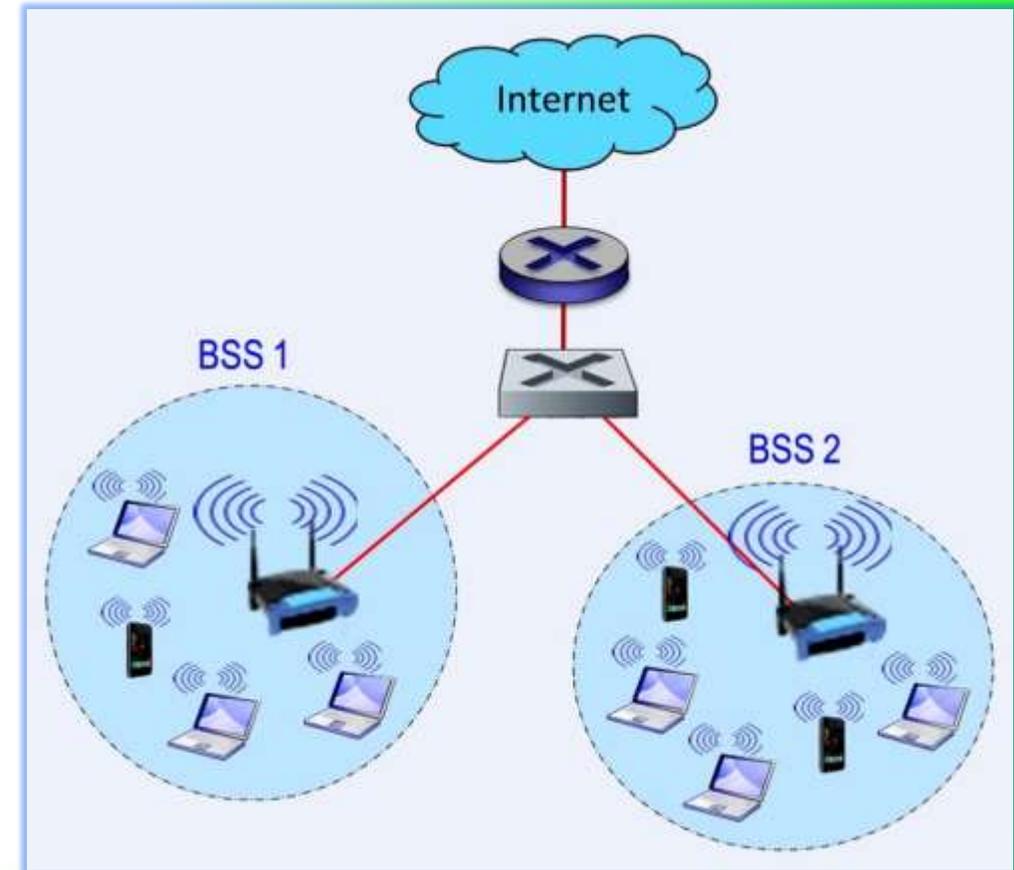
# La arquitectura 802.11

## REDES WLAN

### Red inalámbrica de infraestructura

(Kurose, 2017)

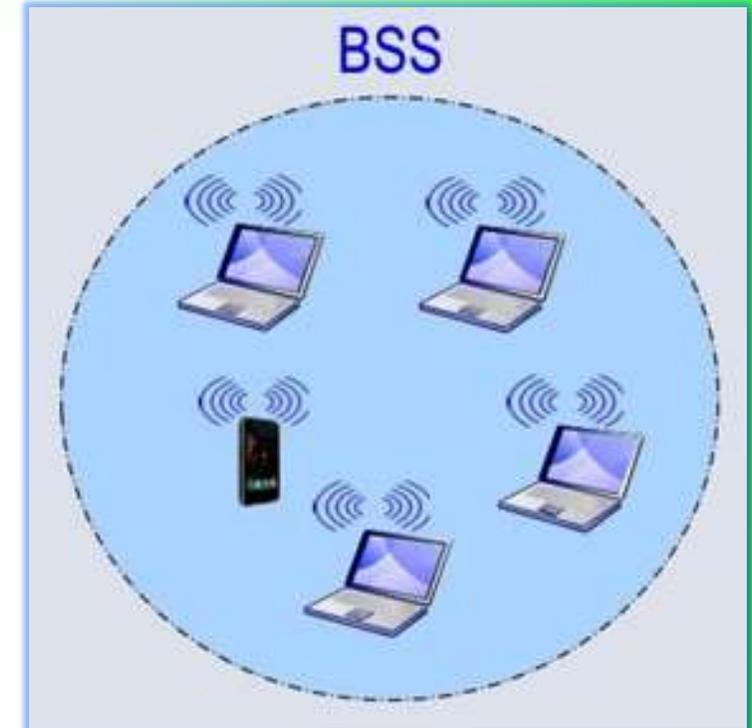
- **Al igual que sucede** con los dispositivos Ethernet, cada host inalámbrico tiene una dirección MAC de 6 bytes que está almacenada en el firmware de la tarjeta NIC 802.11. Cada **AP** tiene también una dirección MAC para su interfaz inalámbrica.
- **Al igual que sucede** con Ethernet, estas direcciones MAC son administradas por el IEEE y son globalmente únicas.
- **Las redes LAN** inalámbricas que incorporan **AP** suelen denominarse **redes LAN inalámbricas de infraestructura**, siendo la **infraestructura** los AP junto con la infraestructura de Ethernet cableada que interconecta los AP y un router.



### Escenario de una red inalámbrica ad hoc

(Kurose, 2017)

- **La figura muestra** que los hosts IEEE 802.11 también se pueden agrupar para formar una **red ad hoc**: una red sin ningún control central y que no tiene conexiones con el mundo exterior.
- **En este caso**, la red es formada “sobre la marcha” por una serie de hosts móviles que se han encontrado y están próximos entre sí, que tienen una necesidad de comunicarse y que no encuentran ninguna infraestructura de red preexistente en la ubicación en la que están.
- **Una red ad hoc** podría formarse cuando una serie de personas con PC portátiles se juntan, por ejemplo, en una sala de conferencias, en un tren o en un vehículo, y quieren intercambiar datos en ausencia de un **AP** centralizado.
- **Se ha generado** un enorme interés en las redes ad hoc, ya que los dispositivos portátiles capaces de comunicarse entre sí continúan proliferando.
- **El análisis** que se hará, se centrará en las redes LAN inalámbricas de infraestructura.



