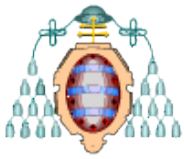


INGENIERÍA DE REDES
Grado en Ingeniería Informática

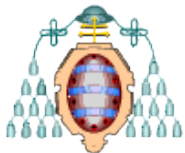
Tema 5:
Redes inalámbricas WLAN

Xabiel García Pañeda
Roberto García Fernández
Área de Ingeniería Telemática
Universidad de Oviedo

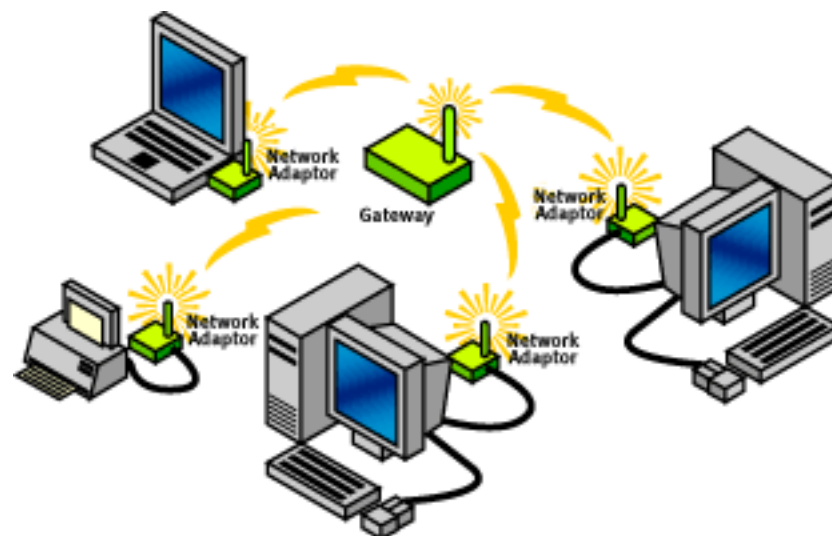
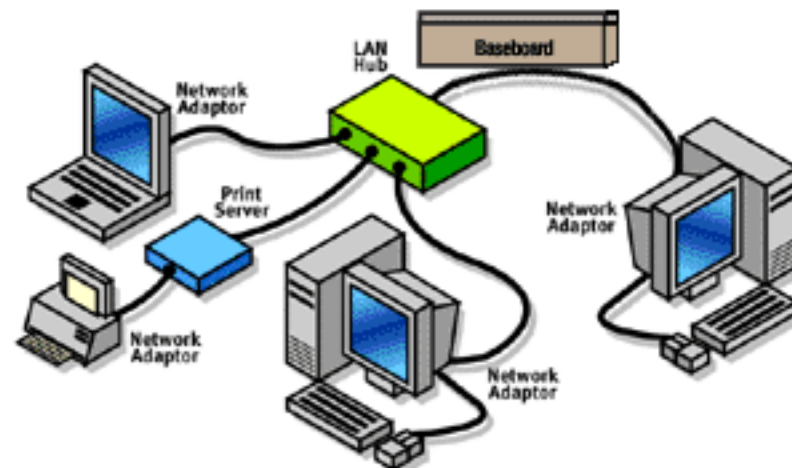


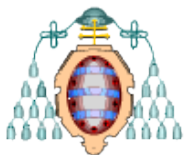
- Introducción
- Wireless – 802 Working Groups
- IEEE 802.11
 - Nivel de enlace
 - Nivel físico
- IEEE 802.11n
- Madurez de la tecnología y del mercado





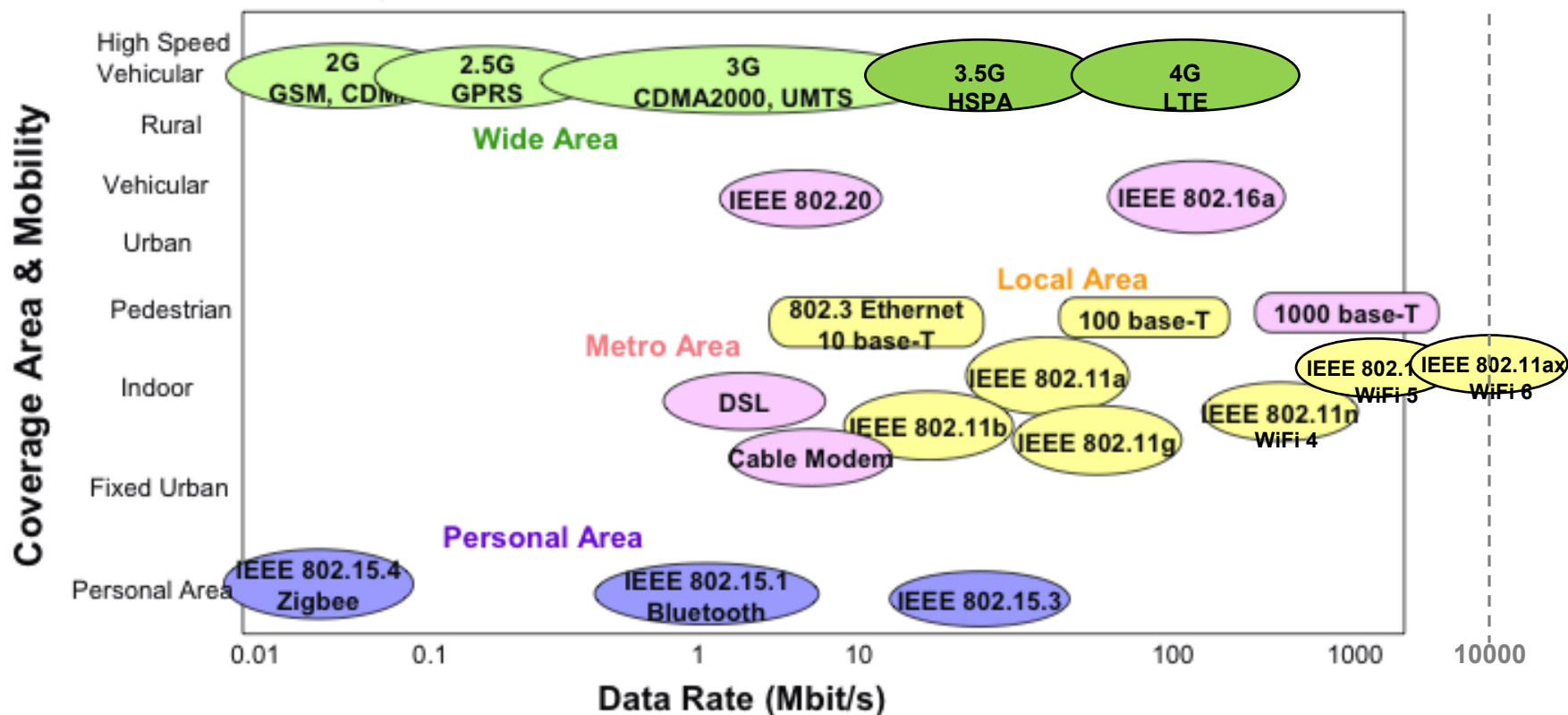
- Clasificación:
 - Redes cableadas
 - Redes no cableadas

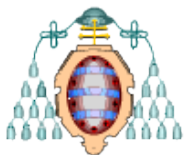




Tecnologías de área local LAN

Ingeniería
Telemática



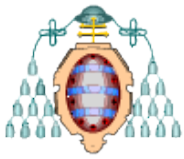


Wireless: 802 Working Groups

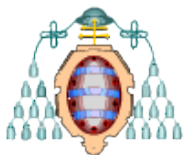
Ingeniería
Telemática

- Grupos IEEE 802 de tecnologías wireless
 - 802.11 Wireless LAN (WLAN)
 - 802.15 Wireless Personal Area Networking
 - Bluetooth (802.15-1)
 - Zigbee (802.15-4)
 - 802.16 Broadband Wireless Access (WiMAX)
 - Servicio Internet wireless para cubrir zonas geográficas amplias con un gran número de usuarios y a bajo coste
 - 802.18 Radio Regulatory Technical Advisory Grp
 - 802.20 Mobile (Broadband) Wireless Access
 - 802.22 Wireless Regional Area Networks

