

# 7

# REDES INALÁMBRICAS



## Objetivo

- Analizar la red inalámbrica en la que hay usuarios inalámbricos y móviles conectados a otra infraestructura de mayor tamaño mediante enlaces inalámbricos situados en la frontera de Internet.

Tema 7 de:

COMUNICACIÓN POR RADIO

Edison Coimbra G.

1

Última modificación:  
10 de octubre de 2022

## Manual de clases

# 1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

## REDES INALÁMBRICAS

### Consideraciones generales

- **En el mundo** de la telefonía, los últimos 20 años han sido, sin duda, la edad dorada de la telefonía celular. El número de abonados a los servicios de telefonía celular en todo el mundo ha pasado de 34 millones en 1993 a más de 8.000 millones en 2022. En la actualidad existe un mayor número de abonados de teléfonos móviles que personas en el planeta.
- **Las numerosas ventajas** de los teléfonos celulares son evidentes para todo el mundo: se dispone de acceso a la red de telefonía global en cualquier momento y sin ningún tipo de restricción, utilizando un dispositivo ligero y muy portátil.
- **Pero también** las PC portátiles, los smartphones y las tablets se conectan de forma inalámbrica a Internet a través de una red celular o una red WiFi.
- **Cada vez más** dispositivos como las consolas de juegos, termostatos, sistemas de alarma, electrodomésticos, relojes, gafas, vehículos y sistemas de control de tráfico y otros, se conectan de forma inalámbrica a Internet (vea el IoT, Internet de las cosas).

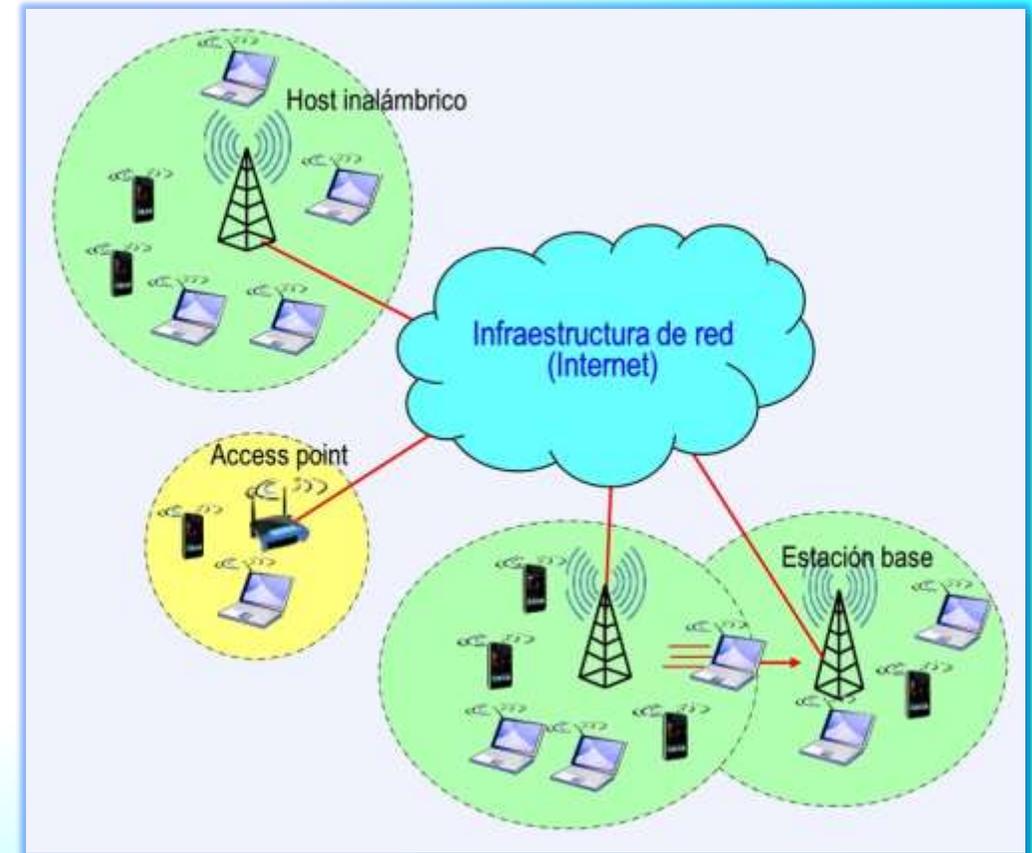


# Introducción a las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

### ¿Cómo enfocar el estudio de las redes inalámbricas?

- **Desde el punto de vista** de las redes de comunicación, los desafíos planteados por los dispositivos inalámbricos y móviles, particularmente en las capas de enlace y de red, son tan diferentes de los de las redes de computadoras cableadas tradicionales, que resulta imperativo realizar un estudio metódico de las redes inalámbricas y móviles.
- **►1. Se comienza** ilustrando el entorno que se va a emplear para el análisis de la comunicación inalámbrica y la movilidad: una red en la que hay una serie de **hosts inalámbricos** y posiblemente móviles conectados a otra **infraestructura de red** de mayor tamaño mediante un **enlace inalámbrico** situado en la frontera de la red.
- **►2. Se establece** luego la distinción entre los desafíos planteados por la naturaleza inalámbrica de los enlaces de comunicaciones en dichas redes y por la movilidad que esos enlaces inalámbricos permiten.
- **Al realizar** esta importante distinción entre el carácter inalámbrico y la movilidad se puede aislar, identificar y dominar mucho mejor los conceptos clave de cada una de las áreas.