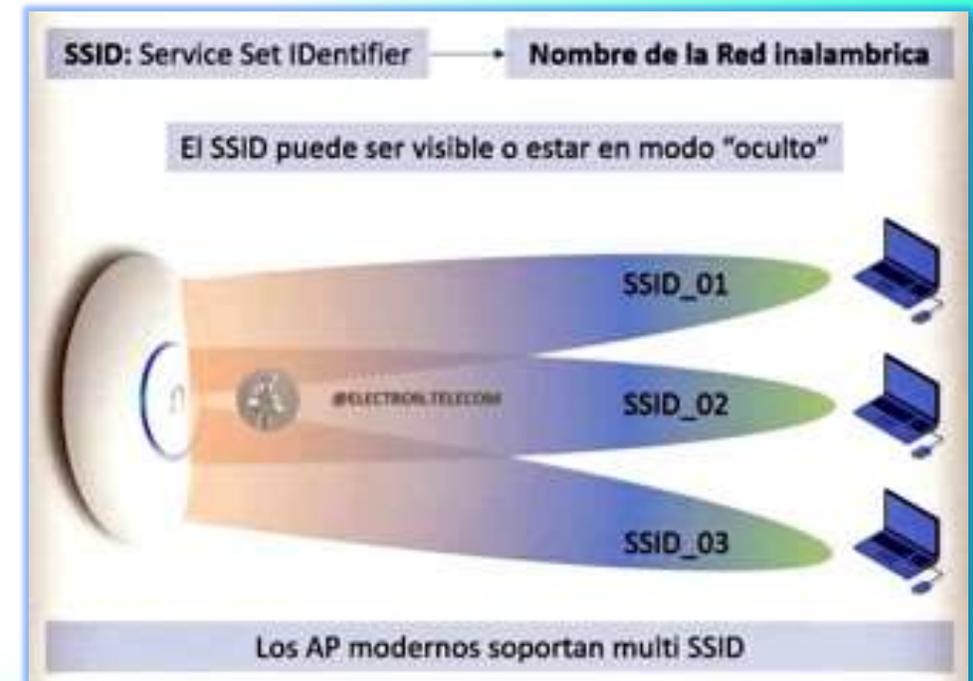
# 4. CANALES WiFi

## REDES WLAN

### Identificador de conjunto de servicios

(Kurose, 2017)

- **En la arquitectura 802.11** cada host inalámbrico necesita asociarse con un **AP** antes de poder enviar o recibir datos de la capa de red. Todos los estándares 802.11 utilizan el mecanismo de asociación, se analizará el tema específicamente en el contexto de WiFi 4 en el rango de frecuencias de 2,4 GHz.
- **►1. Cuando un administrador** de red instala un AP, asigna un **Identificador de conjunto de servicio (SSID)** de una o dos palabras a ese AP.
  - **✉ Por ejemplo**, cuando se selecciona WiFi en la configuración de un smartphone, aparece una lista que muestra el identificador SSID de cada AP que este dentro del alcance.
- **►2. El administrador** debe también asignar un número de canal a ese AP. Para comprender los números de canal, recuerde que WiFi 4 opera en el rango de frecuencias de 2,4 GHz a 2,4835 GHz.

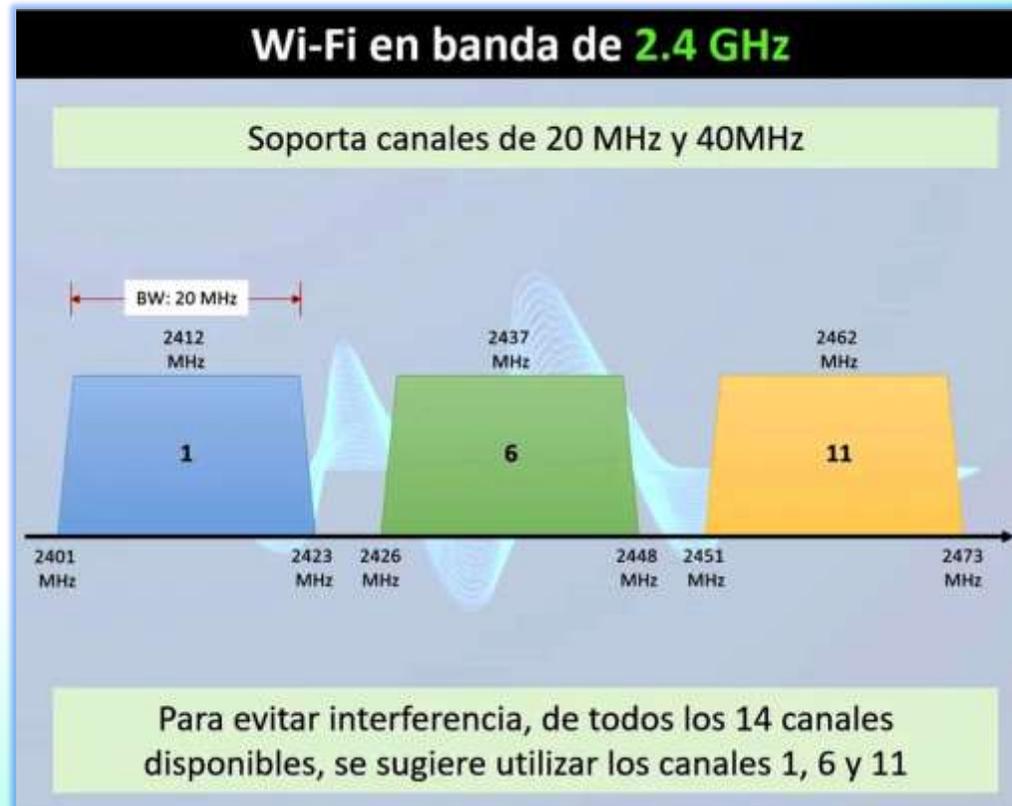
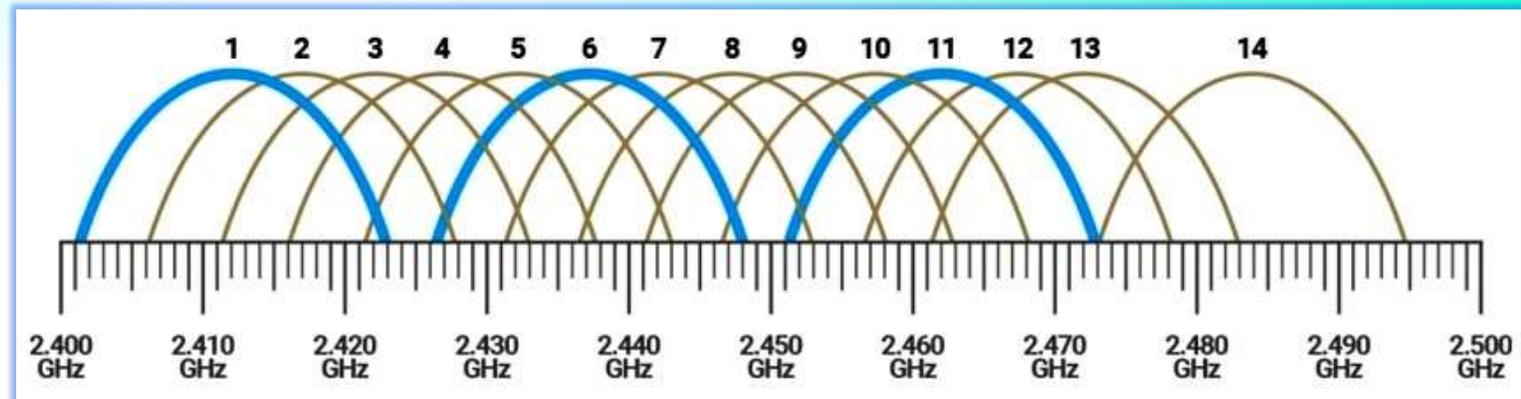