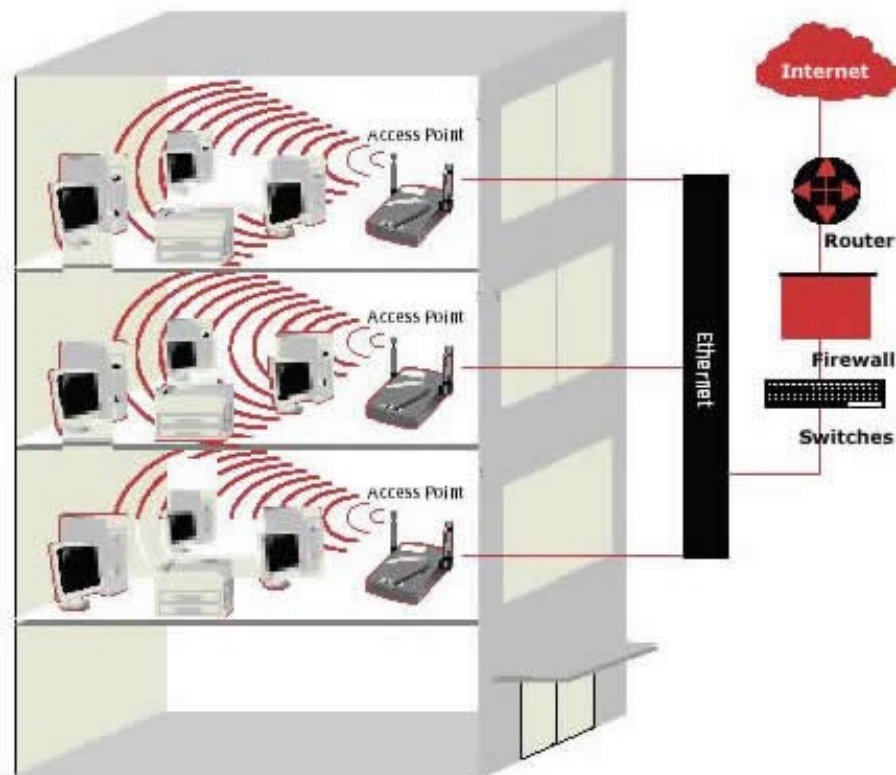


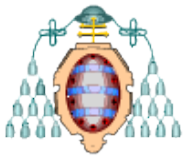


- Wireless Local Area Network
 - Son redes LAN
 - Sin cables
 - Bandas de frecuencia sin licencia
- Tipos:
 - **Infraestructura**
 - Dar acceso a una red externa mediante puntos de interconexión
 - **Ad-Hoc**
 - Comunicación entre los terminales de usuario
 - Generalmente sin conexión a redes externas

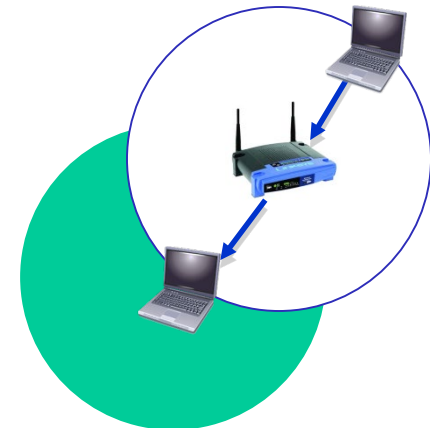


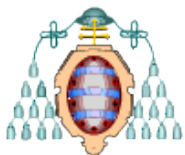
- División entre
 - equipos de usuario
 - infraestructura de comunicaciones
- Puntos de acceso
 - AP (Access Point)
- Normalmente permanecen fijos



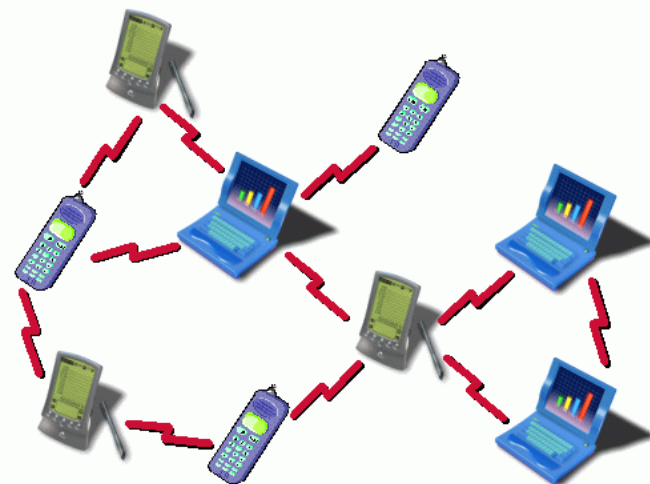


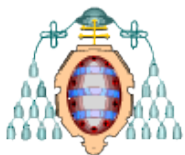
- No hay comunicación directa entre los equipos de la red
- Cada comunicación dos saltos
 - Equipo1-AP
 - AP-Equipo2
- Red más estable
 - Mayor cobertura





- MANETs
 - Mobile Ad-hoc Network
- No existe infraestructura
- Los equipos de usuario se utilizan para llevar a cabo la distribución
- Todos los elementos de la red pueden tener movilidad





Evolución estándares WiFi

Ingeniería
Telemática

- Cambio de terminología en los últimos años

Generational name	Technology supported
Wi-Fi 7	802.11be (in development)
Wi-Fi 6	802.11ax
Wi-Fi 5	802.11ac
Wi-Fi 4	802.11n



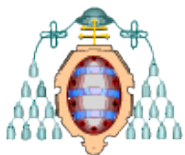
Generation of network connection	Sample user interface visual
Wi-Fi 6	
Wi-Fi 5	
Wi-Fi 4	

www.wi-fi.org
26/03/2023

Última generación de dispositivos WiFi

Mayoría de dispositivos en la actualidad

Cuarta generación de Wi-Fi

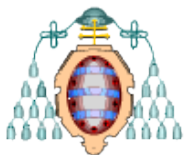


WLAN: Tecnologías

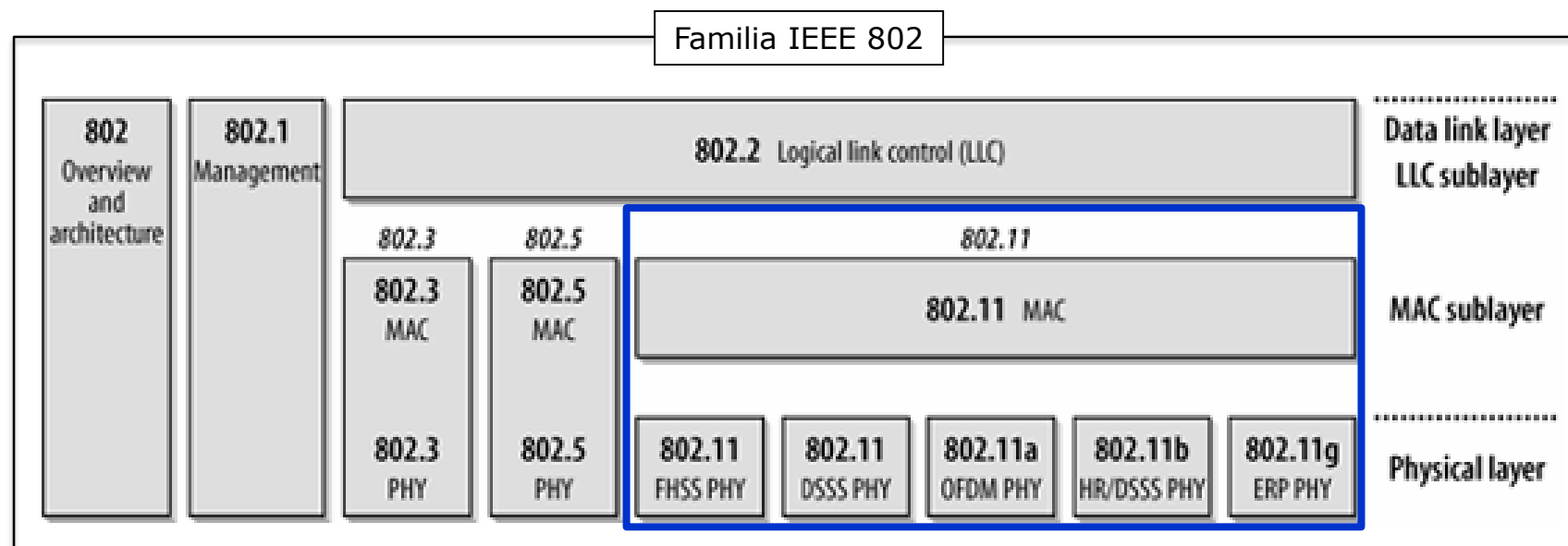
Ingeniería
Telemática

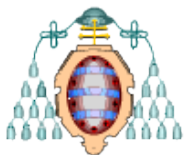
Estándar	Año	Banda	Velocidades
802.11	1997	2.4GHz	1, 2 Mbps
802.11a	1999	5GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
802.11b	1999	2.4GHz	1, 2, 5.5, 11 Mbps
802.11g	2003	2.4GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
802.11n Wi-Fi 4	2009	2.4GHz, 5GHz	15- 150 Mbps
802.11ac Wi-Fi 5	2014	5GHz	1 Gbps
802.11ax Wi-Fi 6	2019	2,4GHz, 5GHz	9.6 Gbps