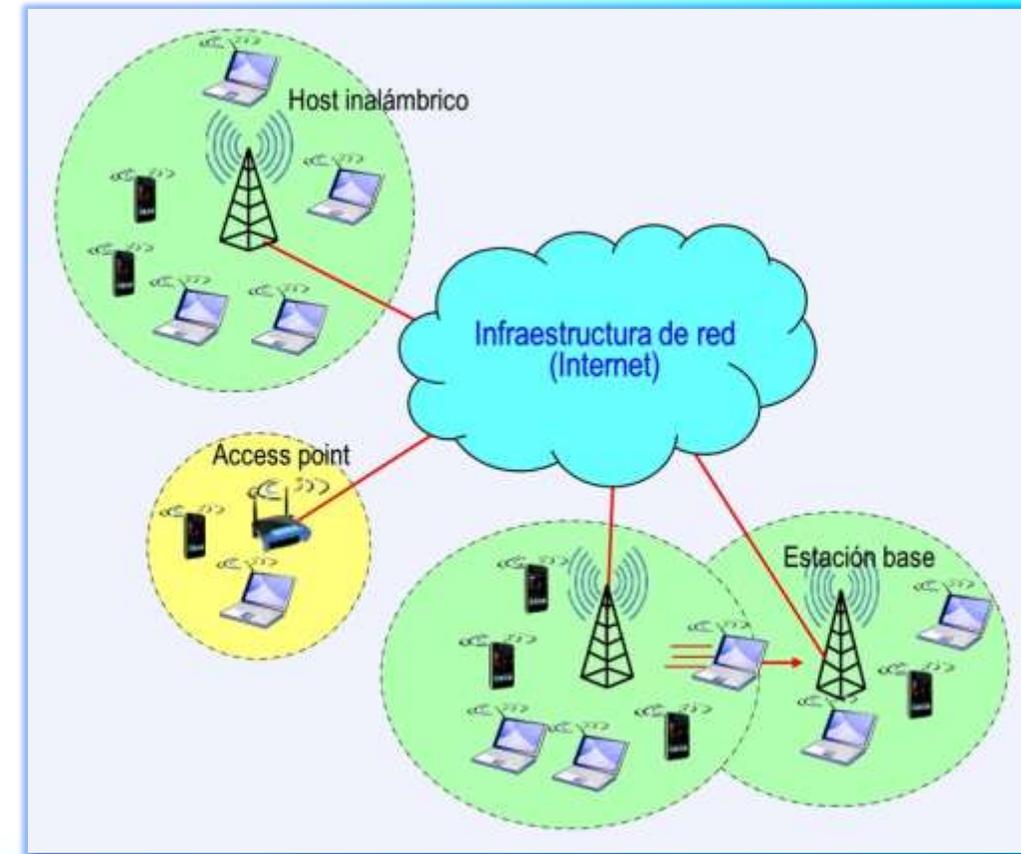


# Introducción a las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

### El caracter inalámbrico y la movilidad

- **Observe** que existen muchos entornos de red en los que los nodos de red son inalámbricos pero no móviles. **Por ejemplo**, redes inalámbricas domésticas o empresariales con estaciones de trabajo estáticas y grandes pantallas de PC.
- **Existen también** formas de movilidad que no requieren de enlaces inalámbricos. **Por ejemplo**, un trabajador que utiliza una PC portátil con conexión por cable en casa, apaga la PC, va hasta la oficina y conecta la PC a la red cableada de la empresa.
- **Por supuesto**, muchos de los entornos de red más atractivos son aquellos en los que los usuarios son a la vez inalámbricos y móviles.
  - **Por ejemplo**, un escenario en el que un usuario móvil, situado en el asiento posterior de un vehículo, mantiene una llamada de voz sobre IP y múltiples conexiones TCP activas, mientras el vehículo circula por la autopista a 160 kilómetros por hora, muy pronto en un vehículo autónomo.
- **Es aquí**, en la intersección del carácter inalámbrico y la movilidad, donde se encuentran los desafíos técnicos más interesantes .



### 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 .



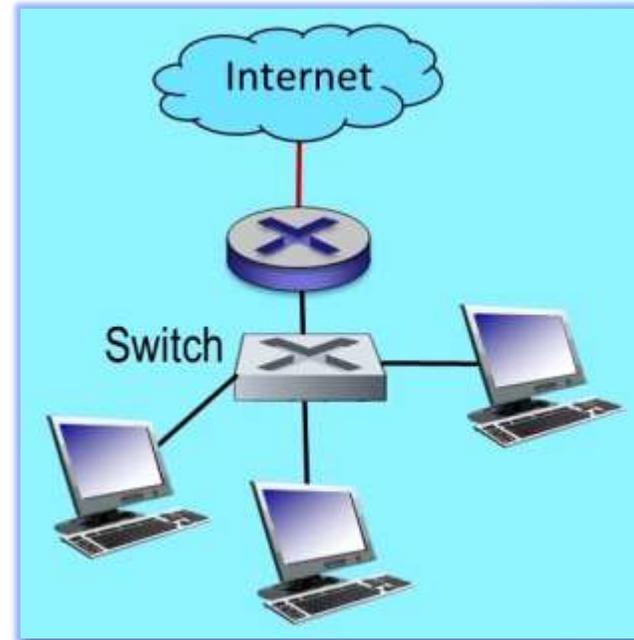
# Introducción a las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

### 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.



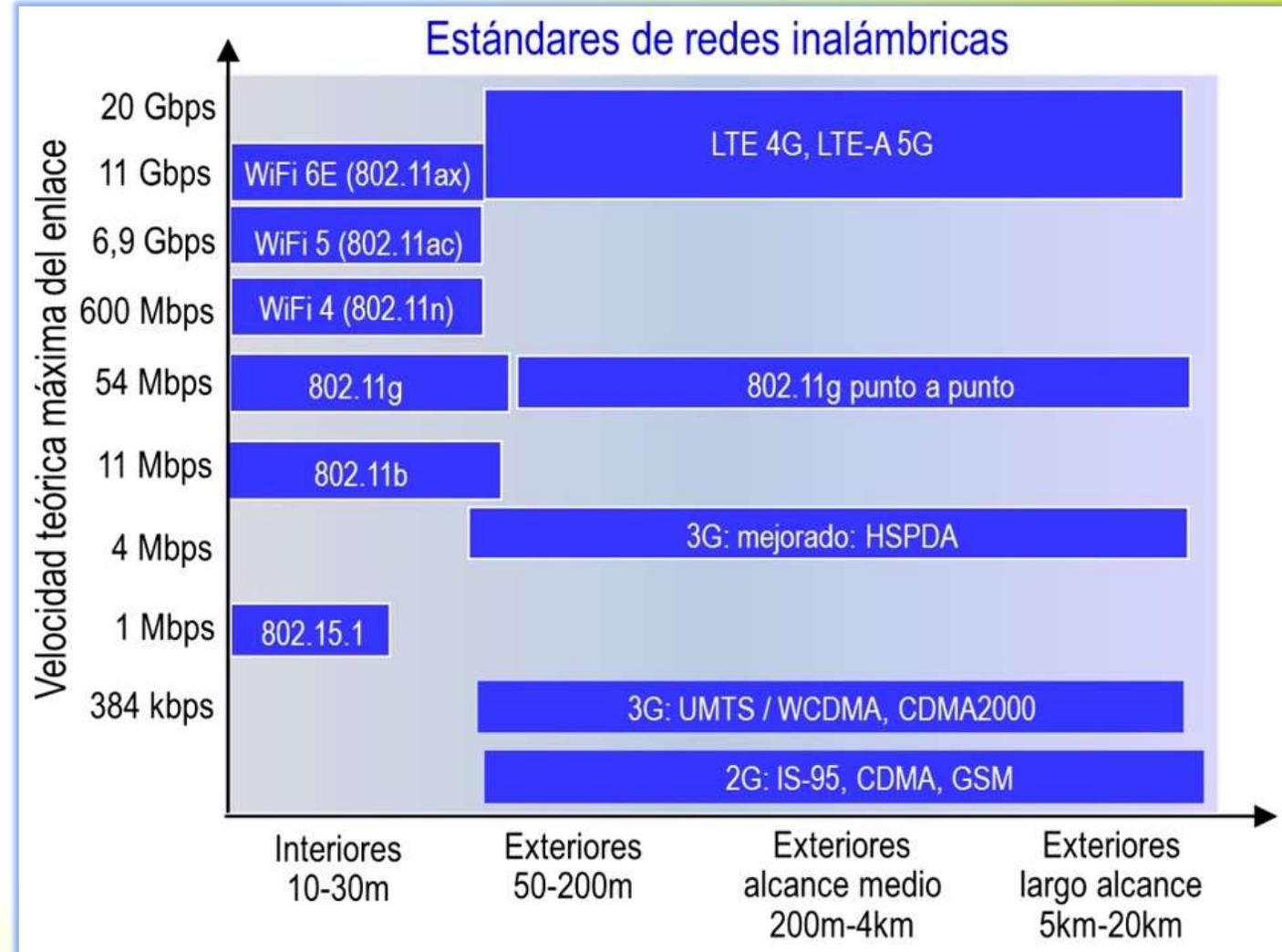
# 2. ESTÁNDARES DE LAS REDES INALÁMBRICAS