# Canales WiFi

## REDES WLAN

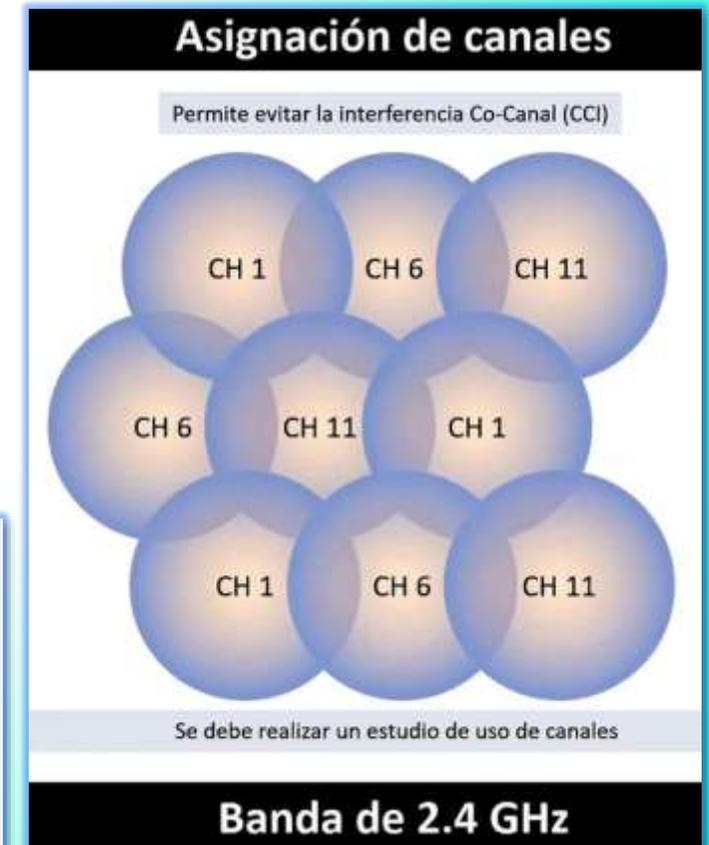
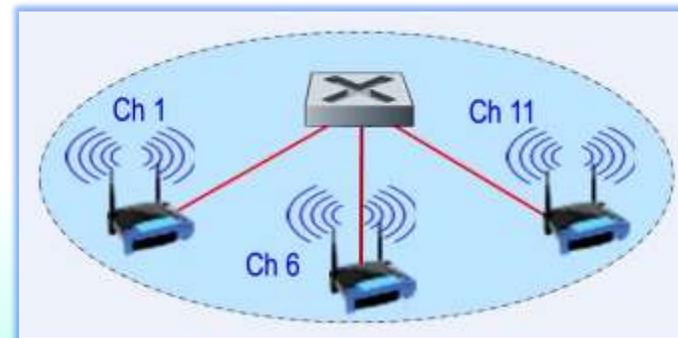
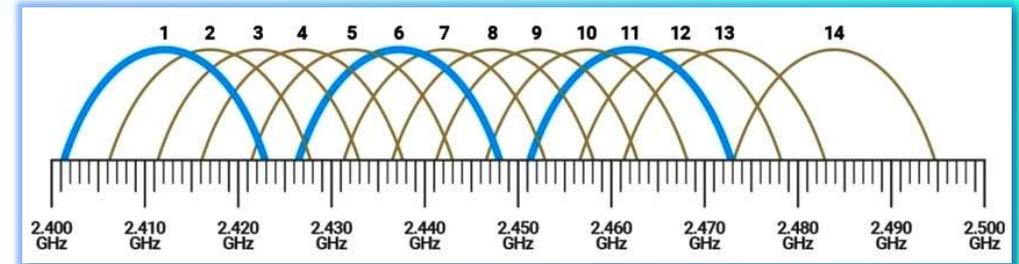
### Canales WiFi en la banda de 2,4 GHz

- **WiFi 4 opera** en el rango de frecuencias de 2,4 GHz a 2,4835 GHz.
- **Dentro de esta banda** de 85MHz, el estándar define, según la región, 11, 13 o 14 canales parcialmente solapados de 20 MHz cada uno. Las frecuencias centrales de los canales están separadas por 5 MHz.
- **Dados dos canales** cualesquiera, se dice que no se solapan si y solo si están separados por cuatro o más canales.