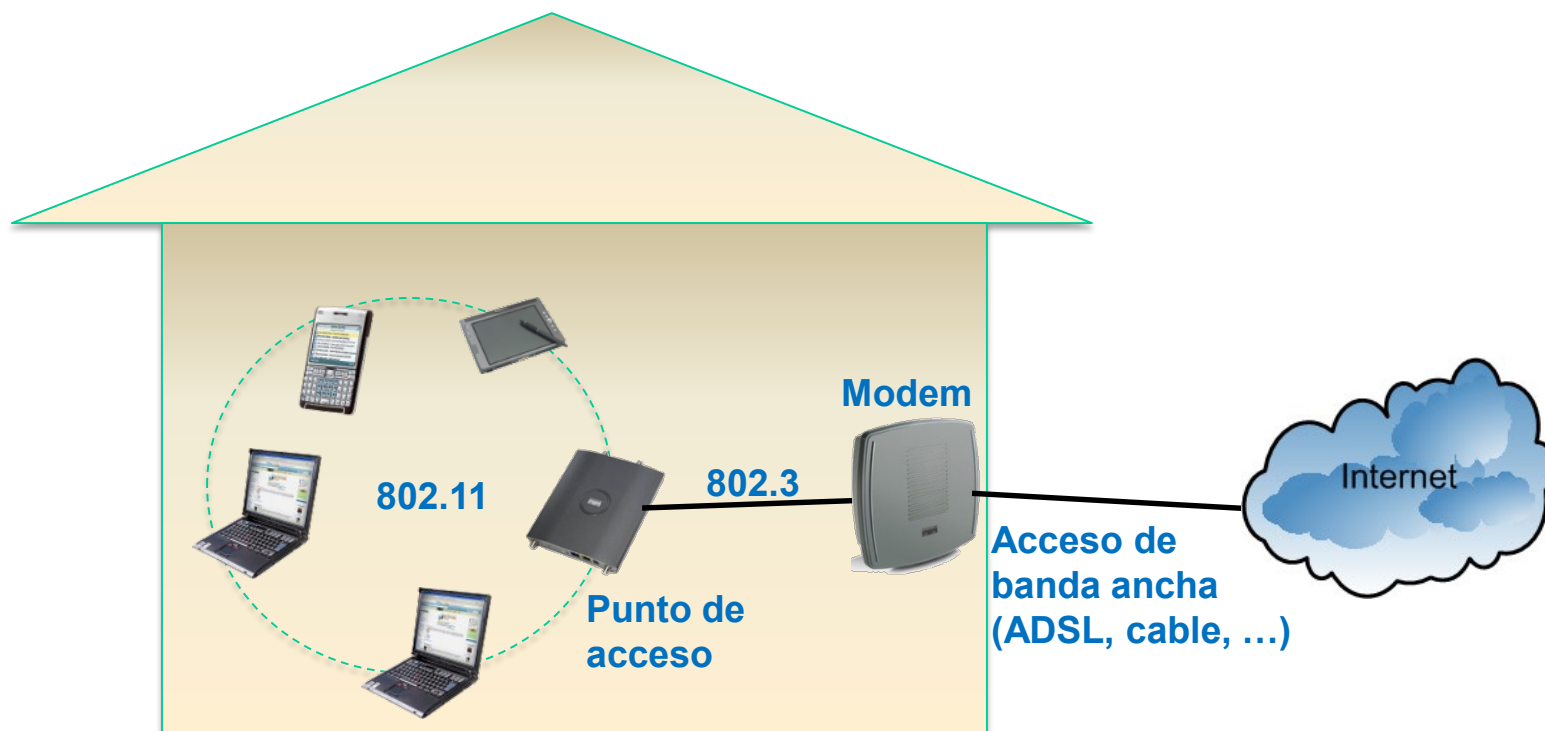
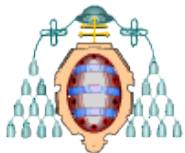


- Estándar base dividido en dos capas
 - Capa MAC (Medium Access Control)
 - Capa PHY (Physical)

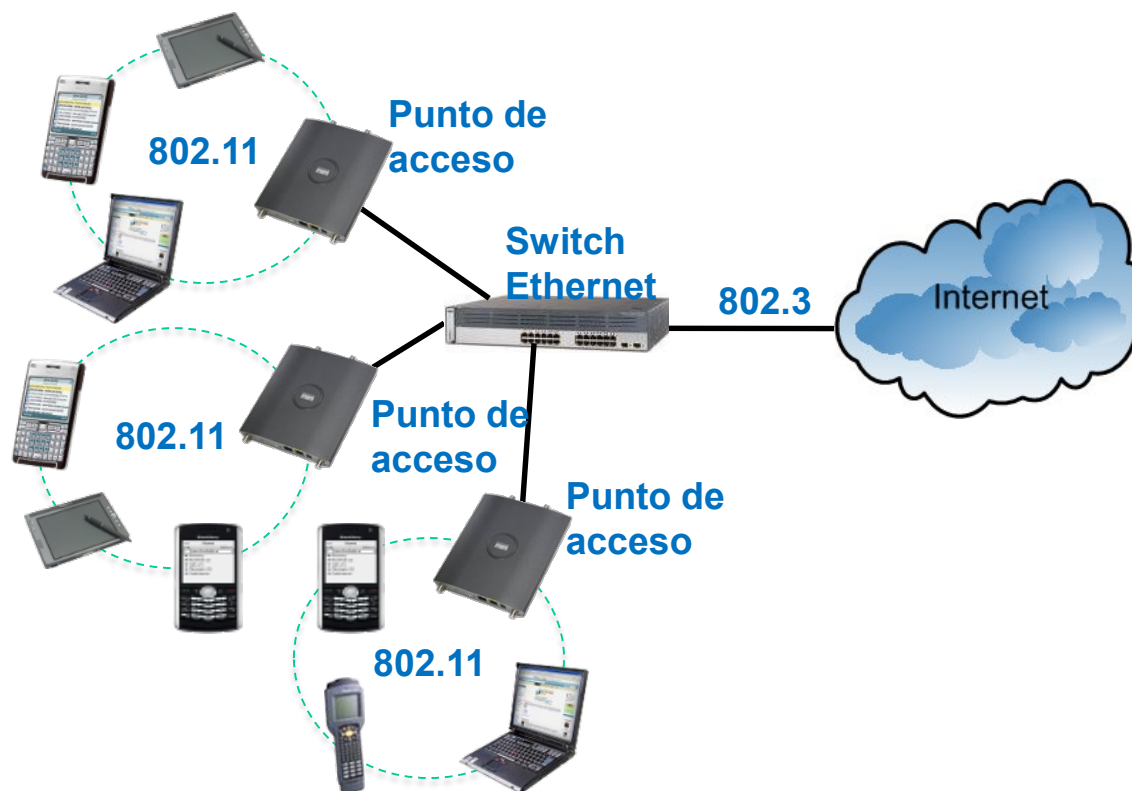




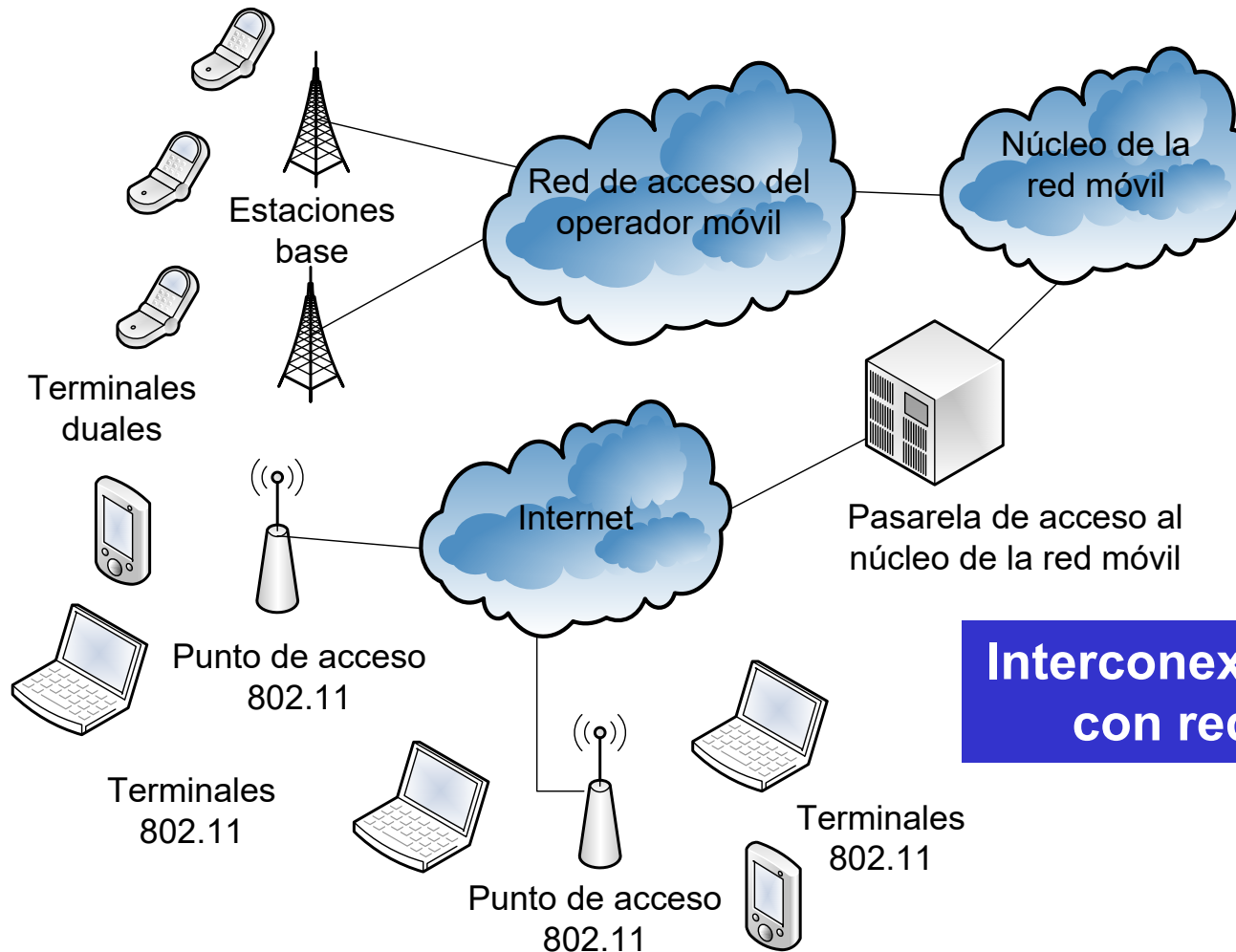
- Redes 802.11 formadas por 4 componentes físicos principales:
 - Estaciones (station)
 - Equipo de usuario con tarjeta de red wireless
 - Puntos de acceso (AP/access point)
 - Conectan el entorno inalámbrico con otro tipo de redes para proporcionar interconexión
 - Medio inalámbrico (wireless medium)
 - Sistema de distribución (distribution system)