## REDES INALÁMBRICAS

### 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.
- **Por ejemplo**, 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)



# Estándares de las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

### 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

# Estándares de las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

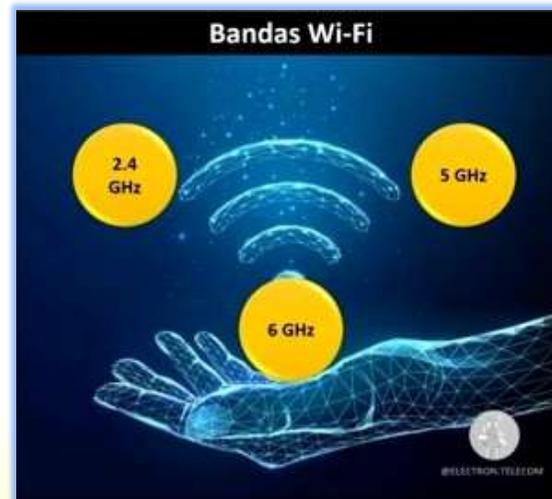
### Diferencias entre estándares WiFi

(Kurose, 2017)

- **Los diferentes** estándares WiFi presentan algunas diferencias importantes en la capa física.
- **►1. 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**)



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



# Estándares de las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

### Diferencias entre estándares WiFi (cont.)

(Kurose, 2017)

- ▶ **2. El rango de 2.4 GHz** es una banda de frecuencia en la que los dispositivos 802.11 pueden competir por el espectro de frecuencias con los hornos microondas y teléfonos a 2,4 GHz.
- ▶ **3. A 5 y a 6 GHz**, las redes LAN 802.11 proporcionan una distancia de transmisión más corta para un determinado nivel de potencia y se ven más afectadas por la propagación multitrayecto.

#### Principales diferencias entre 2.4GHz y 5GHz

2.4 GHz	vs	5 GHz
Pérdida de Propagación:		Es mayor en la banda de 5GHz.
Alcance (en km):		Se tiene más alcance en la banda de 2.4 GHz.
Anchos de Banda:		Se tiene más Ancho de Banda (en MHz) en 5GHz.
Velocidad:		Se tiene más Velocidad (en Mbps) en 5GHz.
Saturación:		La Banda de 2.4 GHz se encuentra muy saturada.
Inmunidad a la lluvia:		La Banda de 2.4 GHz es más inmune a la lluvia

#### 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

#### Bandas del Wi-Fi

2.4 GHz	<ul style="list-style-type: none"><li>Menor velocidad</li><li>Mayor distancia</li><li>Alta interferencia</li></ul>
5 GHz	<ul style="list-style-type: none"><li>Mayor velocidad</li><li>Menor distancia</li><li>Baja interferencia</li></ul>

# Estándares de las redes inalámbricas

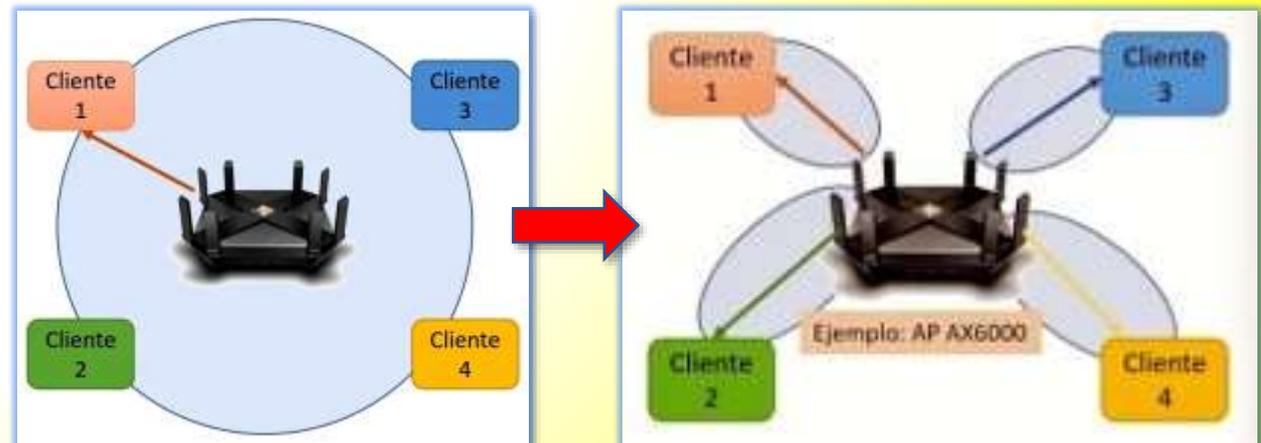
## REDES INALÁMBRICAS

### Diferencias entre estándares WiFi (cont.)

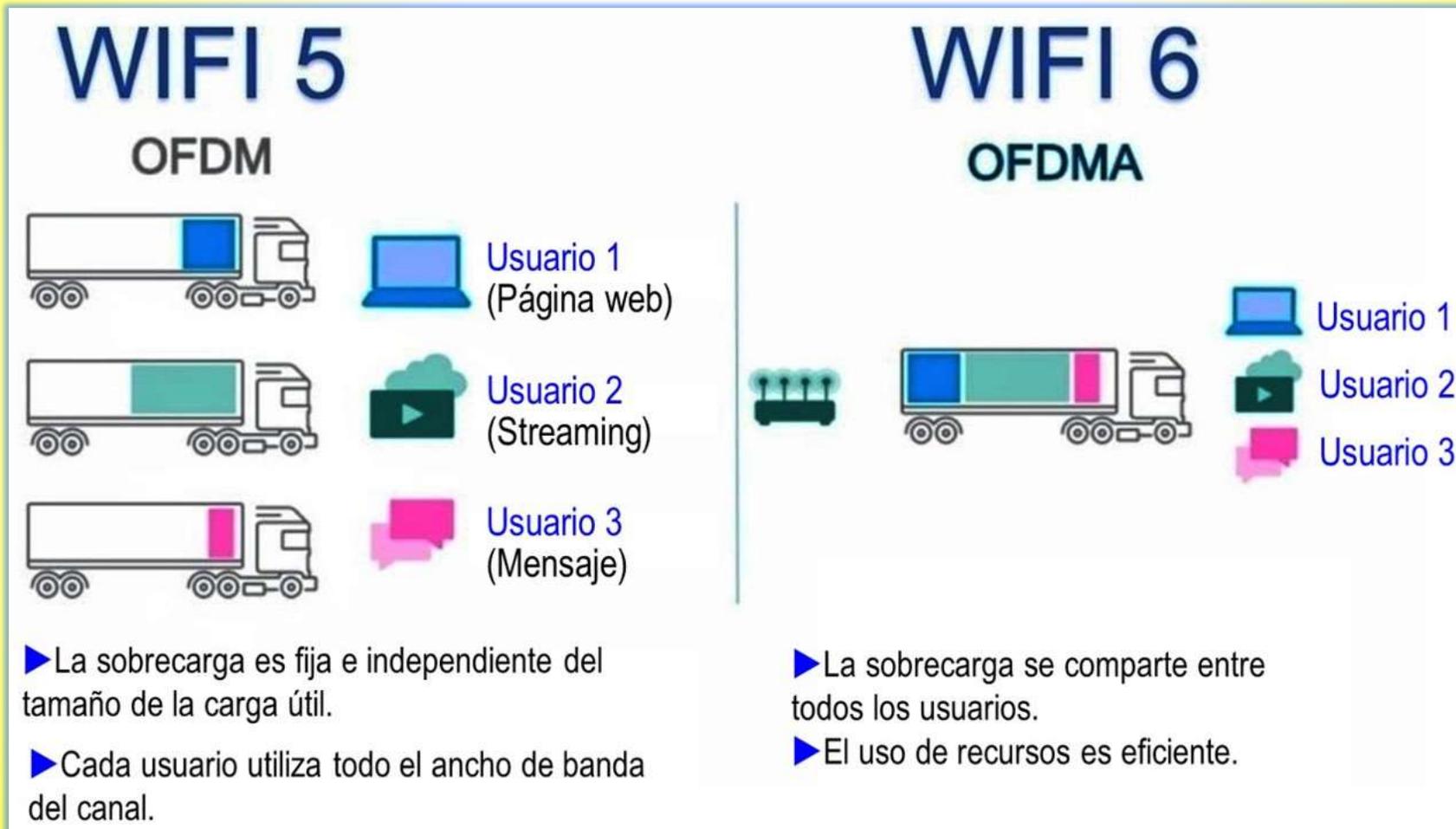
(Kurose, 2017)