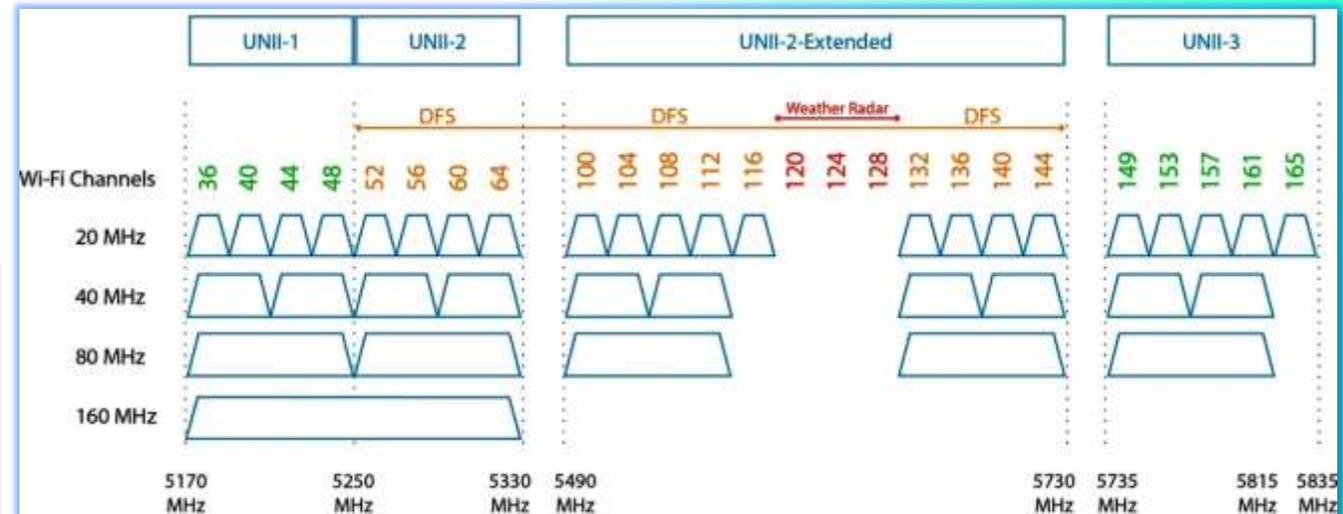
### Canales WiFi en la banda de 2,4 GHz (cont.)

- **En particular**, el conjunto de canales 1, 6 y 11 es el único conjunto de tres canales no solapados.
- ☒ **Esto quiere decir** que un administrador podría crear una red LAN inalámbrica con una velocidad máxima de transmisión agregada instalando tres AP en la misma ubicación física, asignando los canales 1, 6 y 11 a los AP e interconectándolos todos mediante un switch.
- **Las restricciones** sobre el número de canales independientes crearán interferencias de AP a AP y, por lo tanto, degradarán los requisitos de uso y cobertura.
- **En la banda de 2,4 GHz**, solo se deben usar tamaños de canal de 20 MHz, y los canales se deben implementar en los AP con un esquema estático alterno 1, 6, 11, tanto horizontal como verticalmente.



### Canales WiFi en la banda de 5 GHz

- La **banda de 5 GHz** es mucho más grande (más de **555 MHz**, semi contigua) por lo que la selección de canales independientes y el uso de anchos de banda más grandes a través de la unión de los canales vecinos es mucho más simple.
- WiFi 5** (802.11ac) permite el uso de canales de hasta **80** o **160 MHz**, en contrapartida con WiFi 4 que solo permite el uso de canales de 20 y de 40 MHz.



### La jungla WiFi

(Kurose, 2017)

- **Hay una situación** interesante (y que no resulta tan rara): la **jungla WiFi**, que es cualquier ubicación física en la que un host inalámbrico recibe una señal suficientemente intensa desde dos o más AP.
  - **Por ejemplo**, en muchas cafeterías de la ciudad, un host puede captar la señal de numerosos AP cercanos. Uno de los cuales puede ser gestionado por la propia cafetería, mientras que los otros pueden encontrarse en viviendas situadas cerca de la misma.
  - **Cada uno** de estos AP estará, probablemente, ubicado en una subred IP diferente y se le habrá asignado un canal de manera independiente.
- **Suponga que entra** con un smartphone, una tablet o una PC portátil a una cafetería donde hay una **jungla WiFi** para poder acceder a Internet de manera inalámbrica, y que en esta jungla existen cinco AP. Pero para obtener acceso a internet, los hosts necesitan unirse a una de las subredes y, por tanto, necesitará **asociarse** con uno de los AP.
  - **Asociarse** quiere decir que el host creará un **cable virtual** entre él mismo y el AP. Específicamente, solo el AP asociado enviará tramas de datos al host y este enviará tramas de datos hacia Internet solamente a través del AP asociado.
- **Pero**, ¿cómo se asocia un host inalámbrico con un AP concreto? Y todavía más importante: ¿cómo sabe un dispositivo inalámbrico qué AP hay en esa jungla, si es que hay alguno?