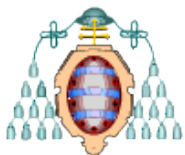
Acceso WiFi residencial



Red WiFi con puntos de acceso autónomos

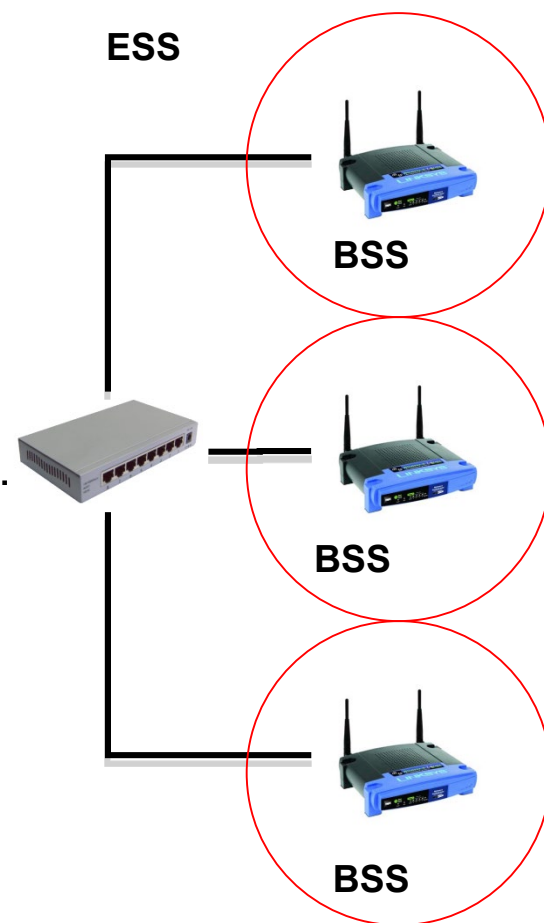


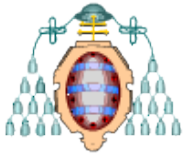
**Interconexión WLAN
con red móvil**



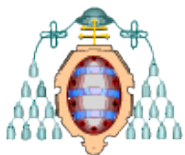
802.11: Nomenclatura

- **BSS** (Basic service set)
 - Grupo de estaciones que se comunican unas con otras
 - Con (en infraestructura) o sin infraestructura (independiente o ad-hoc)
- **ESS** (Extended service set)
 - Los BSS no pueden dar cobertura a grandes áreas. Se crean los ESS que son agrupaciones de BSS conectadas a través de un backbone
 - Los APs se comunican a través del backbone creando una red virtual
 - Cuando una estación se asocia con un AP las demás deben de conocer esta situación
 - Es necesario tener un IAPP (Inter AP Protocol) para intercambiar información (propietarios, 802.11F)

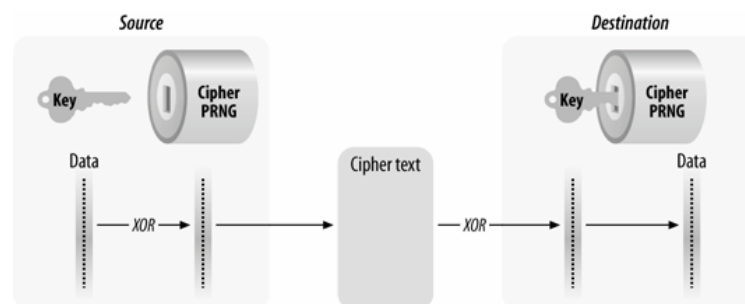


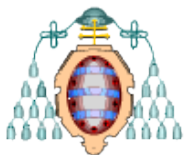


- **Distribución**
 - Una vez el AP ha recibido el paquete se utiliza la distribución para enviarlo al destino
- **Integración**
 - Es el servicio que permite conectar el sistema con una red no IEEE 802.11
- **Asociación**
 - Proceso de registro o asociación con uno de los AP que conforman la red
- **Reasociación**
 - Cuando una estación móvil se desplaza entre dos BSS debe de evaluar la potencia de la señal del AP con el que está asociado. La reasociación se produce cuando las condiciones de señal indican que una asociación con otro AP generaría un mejor funcionamiento
- **Disasociación**
 - Se utiliza para terminar la conexión de una estación con un AP



- **Autenticación**
 - En redes con seguridad se requiere autenticación antes del proceso de asociación
- **Deautenticación**
 - Termina una relación autenticada. El efecto lateral de una deautenticación es la desasociación de la estación
- **Confidencialidad**
 - Servicio que se encarga de que la información que circula por la red inalámbrica no pueda ser leída por estaciones distintas al emisor/receptor
- **Envío de MSDU (MAC service data unit)**
 - Este servicio se encarga de la extracción de datos que están en paquete transportado por la red





- Sin tránsito

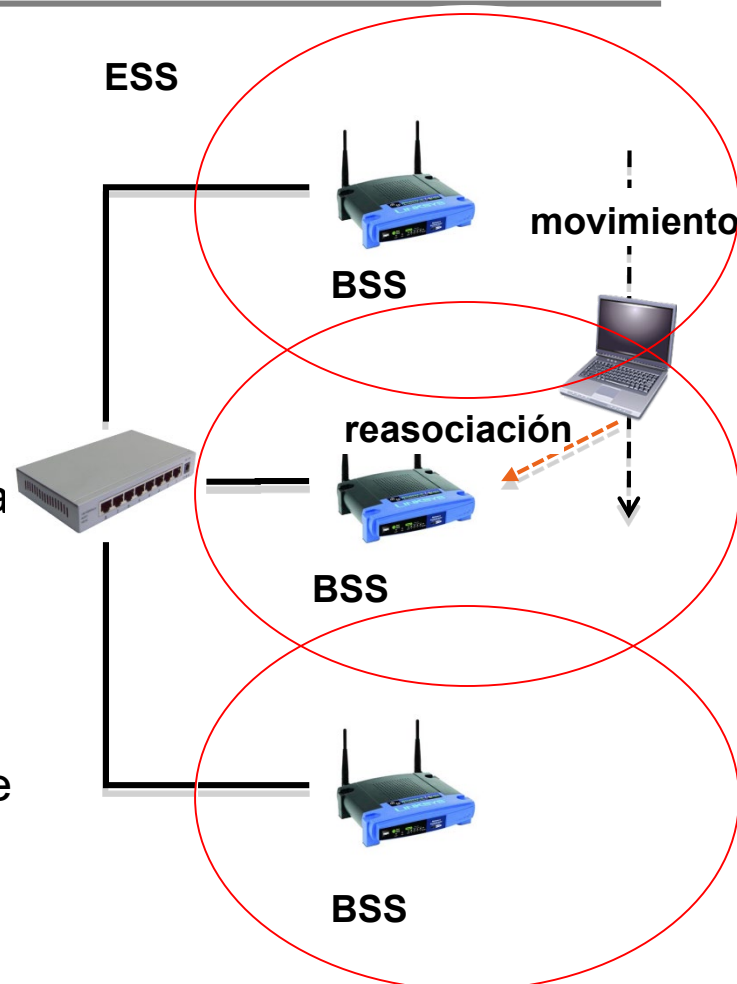
- La estación no se mueve, permanece en el área de servicio del AP al que se encuentra asociada

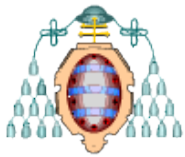
- Tránsito entre BSS

- La estación monitoriza continuamente la fuerza y la calidad de la señal, así como la señal de los otros BSS del mismo ESS. En el momento que la calidad de la señal de los otros BSS es superior a la generada por el actual, la estación invoca el servicio de reasociación con el BSS que ofrece más calidad de señal

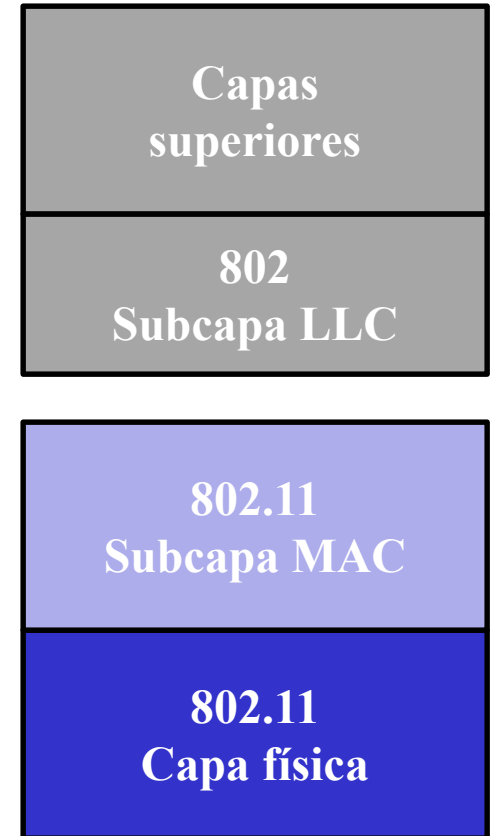
- Tránsito entre ESS

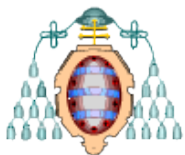
- 802.11 no contempla este tipo de movilidad