- ▶ **4. 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.
- ▶ **5. Las estaciones base**, a partir de WiFi 5, pueden transmitir simultáneamente a varias estaciones y usan antenas “inteligentes” para conformar adaptativamente el haz, con el fin de dirigir las transmisiones hacia un determinado receptor.
- ▶ **6. El haz adaptativo** hace que disminuya la interferencia y aumente la distancia alcanzada a una velocidad de datos dada.
- ▶ **7. Las velocidades de datos** mostradas en la tabla son para un entorno ideal, por ejemplo, un receptor colocado a un metro de la estación base, 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 (cont.)



### Diferencias entre estándares WiFi (cont.)

	Wi-Fi 6	Wi-Fi 6E
Frequency	2.4 GHz and 5 GHz	6 GHz
PHY technology	1024-QAM	1024-QAM
Modulation mode	OFDMA UL/DL MU-MIMO	OFDMA UL/DL MU-MIMO
Number of spatial streams	8	8
Channel bandwidth	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz, 80+80 MHz	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz, 80+80 MHz
BSS coloring	Supported	Supported
TWT	Supported	Supported

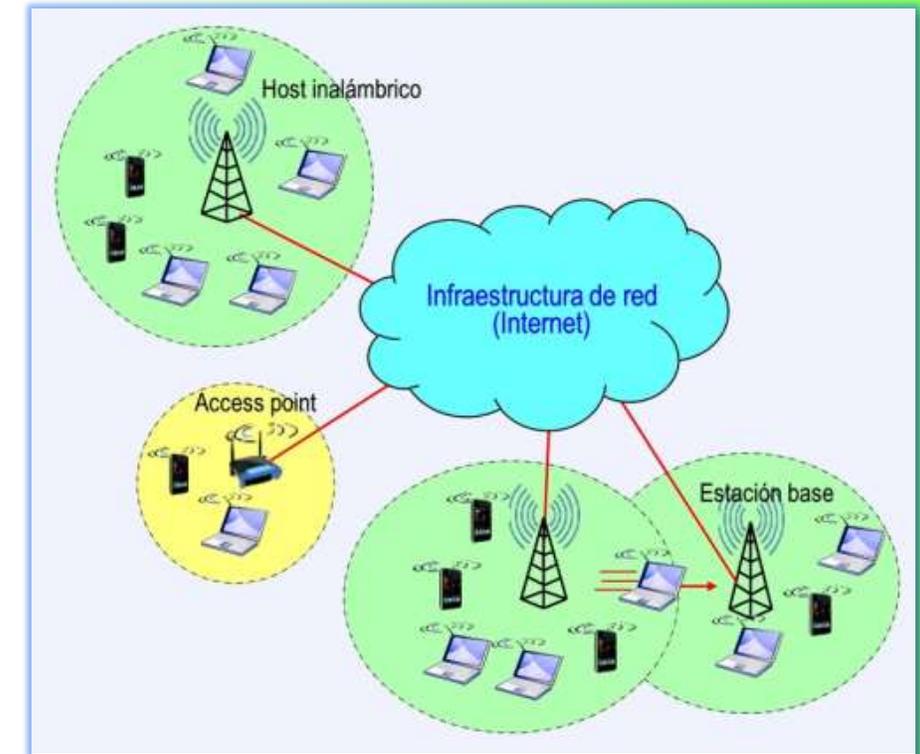
# 3. ELEMENTOS DE UNA RED INALÁMBRICA

## REDES INALÁMBRICAS

### Escenario de una red inalámbrica

(Kurose, 2017)

- **La figura** muestra el escenario con el que se va a analizar, en un nivel lo suficientemente general, tanto la comunicación inalámbrica de datos y la movilidad. En el análisis, se incluyen las **redes LAN inalámbricas** (WiFi) y las **redes celulares** (LTE 4G y LTE-A 5G).
- **Dentro** de una red inalámbrica se pueden identificar los siguientes elementos:
  - **►1. Hosts inalámbricos.** Como en el caso de las redes cableadas, los hosts son los dispositivos que actúan como sistemas terminales y que ejecutan las aplicaciones. Un host inalámbrico puede ser una PC portátil, una tablet, un smartphone o una PC de escritorio. Los hosts en sí pueden ser móviles o no.
  - **►2. Enlaces inalámbricos.** Un host se conecta a una estación base o a otro host inalámbrico a través de un enlace de comunicaciones inalámbrico. En la figura, una serie de enlaces inalámbricos conectan a un conjunto de hosts inalámbricos ubicados en la frontera de la red con la **infraestructura de esa red** de mayor tamaño.
    - **✉ Conviene añadir** que los enlaces inalámbricos también se utilizan en ocasión dentro de una red para conectar entre sí routers, switches y otros equipos de red. Sin embargo, el enfoque en este análisis se centra en el uso de las comunicaciones inalámbricas en la **frontera de la red**, ya que es ahí donde se pueden encontrar los desafíos técnicos más atractivos y donde está experimentando un auténtico crecimiento.



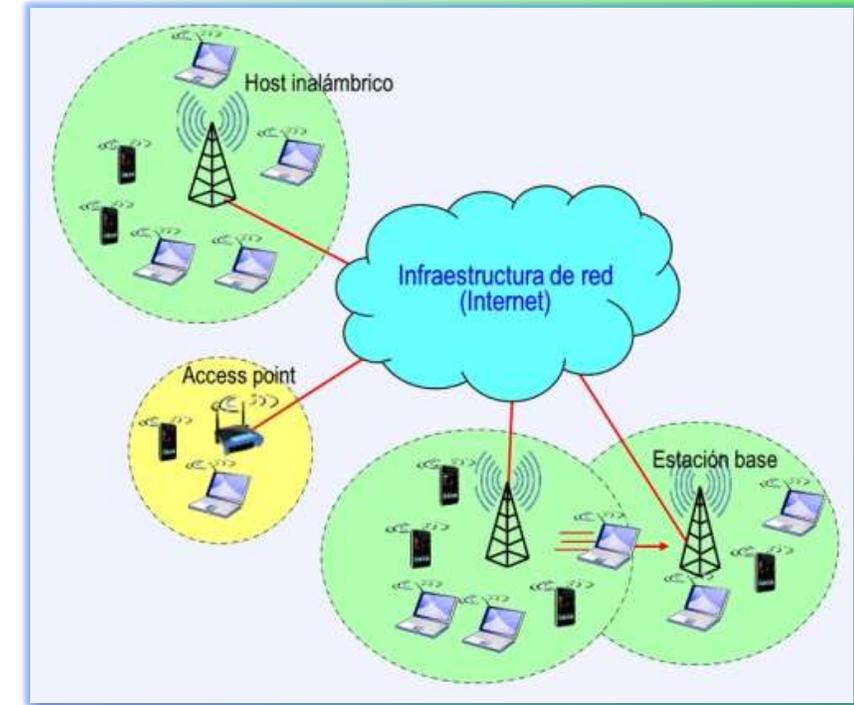
# Elementos de una red inalámbrica

## REDES INALÁMBRICAS

### La estación base de la red inalámbrica

(Kurose, 2017)