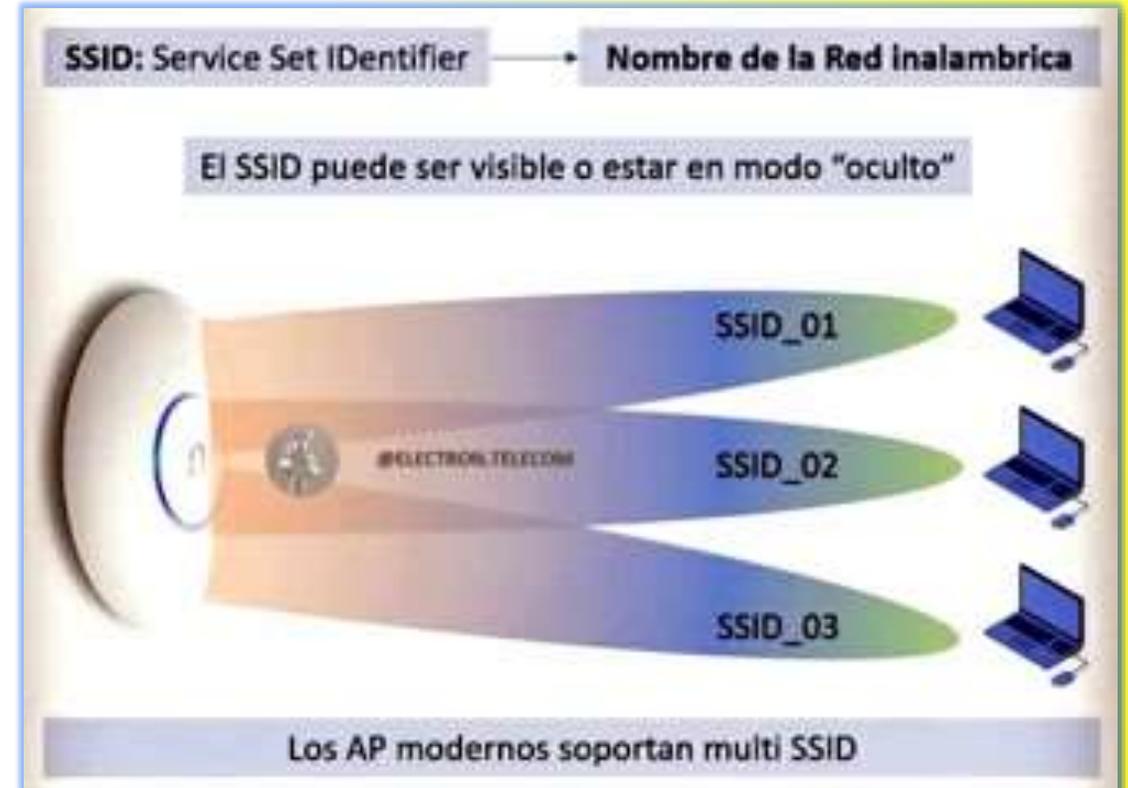
# 5. EXPLORACIÓN PASIVA Y ACTIVA DE LOS AP

## REDES WLAN

### Selección del AP disponible

(Kurose, 2017)

- **El estándar 802.11** requiere que un AP envíe de forma periódica tramas baliza, cada una de las cuales incluye la dirección MAC y el identificador SSID del AP.
- **El host inalámbrico**, que sabe que los AP están enviando tramas baliza, explora los 11, 13 o 14 canales (en el caso de WiFi 4 en el rango de frecuencias de 2,4 GHz) buscando las tramas balizas de cualquier AP que pueda haber en las proximidades, algunos de los cuales pueden estar transmitiendo a través del mismo canal, ya que están en la jungla.
- **Habiendo determinado** qué AP hay disponibles a partir de las tramas baliza, el host inalámbrico selecciona uno de ellos para llevar a cabo la asociación.
- **El estándar no especifica** un algoritmo para seleccionar con cuál de los AP disponibles asociarse, dicho algoritmo se deja a criterio de los diseñadores del software y el firmware del host inalámbrico.
- **Normalmente**, el host elige el AP cuya trama baliza se recibe con la máxima intensidad de señal.



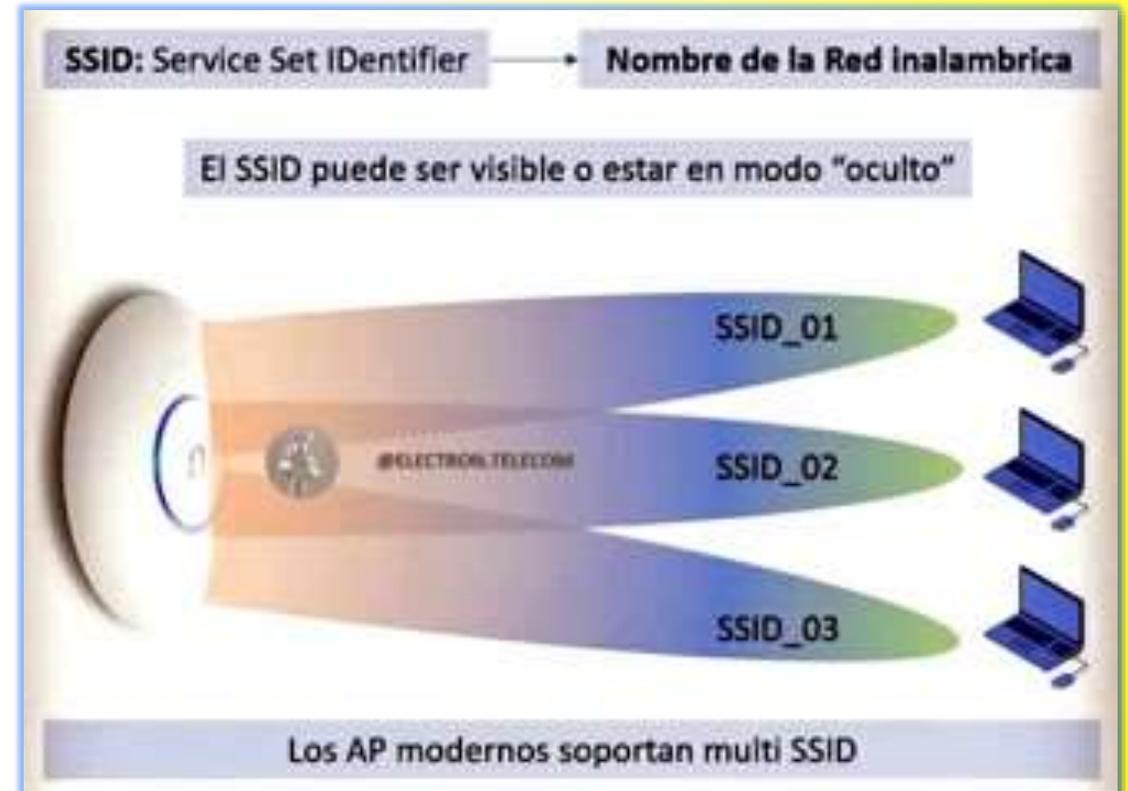
# Exploración pasiva y activa de los AP

## REDES WLAN

### Selección del AP disponible (cont.)

(Kurose, 2017)