- IEEE 802.11 define
 - Capa física (PHY)
 - Subcapa de control acceso al medio (MAC)
- Capa LLC (Logical Link Control) definida en IEEE 802.2
- Resto de capas no definidas
 - Protocolo IP, transporte y aplicación
- Capa física
 - Subcapa PLCP
 - *Physical Layer Convergence Protocol*
 - Subcapa PMD
 - *Physical Medium Dependent*

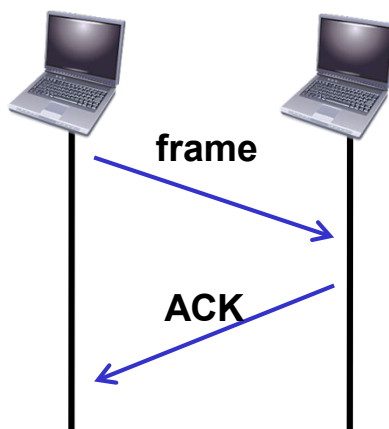


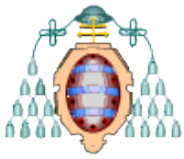


802.11: Particularidades del medio inalámbrico

*Ingeniería
Telemática*

- En los entornos wireless no se puede asumir que por defecto los paquetes se van a recibir correctamente
- Los envíos pueden fallar por muchas razones
 - Interferencias, desconexiones, etc
- Se utiliza una política de asentimiento positivo
 - Las dos estaciones deben de estar perfectamente coordinadas para no interrumpirse

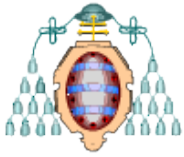




802.11: Particularidades del medio inalámbrico

*Ingeniería
Telemática*

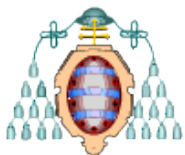
- ¿Pueden aplicarse métodos de redes fijas en el acceso al medio?
- Ejemplo: CSMA/CD
 - **Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection**
 - MAC en IEEE 802.3
 - Escuchar el medio
 - Enviar cuando el medio está libre
 - Escuchar el medio para detectar colisión



802.11: Particularidades del medio inalámbrico

*Ingeniería
Telemática*

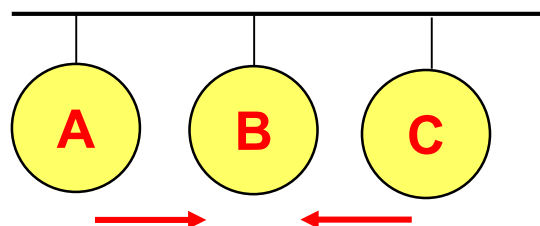
- Potencia de la señal inversamente proporcional al cuadrado de la distancia
- Emisor podría aplicar CS y CD, pero las colisiones ocurren en el receptor
- Emisor no puede escuchar la colisión
 - CD no funciona en wireless
- CS también podría fallar en wireless
 - Problema del terminal oculto



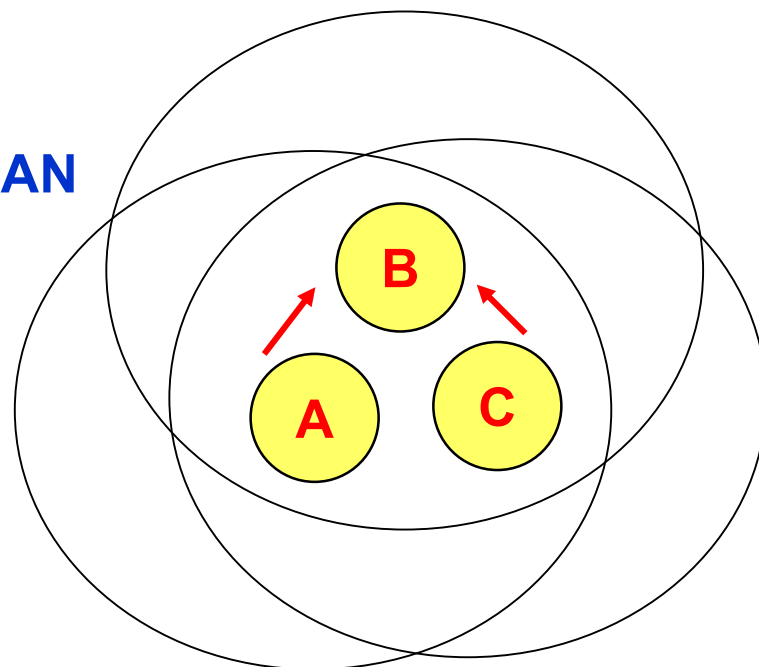
Diferencias entre “Wired” and “Wireless”

Ingeniería
Telemática

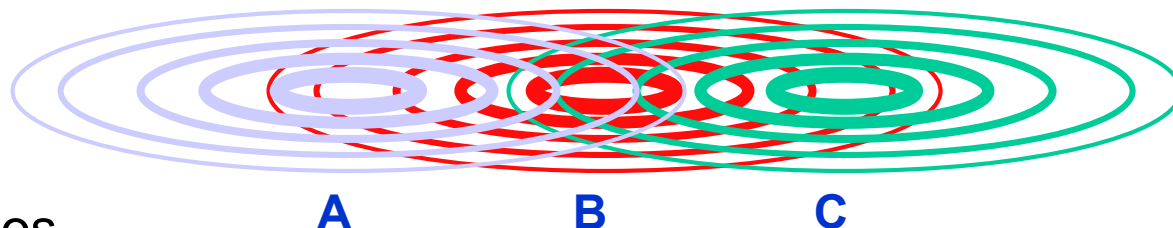
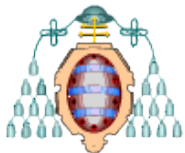
Ethernet LAN



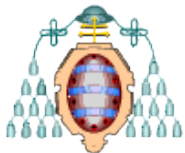
Wireless LAN



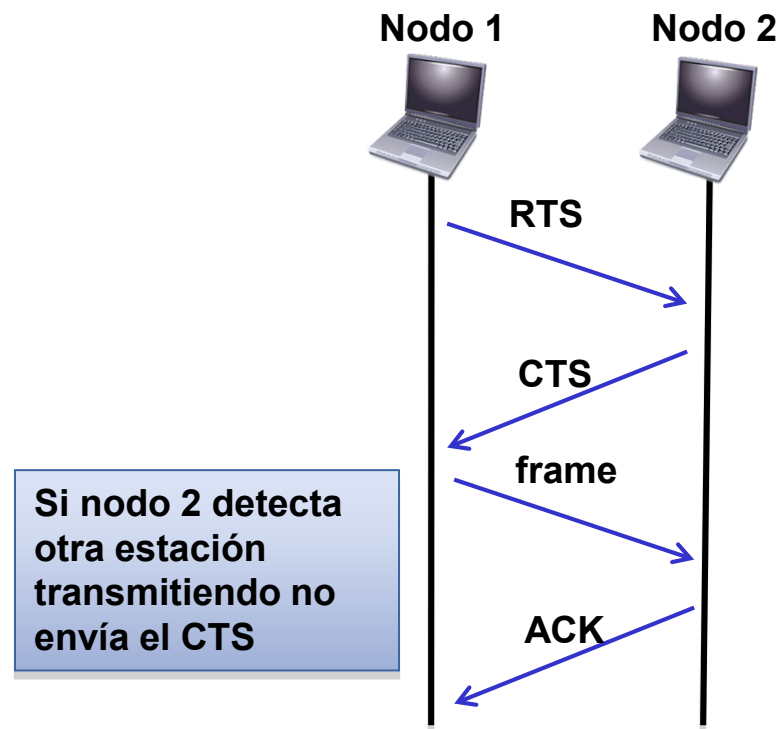
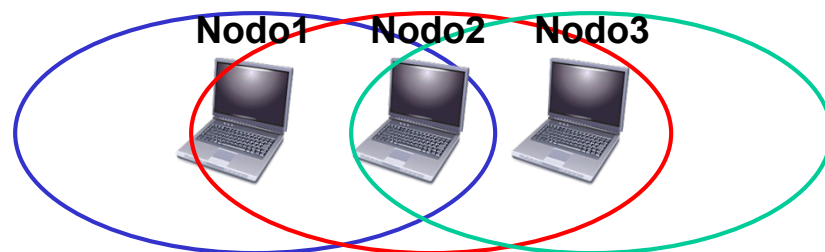
- Si A y C detectan el canal vacío al mismo tiempo, envían al mismo tiempo
- En Ethernet, la colisión puede detectarse en el emisor
- Half-duplex radios en wireless no pueden detectar la colisión en el emisor

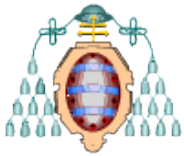


- Terminales ocultos
 - A y C no pueden escucharse
 - A envía a B, C no puede recibir A
 - C quiere enviar a B, C detecta el medio libre (**falla CS**)
 - Ocurre colisión en B
 - A no puede recibir la colisión (**falla CD**)
 - A está oculto para C
- Solución
 - Terminal oculto es particular para wireless
 - Necesario detectar portadora (**CS**) en receptor, no en emisor
 - “virtual carrier sensing”
 - Emisor pregunta si puede recibir algo
 - Si es así, se comporta como si el canal estuviera vacío