- **▶ 3. Estación base** (eNodoB). Es una parte clave de la infraestructura de la red inalámbrica. A diferencia del host inalámbrico y de los enlaces inalámbricos, una estación base (eNodoB, en terminología de LTE) no tiene un equivalente obvio dentro de las redes cableadas.
- **La estación base** es responsable de enviar y recibir datos (es decir, paquetes) hacia y desde un host inalámbrico que esté asociado con esa estación base. La estación base será a menudo responsable de coordinar la transmisión de los múltiples hosts inalámbricos que estén asociados con ella.
- **Cuando** se dice que un host inalámbrico está “asociado” con una estación base, se quiere decir que:
  - (1) El host se encuentra dentro de la distancia de comunicación inalámbrica de la estación base.
  - (2) El host utiliza la estación base para reenviar datos hacia y desde la red de mayor tamaño. Las torres de telefonía en las redes celulares y los puntos de acceso en las redes LAN inalámbricas son ejemplos de estaciones bases.
- **En la figura**, la estación base está conectada a la red de mayor tamaño (por ejemplo a Internet, a una red doméstica o corporativa o a una red telefónica), funcionando así como retransmisor de la capa de enlace entre el host inalámbrico y el resto del mundo con el que el host se comunica.



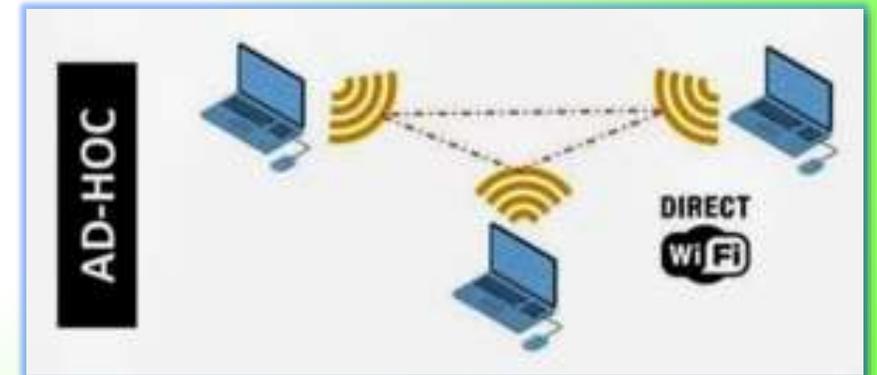
# Elementos de una red inalámbrica

## REDES INALÁMBRICAS

### Modos de trabajo de los hosts

(Kurose, 2017)

- **Modo de infraestructura.** De los hosts asociados con una estación base o Access point se suele decir que operan en **modo de infraestructura**, puesto que todos los servicios de red tradicionales (asignación de direcciones y routing) son proporcionados por la red con la que un host se conecta a través de la estación de base.
- **Modo ad hoc.** En las **redes ad hoc**, los hosts inalámbricos no tienen ninguna infraestructura de ese tipo a la que conectarse. En ausencia de dicha infraestructura, los propios hosts tienen que proporcionar servicios tales como el routing, la asignación de direcciones, la traducción de nombres de tipos DNS, etc.



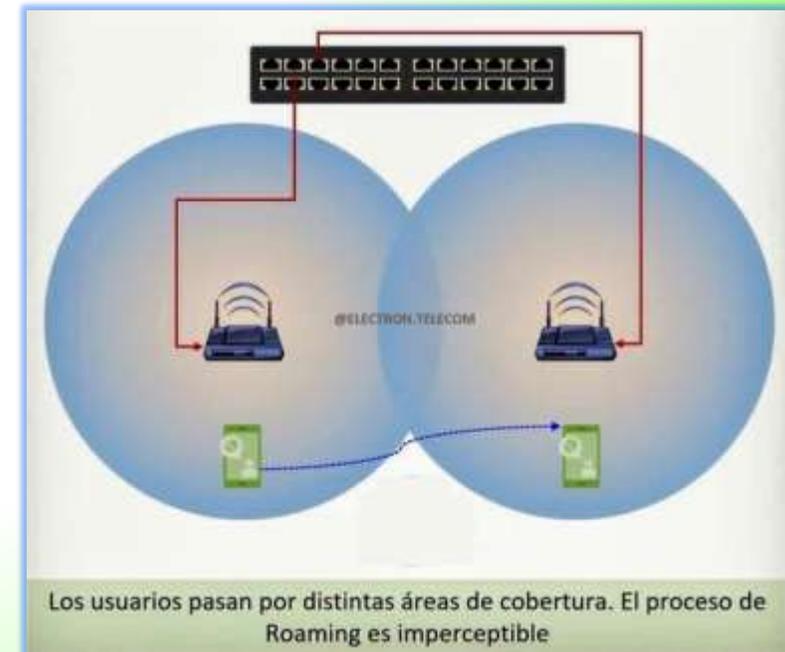
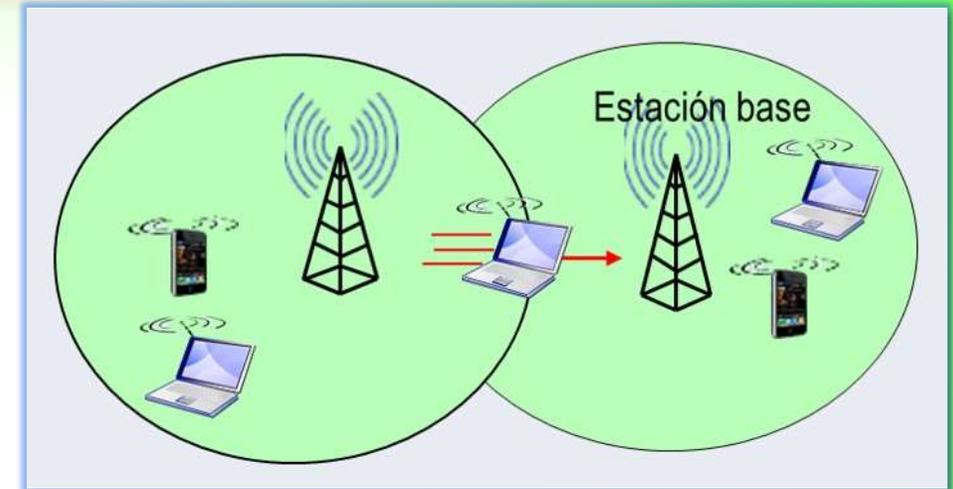
# Elementos de una red inalámbrica

## REDES INALÁMBRICAS

### Roaming en las redes inalámbricas

(Kurose, 2017)

- **Cuando un host** móvil se desplaza fuera del alcance de una estación base y entra dentro del área de cobertura de otra, cambia su punto de conexión con la red de mayor tamaño, es decir, cambia la estación base con la que está asociado; este proceso se conoce con el nombre de **roaming** (itinerancia).
- **Este tipo de movilidad** plantea numerosos y complejos problemas. Si un host puede moverse:
  - ¿Cómo se puede averiguar la ubicación actual del host móvil dentro de la red, para poder reenviar datos a este host móvil?
  - ¿Cómo se lleva a cabo el redireccionamiento sabiendo que un host puede estar en una de muchas posibles ubicaciones?
  - Si el host se mueve durante una conexión TCP o llamada telefónica, ¿cómo se pueden enrutar los datos, para que la conexión continúe activa de forma ininterrumpida?
- **Estas y otras muchas** cuestiones hacen de las redes inalámbricas y móviles un área de investigación particularmente atractiva.