- **Aunque una alta** intensidad de señal resulta conveniente para seleccionar al AP, no es la única característica de los AP que influirá en el rendimiento que un dispositivo perciba.
  - ☒ La potencia recibida está en el orden de los pW, es decir la trillonésima parte de un Watt. Como referencia, la potencia de un horno microondas es de 660 a 1.200 W.
- **En particular**, es posible que el AP seleccionado pueda tener una gran intensidad de señal, pero puede estar sobrecargado por otra serie de hosts asociados que necesitarán compartir el ancho de banda inalámbrico disponible en dicho AP.
- **Por esto**, recientemente se han propuesto diversas formas de elección de los AP.
- **Por otro lado**, se puede dejar sin seleccionar un AP bastante descargado, debido a que la intensidad de la señal es ligeramente menor.



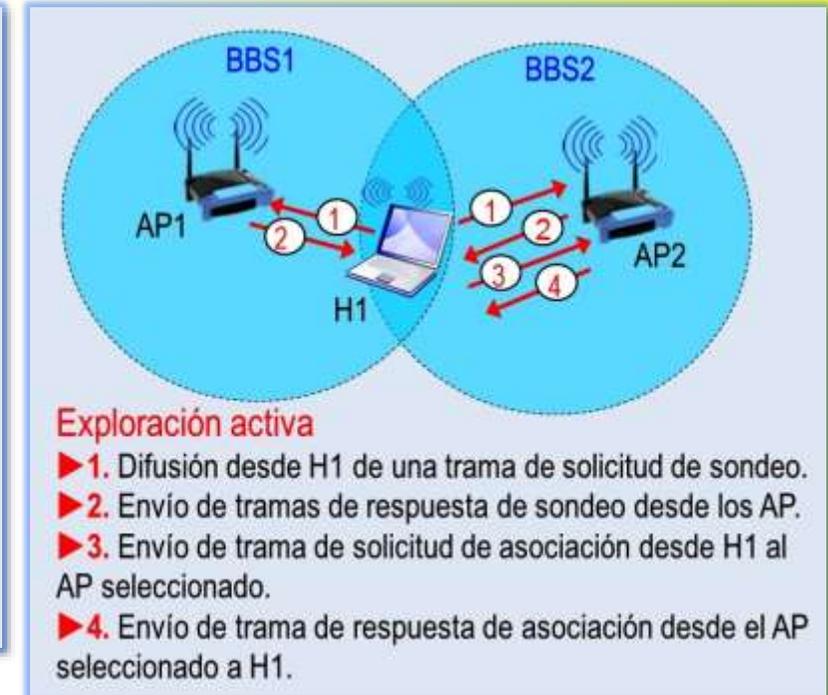
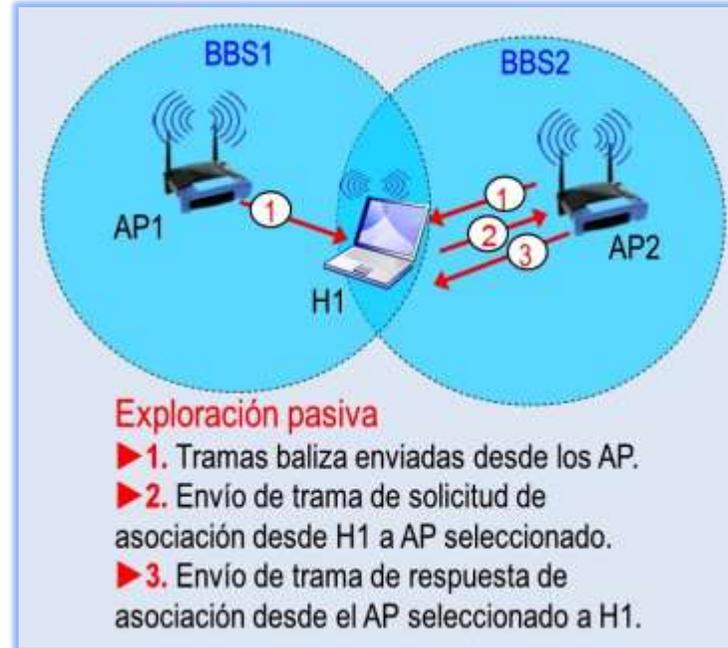
# Exploración pasiva y activa de los AP

## REDES WLAN

### Proceso de exploración pasiva y activa de los AP

(Kurose, 2017)

- ▶ **Exploración pasiva.** El proceso de exploración de los canales y de escucha de las tramas baliza (▶1.) se conoce con el nombre de exploración pasiva.
- ▶ **Exploración activa.** Un host inalámbrico también puede realizar una exploración activa, difundiendo una trama de sondeo (▶1.) que será recibida por todos los AP que caigan dentro de su alcance.
  - ✉ Los AP responden a la trama de la solicitud de sondeo con una trama de respuestas de sondeo (▶2.).
  - ✉ El host puede entonces elegir el AP con el que asociarse de entre todos aquellos que hayan respondido.
- ▶ **Después de seleccionar** el AP con el que asociarse (en ambos tipos de sondeo), el host envía una trama de solicitud de asociación a ese AP, (▶2.) y (▶3.), el cual responde con una trama de respuestas de asociación, (▶3.) y (▶4.) .