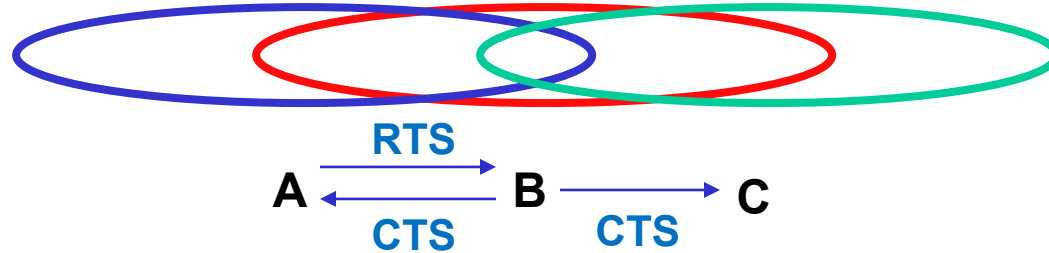


- Problema del nodo oculto
 - El nodo 3 está oculto para el nodo 1
 - Si se produce una colisión entre Nodo1 y Nodo3 no se enterarán
- Para evitar colisiones se utiliza:
 - Request to send (**RTS**)
 - Clear to send (**CTS**)

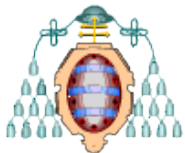




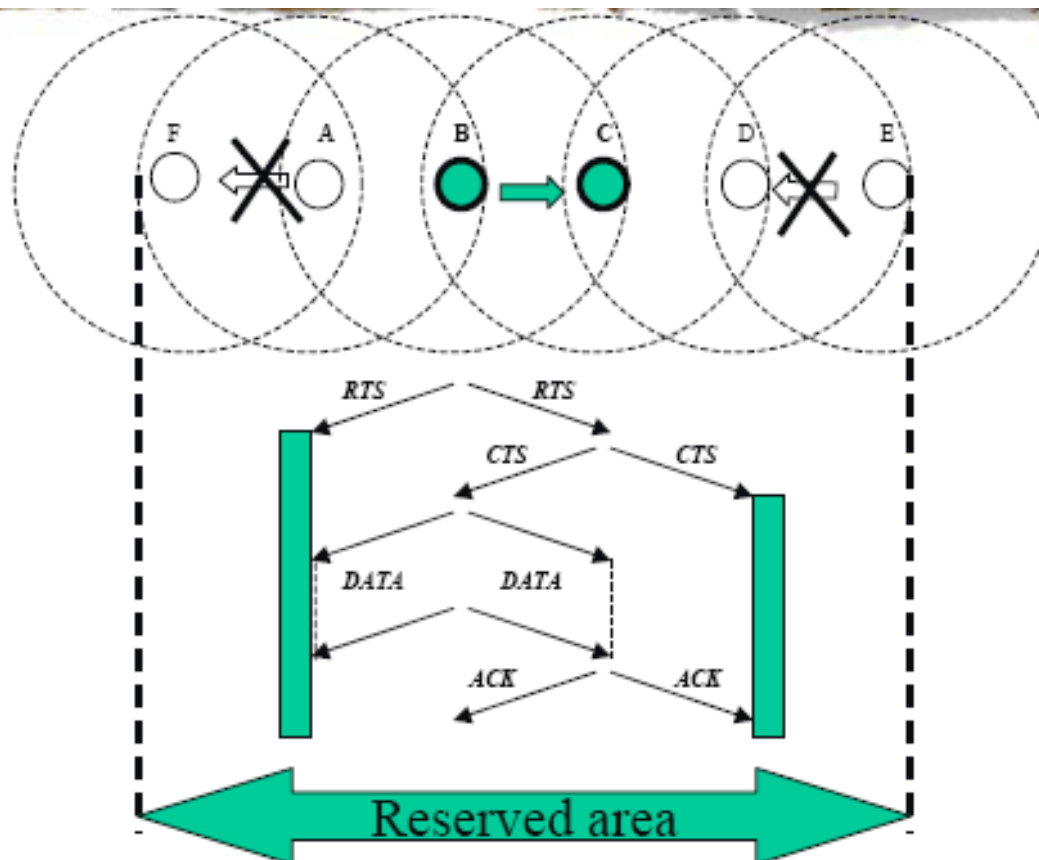
RTS/CTS



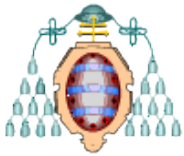
- 802.11 evita el problema del nodo oculto
 - A y C quieren enviar datos a B
 - A envía **RTS** a B
 - B envía **CTS** a A
 - C escucha **CTS** de B
 - C espera a que termine la transmisión de A



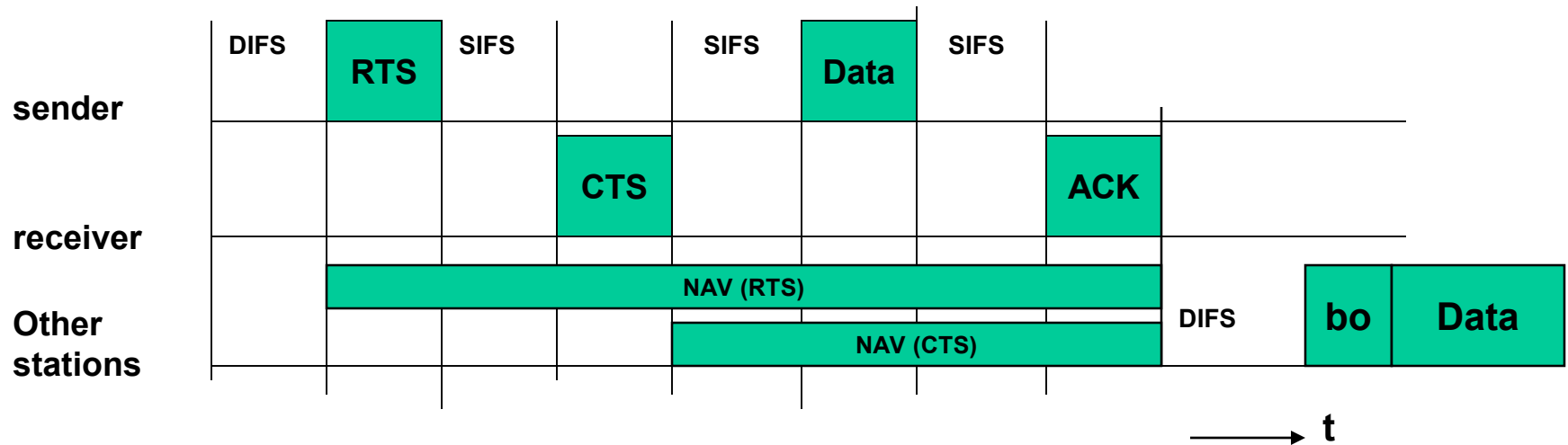
Problema del nodo expuesto



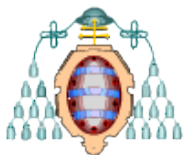
No se permite la comunicación en todo el área reservada



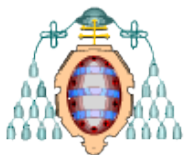
RTS/CTS



IFS: Inter-frame space



- El control de acceso al medio en 802.11 es diferente al del resto de los protocolos 802
 - Se adapta al uso de conexiones inalámbricas
 - Las colisiones desperdician una importante capacidad de transmisión
- Modos de funcionamiento:
 - **DCF** (*distributed coordination function*)
 - Se chequea el estado del enlace antes de empezar a transmitir
 - Para evitar colisiones se introduce un periodo aleatorio de (backoff)
 - Base de CSMA/CA
 - Se puede utilizar CTS/RTS para ayudar a evitar colisiones



- **PCF** (*point coordination function*)
 - Servicio libre de periodos de contención
 - Una estación especial coordina la gestión del medio
 - Se superpone a DCF
 - Escasamente implementado
- **HCF** (*hybrid coordination function*)
 - Se definen varias colas de servicio (pensado para proporcionar calidad de servicio)