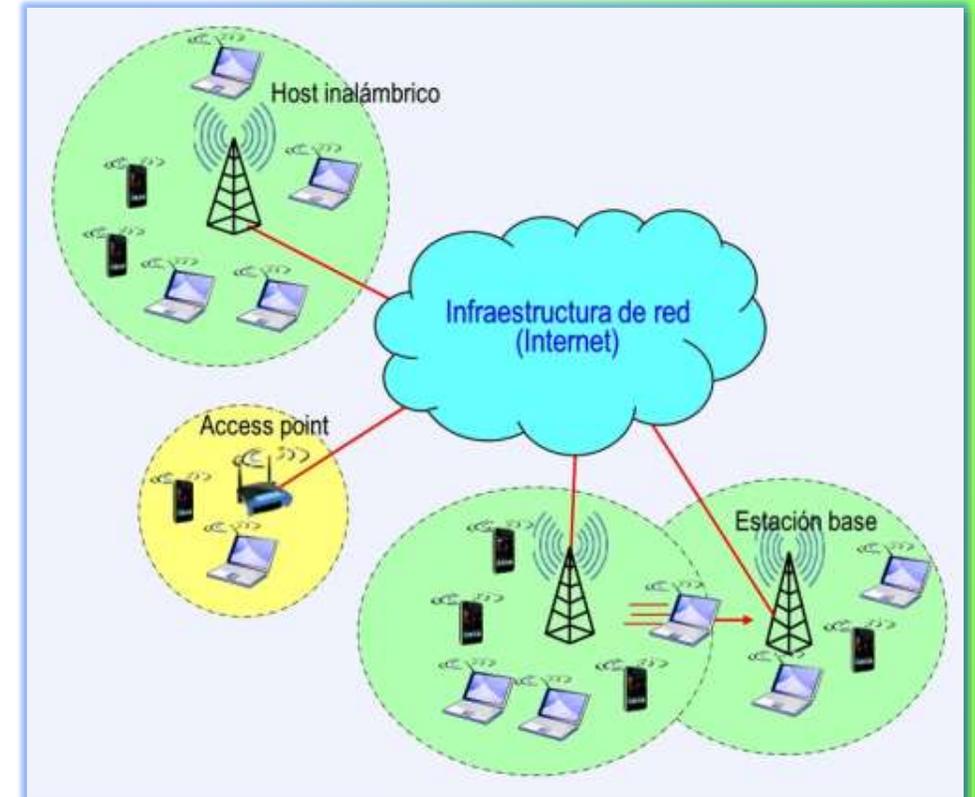
# Elementos de una red inalámbrica

## REDES INALÁMBRICAS

### Infraestructura de red

(Kurose, 2017)

- **►4. Infraestructura de red.** Es la red de mayor tamaño con la que un host inalámbrico puede querer comunicarse.
- **Habiendo examinado** los elementos de una red inalámbrica, observe que estos elementos pueden combinarse de muchas formas distintas para componer distintos tipos de redes inalámbricas-
- **Conocer** una clasificación de estos tipos de redes inalámbricas puede ser útil a la hora de aprender más acerca de ellas. En el nivel más general, se pueden clasificar las redes inalámbricas según dos criterios:
  - (1) Si un paquete dentro de la red inalámbrica realiza exactamente un salto inalámbrico o varios saltos inalámbricos.
  - (2) Si existe una infraestructura, como por ejemplo una estación base, dentro de la red .



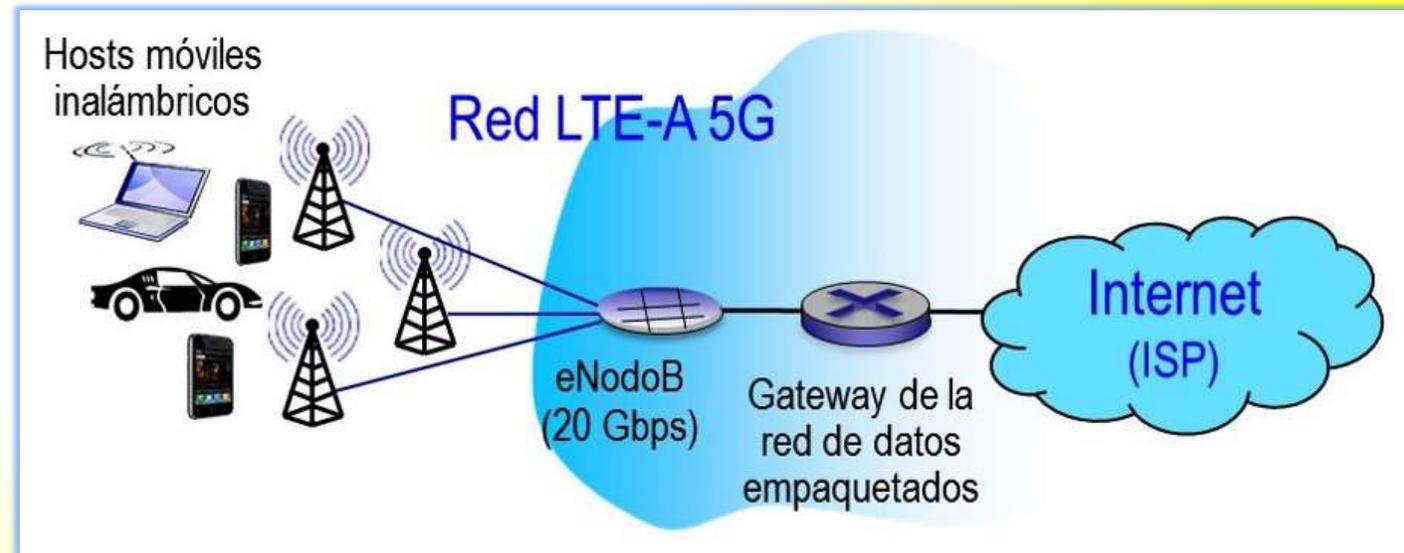
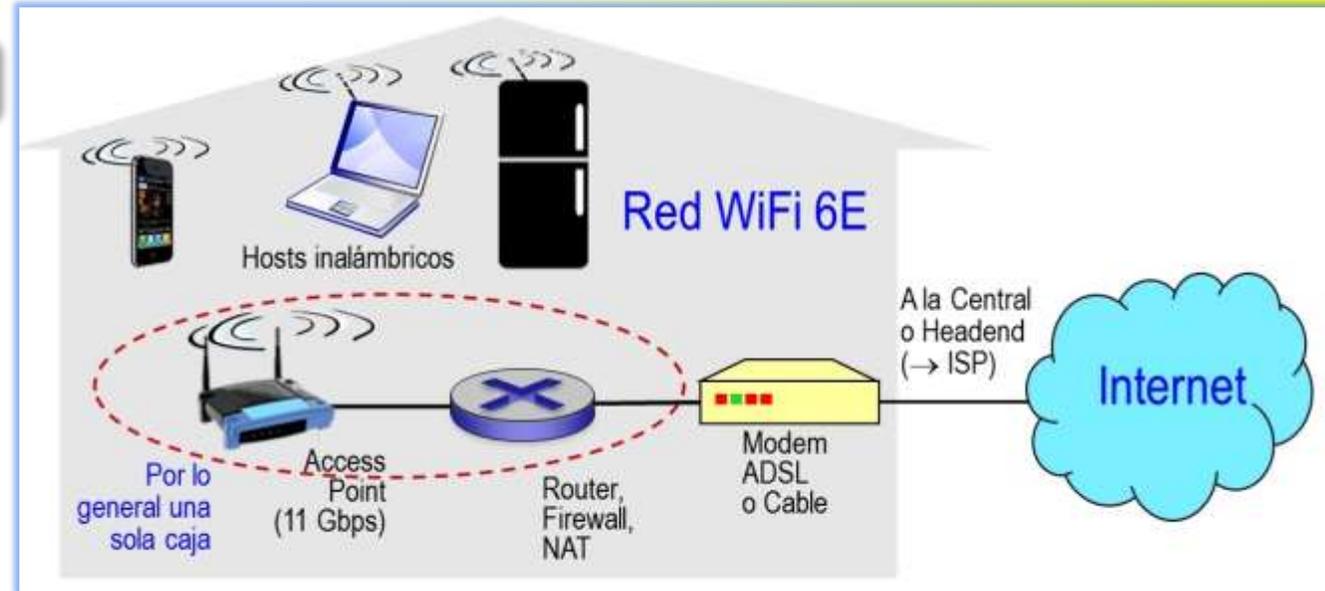
# 3. CLASIFICACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS