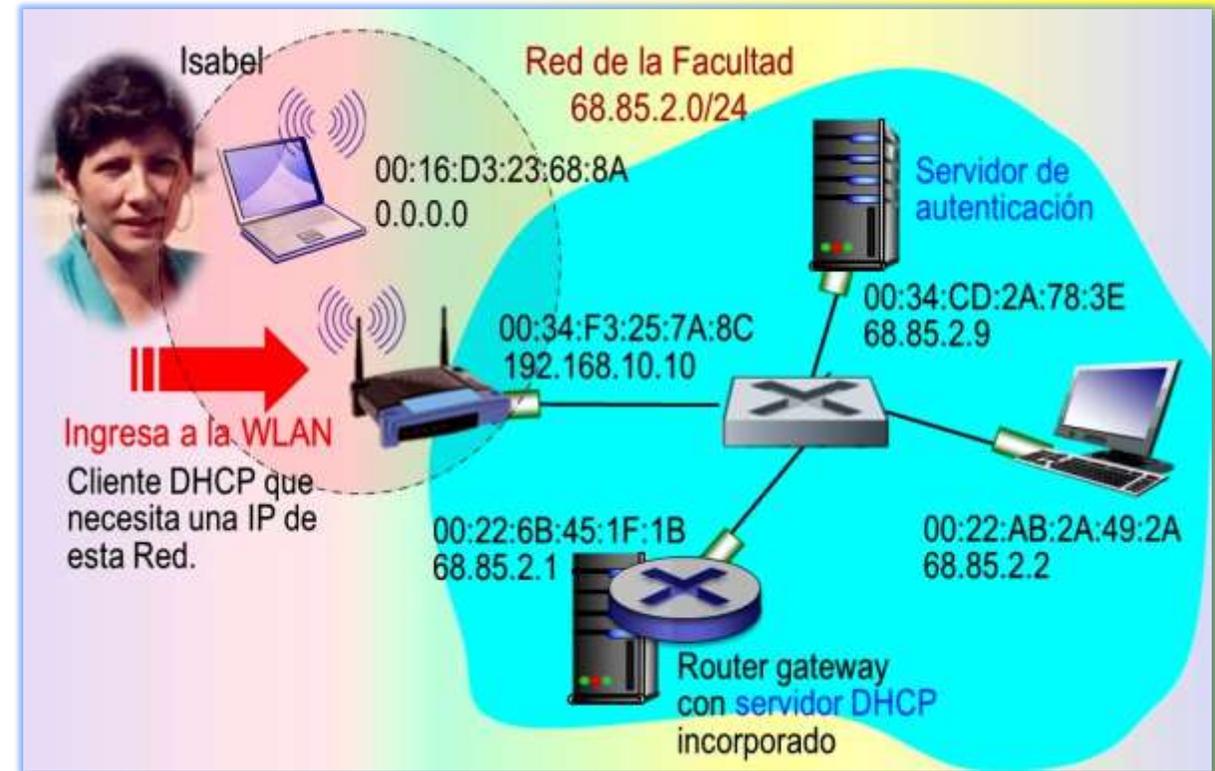
# Exploración pasiva y activa de los AP

## REDES WLAN

### Asociación con AP y búsqueda de DHCP

(Kurose, 2017)

- **Observe que** estos acuerdos de solicitud/respuesta en la exploración activa, un AP que responde a la trama inicial de solicitud de sondeo no sabe cuál de los AP que hayan respondido va a seleccionar el host para asociarse.
- **Una vez asociado** con un AP, el host se unirá a la subred IP a la que pertenece el AP.
- **Normalmente**, el host enviará un mensaje de solicitud DHCP hacia la subred a través del AP para obtener una dirección IP de esa subred.
- **Una vez obtenida** la dirección IP, el resto del mundo verá entonces a dicho dispositivo simplemente como otro host cualquiera con una dirección IP perteneciente a dicha subred.



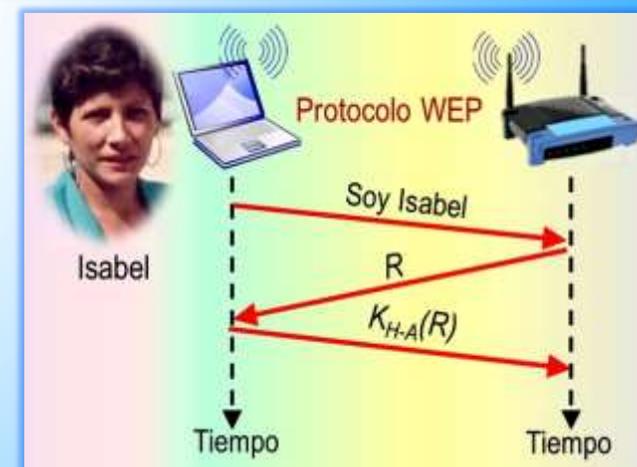
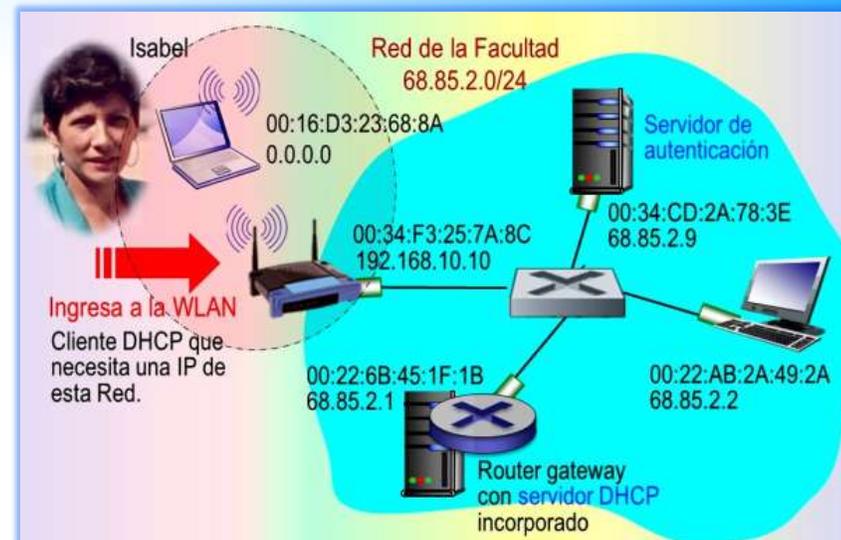
# 6.- AUTENTICACIÓN DEL PUNTO TERMINAL