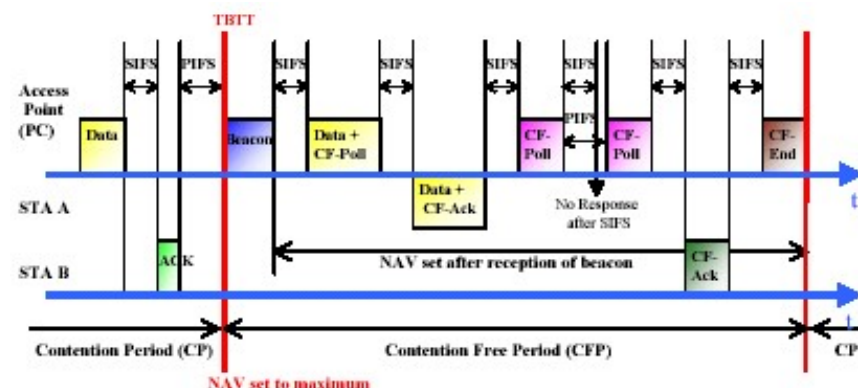
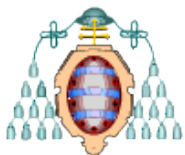
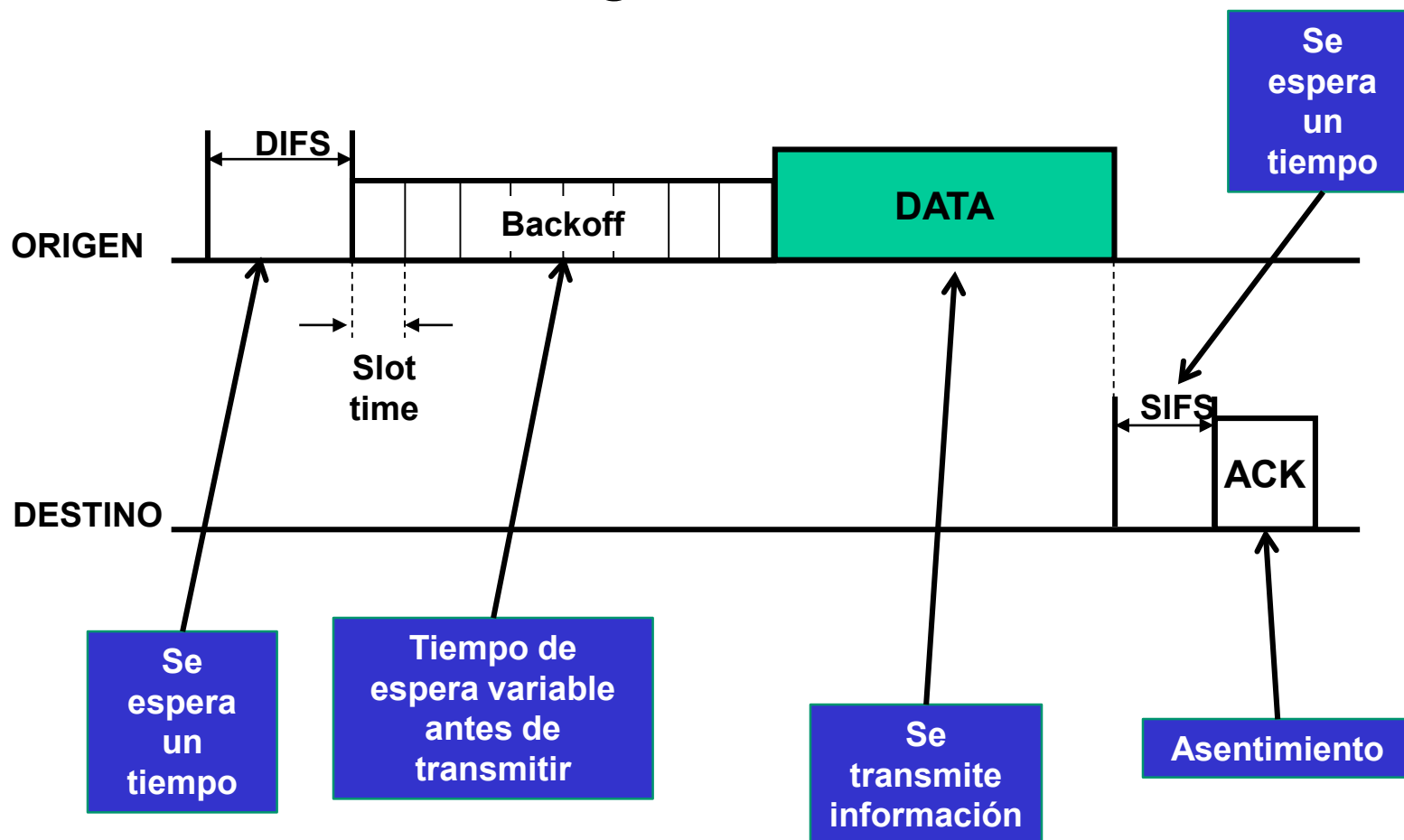
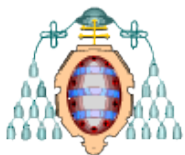


Figure illustrates an example PCF frame exchange sequence. Polling is started by the PC sending a CF-Poll frame to one of the pollable STAs. If the PC itself has pending transmission, it could use a data frame piggybacking a CF-Poll frame. The polled STA can respond with a Data+CF-ACK frame, or with a CF-ACK frame only if there is no pending transmission in the STA. Once the frame exchange sequence with one STA is completed, the PC then sends CF-Poll to another STA in its list of pollable STAs. When the PC has finished polling all pollable STAs or the CFP duration has expired, the PC broadcasts a CF-End frame to announce the end of the CFP.

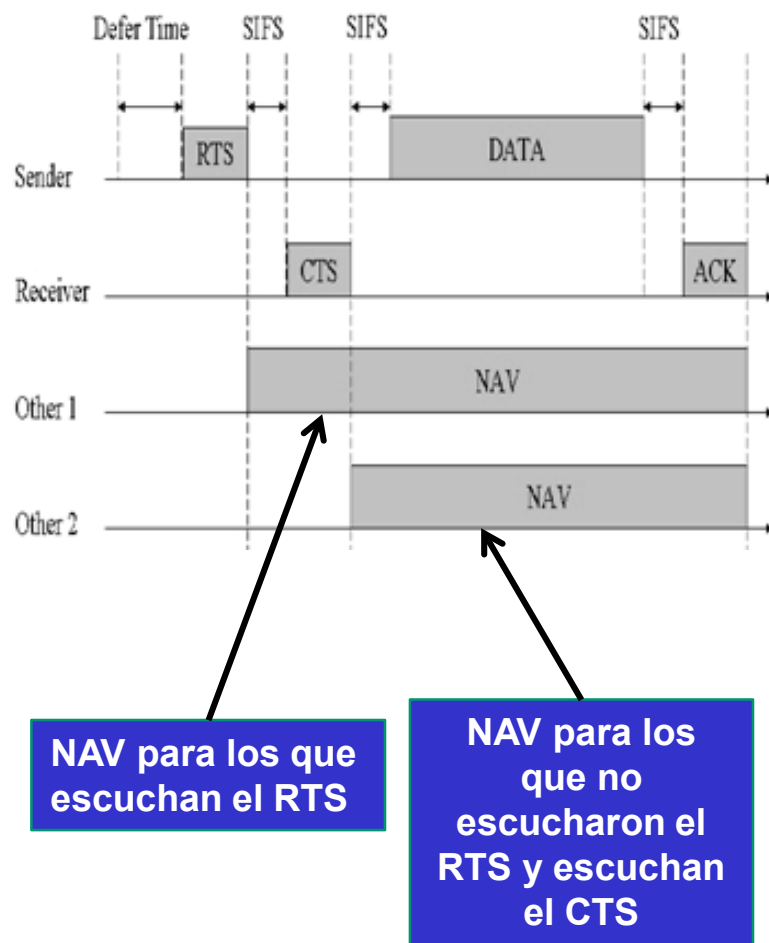


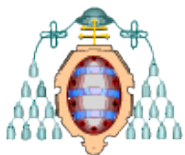
- Funcionamiento general del DCF



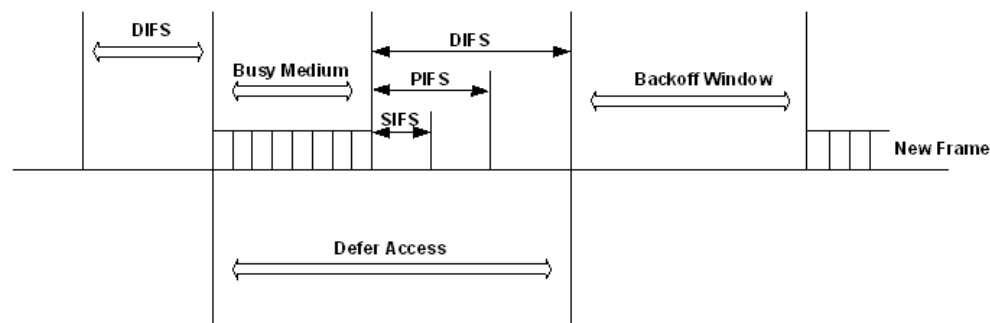


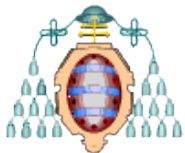
- Disponibilidad del medio
- Dos opciones: física y virtual
- Física
 - Requiere de componentes electrónicos costosos para permitir que el transceptor pueda transmitir y recibir a la vez
- Virtual
 - Se utiliza NAV (Network Allocation Vector)
 - Los mensajes de una transmisión se consideran como una operación atómica
 - El transmisor envía una duración
 - Receptor sustituye la duración por su NAV si esta es mayor





- **SIFS** (Short interframe space)
 - Se utiliza para las transmisiones de más alta prioridad como RTS/CTS y ACKs. Al ser más corto que el resto de los tiempos de espera da prioridad a la transmisión
- **PIFS** (PCF interframe space)
 - Se utiliza en las operaciones sin contienda
- **DIFS** (DCF interframe space)
 - Es el tiempo mínimo de espera para los servicios basados en contienda
- **EIFS** (Extended interframe space)
 - Es un tiempo variable y se utiliza solo si hay un error en la transmisión de una trama



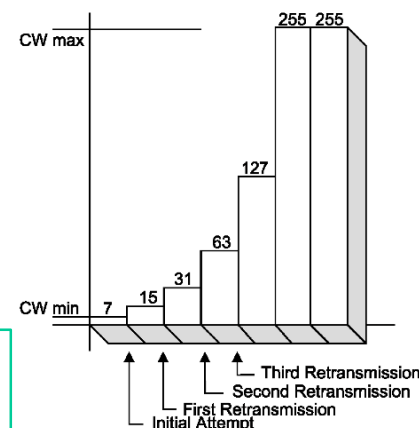


- Proceso:
 - Tiempo de back-off (TBk)