## REDES INALÁMBRICAS

(Kurose, 2017)

### Redes basadas en infraestructura y un salto

- Las **redes inalámbricas**, en el nivel más general, se pueden clasificar de la siguiente forma:
  - **1 Redes basadas en infraestructuras y un único salto.** Estas redes tienen una estación base conectada a una red cableada de mayor tamaño (por ejemplo Internet). Además, toda la comunicación se realiza entre esta estación base y un host inalámbrico con un único salto inalámbrico.
  - Ejemplo 1.** Las **redes WiFi** que se utilizan en domicilios, en empresas, en las aulas, en las cafeterías o en las bibliotecas.
  - Ejemplo 2.** Las **redes de datos LTE-A 5G**
  - Todas estas **redes** caen dentro de esta categoría, la gran mayoría de las interacciones diarias se llevan a cabo en redes inalámbricas basadas en infraestructuras y un único salto.



# Clasificación de las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

### Redes sin infraestructura y un salto

- **►2. Redes sin infraestructuras y un único salto.**  
En estas redes no existe una estación base conectada a una red inalámbrica. Sin embargo, uno de los nodos de esta red de un único salto puede coordinar las transmisiones de los restantes nodos.
- **Ejemplo 1. Las redes Bluetooth**, que conectan pequeños dispositivos inalámbricos como teclados, altavoces y cascos.
- **Ejemplo 2. Las redes WiFi en modos ad hoc** son redes sin infraestructuras y de un único salto.



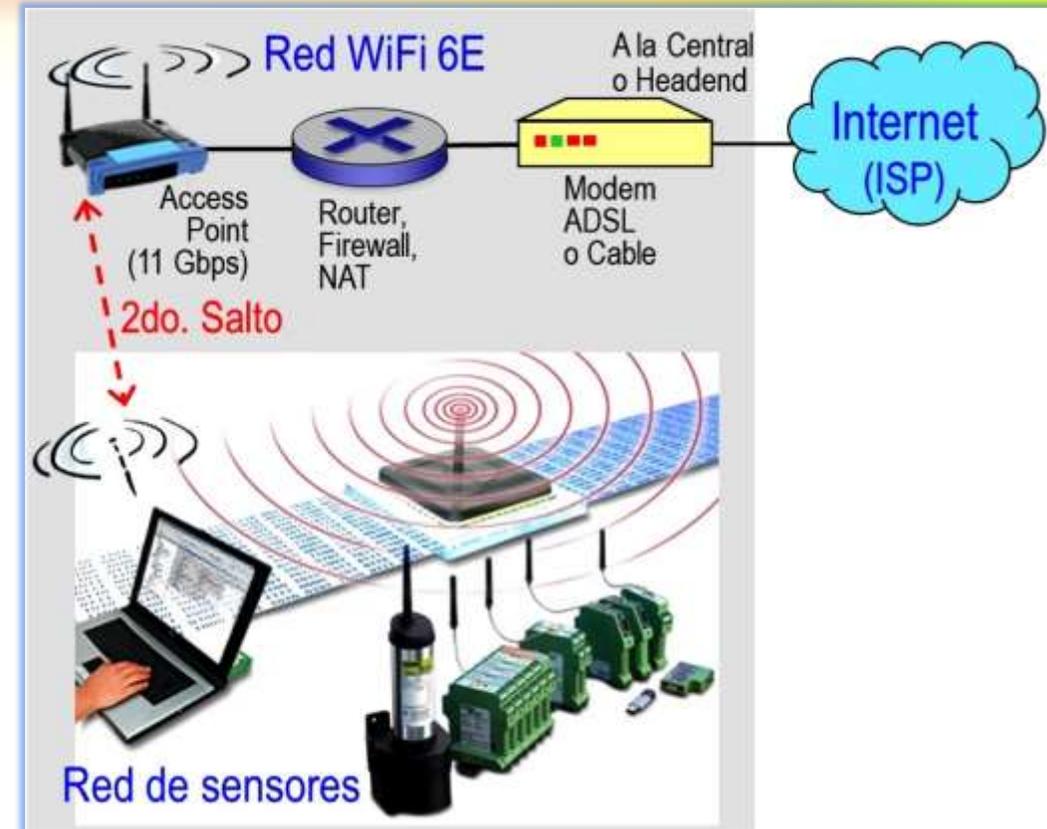
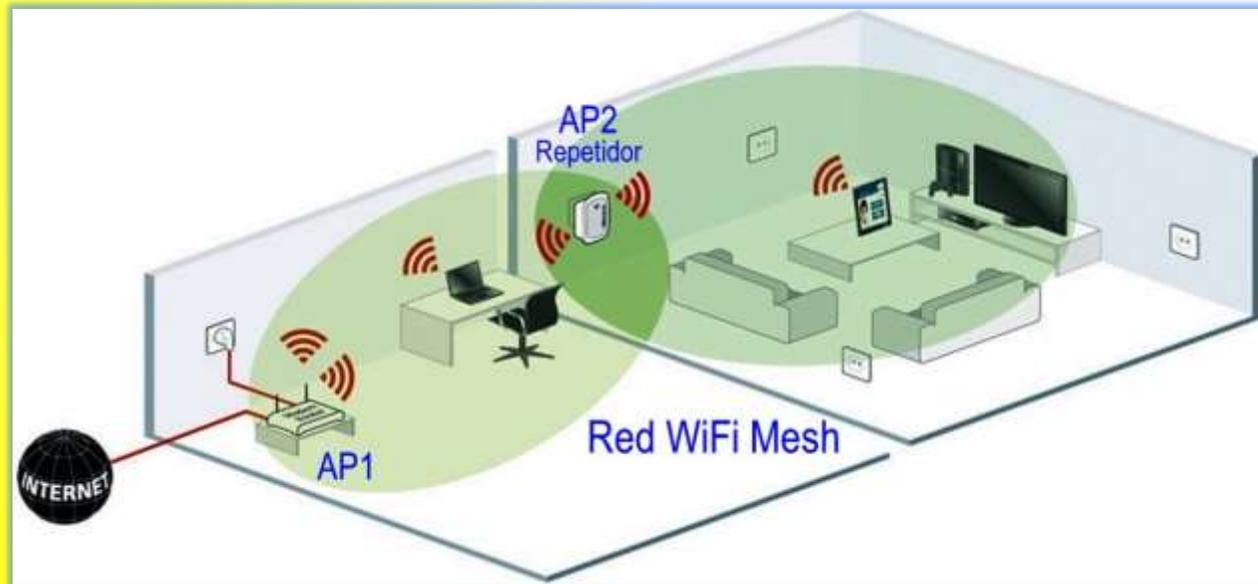
# Clasificación de las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