## REDES WLAN

### El protocolo WEP básico

(Kurose, 2017)

- **Para crear** una asociación con un AP concreto, puede que el host tenga que autenticarse ante el AP. Las redes WLAN proporcionan diversas técnicas para la autenticación y el acceso.
  - **▶1. Una de ellas**, utilizada por muchas compañías, permite el acceso a una WLAN basándose en la **dirección MAC** del host.
  - **▶2. Otra**, utilizada en muchos cafés Internet, utiliza nombres de usuarios y contraseñas.
- **Un protocolo de autenticación** básico es el **WEP** (privacidad equivalente a la del cable), que proporciona autenticación y cifrado de datos entre un host y un AP utilizando una técnica basada en una clave simétrica compartida.
- **WEP no especifica** ningún algoritmo de gestión de claves, por lo que se presupone que el host y el AP han acordado de alguna manera qué clave utilizarán  $K_{H-A}$  empleando para ello algún método fuera de banda.
- **El protocolo** utiliza el valor distintivo,  $R$ , y comprueba el valor devuelto,  $K_{H-A}(R)$ , el AP se asegura de que Isabel es quien dice ser (ya que conoce el valor de la clave secreta para cifrar  $R$ ) y está comunicándose en vivo (ya que ha cifrado el número distintivo,  $R$ , que el AP acaba de generar).



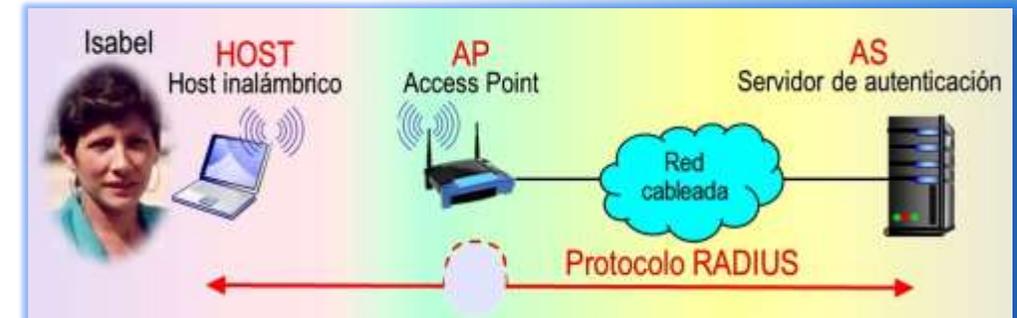
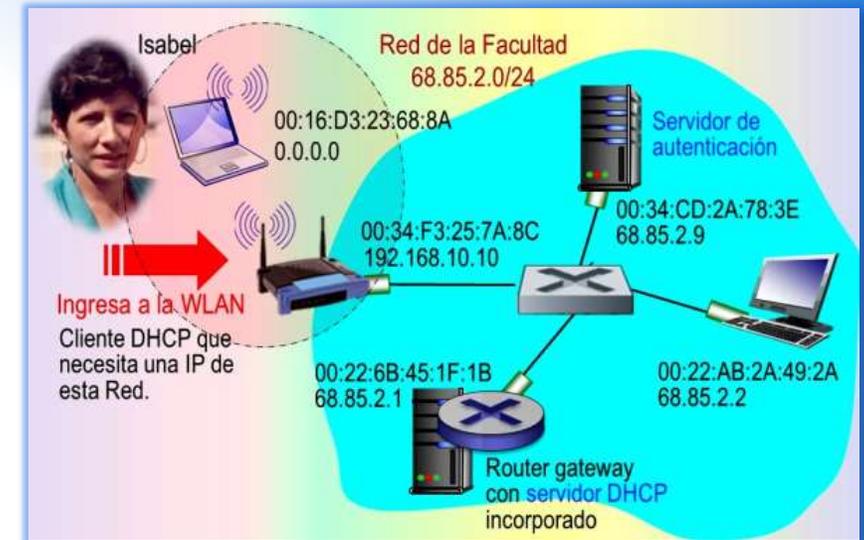
# Autenticación del punto terminal

## REDES WLAN

### El protocolo 802.11i

(Kurose, 2017)

- **El protocolo 802.11i** define, además del AP y del host, un servidor de autenticación con el que el AP puede comunicarse utilizando un protocolo como **RADIUS** o **DIAMETER**.
- **Separar el servidor** de autenticación del AP permite que un único servidor proporcione servicio a muchos AP distintos, centralizando decisiones relativas a la autenticación y al acceso en ese único servidor y manteniendo los costos y la complejidad de los AP relativamente bajos.
- **Una vez asociado** un host con un AP, y autenticado, el host puede comenzar a enviar y recibir tramas hacia y desde el AP.
- **Por otro lado**, dado que múltiples hosts o el propio AP, pueden desear transmitir tramas al mismo tiempo a través del mismo canal, es preciso utilizar un protocolo de acceso múltiple para coordinar esas transmisiones.
- **Los diseñadores** de 802.11 seleccionaron el protocolo de **acceso múltiple con sondeo de portadora (CSMA)** o, más sucintamente, **CSMA con detección de colisiones (CSMA/CD)**, lo que significa que cada estación sondea el canal antes de transmitir y se abstiene de transmitir cuando detecta que el canal está ocupado.



## Referencias bibliográficas

- CISCO (2015). *CCNA Routing and Switching. Introduction to Networks*. CISCO.
- CISCO (2016). *Introducción a las redes*. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Forouzan, B. A. (2020). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Huawei Technologies (2020). *Basics of data communication networks*. Huawei.
- Kurose, J. Keith, R. (2017). *Redes de computadoras: un enfoque descendente*. Madrid: Pearson Education, S.A.

FIN

Tema 8 de:  
COMUNICACIÓN POR RADIO

Edison Coimbra G.