(Kurose, 2017)

### Redes basadas en infraestructura y múltiples saltos

- ▶ **3. Redes basadas en infraestructuras y múltiples saltos.** En estas redes existen una estación base que esta cableada a la red de mayor tamaño. Sin embargo algunos nodos inalámbricos pueden tener que transmitir sus comunicaciones a través de otros nodos inalámbricos con el fin de comunicarse a través de la estación base.



- Ejemplo 1. Algunas redes de sensores inalámbricos .
- Ejemplo 2. Las denominadas redes de malla WiFi Mesh, caen dentro de esta categoría. El smartphone de la figura recibe una señal débil de AP1, por lo que se instala el AP2, en modo repetidor, para extender la cobertura de la red.

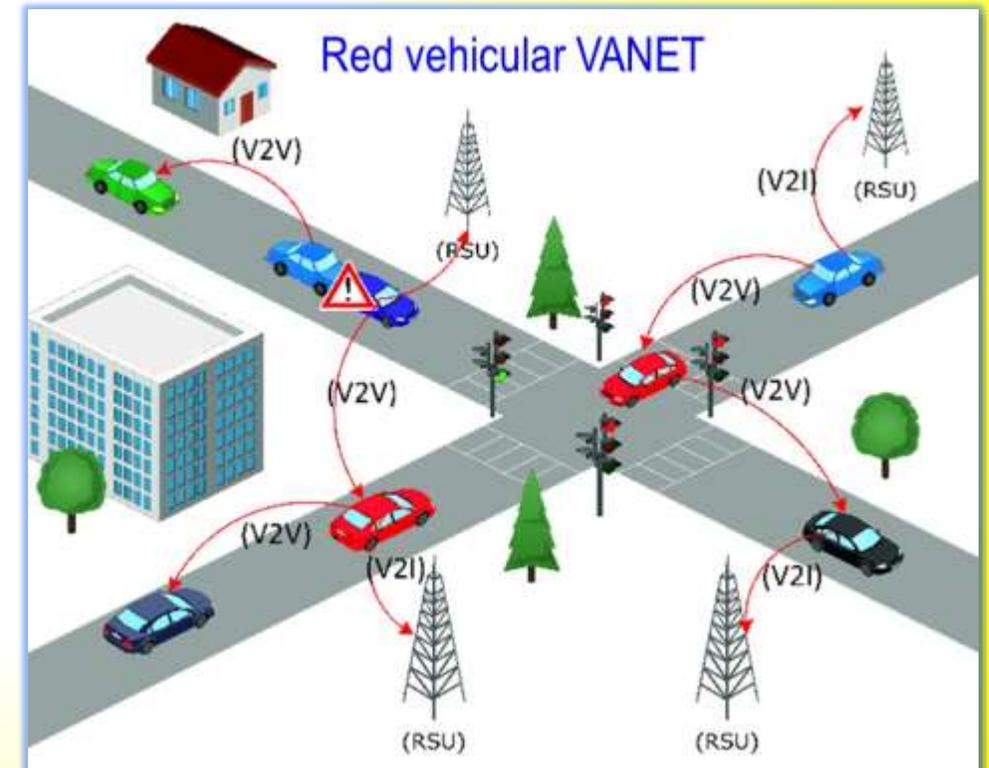
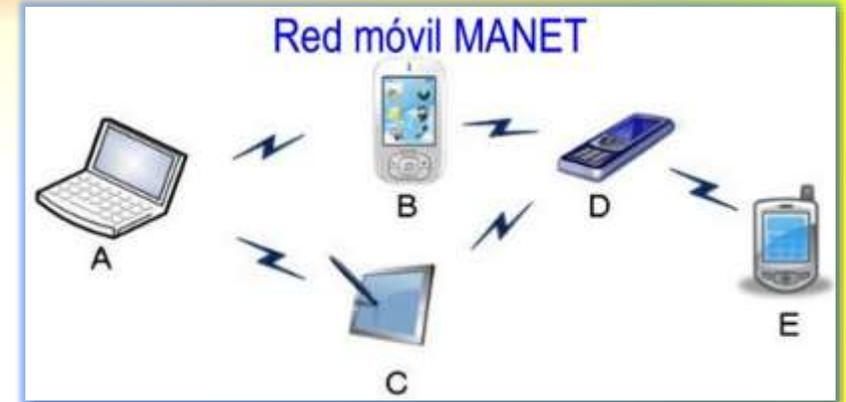
# Clasificación de las redes inalámbricas

## REDES INALÁMBRICAS

### Redes sin infraestructura y múltiples saltos

(Kurose, 2017)

- **► 4. Redes sin infraestructuras y múltiples saltos.** En estas redes no existe una estación base y los nodos tienen que retransmitir sus mensajes a través de otros diversos nodos para alcanzar un cierto destino. Los nodos también pueden ser móviles, con lo que la conectividad entre los nodos irá variando, lo que constituye una clase de redes conocidas con el nombre de **redes móviles ad hoc**.
- **Ejemplo 1. Redes móviles ad hoc MANET.** Utilizadas en entornos de misión crítica, militares y para cuerpos de seguridad (policía, bomberos). En la figura, la comunicación entre el nodo A y el E se realiza a través de los nodos B, C y D que actúan como routers.
- **Ejemplo 2. Redes vehiculares móviles ad hoc VANET.** Se llama así cuando los nodos móviles son vehículos. Utilizadas para comunicarse entre vehículos o entre vehículos e infraestructura para compartir información de tráfico, estado de las carreteras, condiciones medioambientales y posibles accidentes.
- **Como puede imaginar,** el desarrollo de protocolos para tales redes es enormemente complicado y es materia de muchas investigaciones que están actualmente en marcha.



# Referencias bibliográficas

REDES INALÁMBRICAS

## 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 7 de:  
COMUNICACIÓN POR RADIO  
Edison Coimbra G.