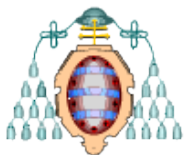
$$TBk = \text{random()} * T_{\text{slot}}$$

$$CW_{\text{actual}} = CW_{\text{anterior}} * 2 + 1$$

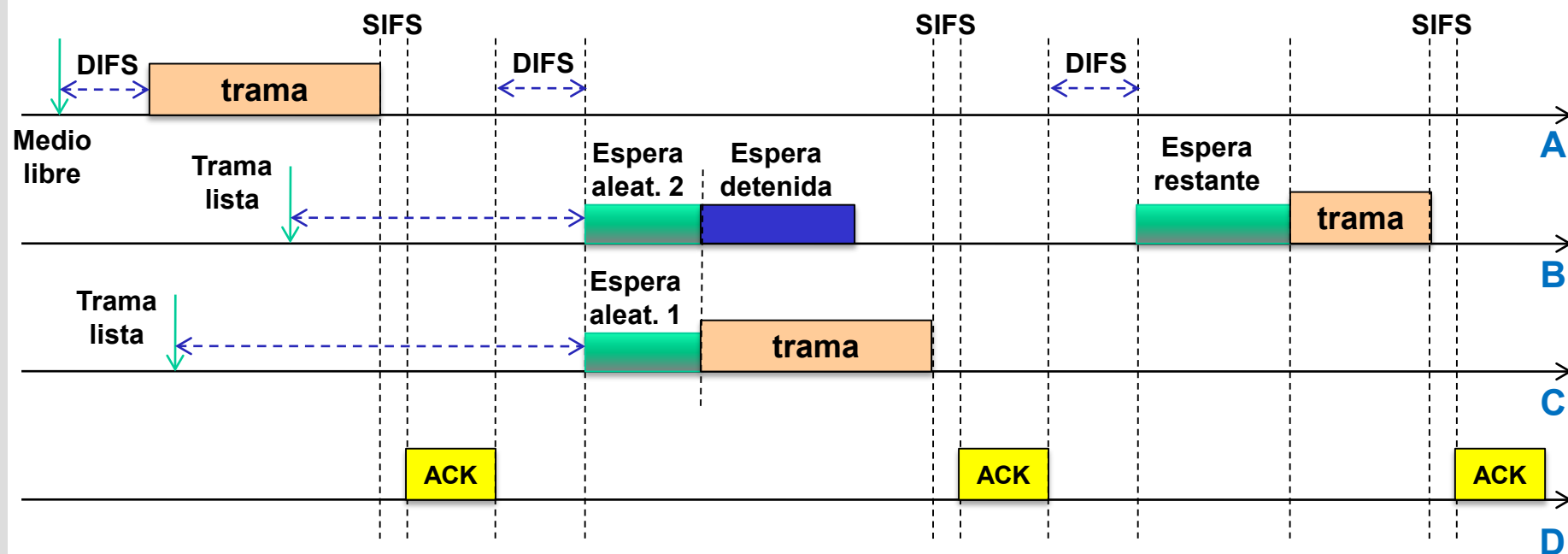
random() distribución
uniforme pseudoaleatoria
entre $[0, CW]$, donde CW es la
ventana de contienda entre
sus valores mínimo y
máximo (7 y 255)



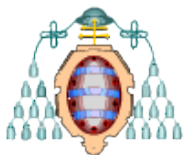
- El primer intento de transmisión con el medio ocupado sitúa la ventana a $[0, CW_{\text{MIN}}]$
- Para cada retransmisión se calcula una nueva CW
- Tras una transmisión correcta la ventana vuelve a $[0, CW_{\text{MIN}}]$



- Acceso al medio por contienda DCF



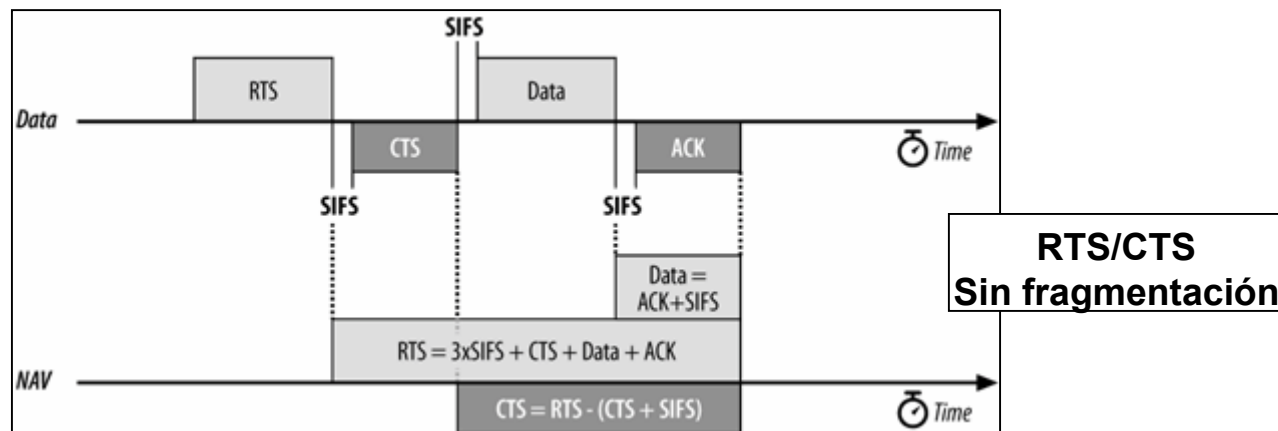




- ¿Cómo sería el cálculo del NAV?
 - Si hay más fragmentos
 - Si no hay más fragmentos

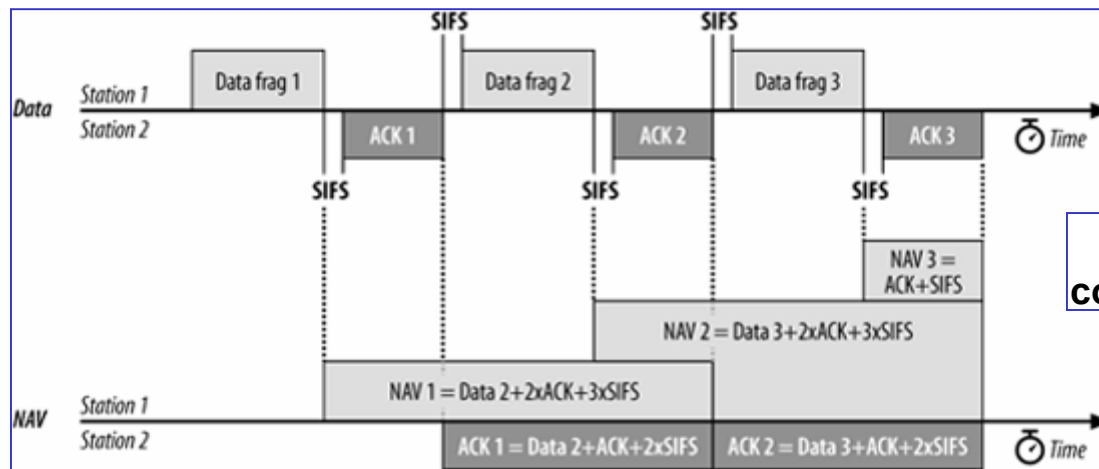
NAV en el ACK?

NAV en el fragmento?

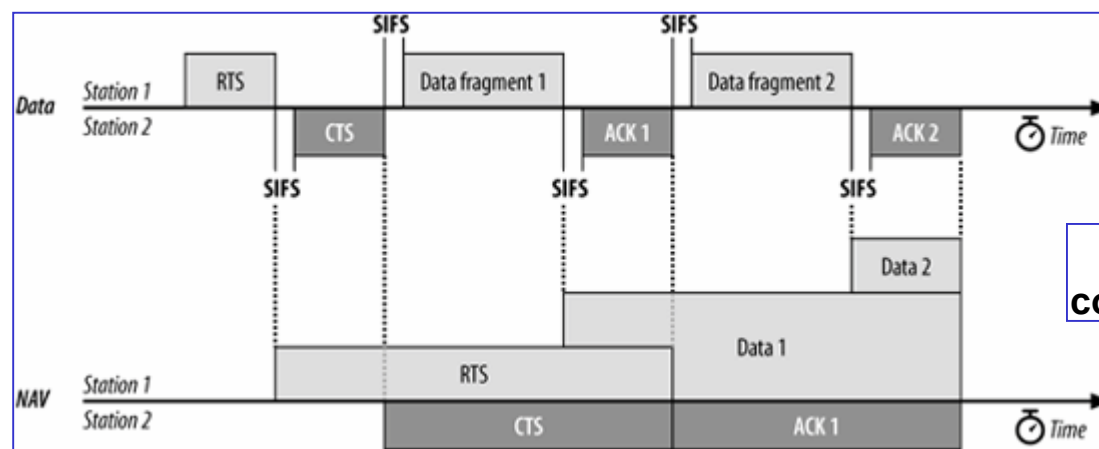




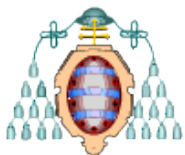
802.11: NAV con fragmentación



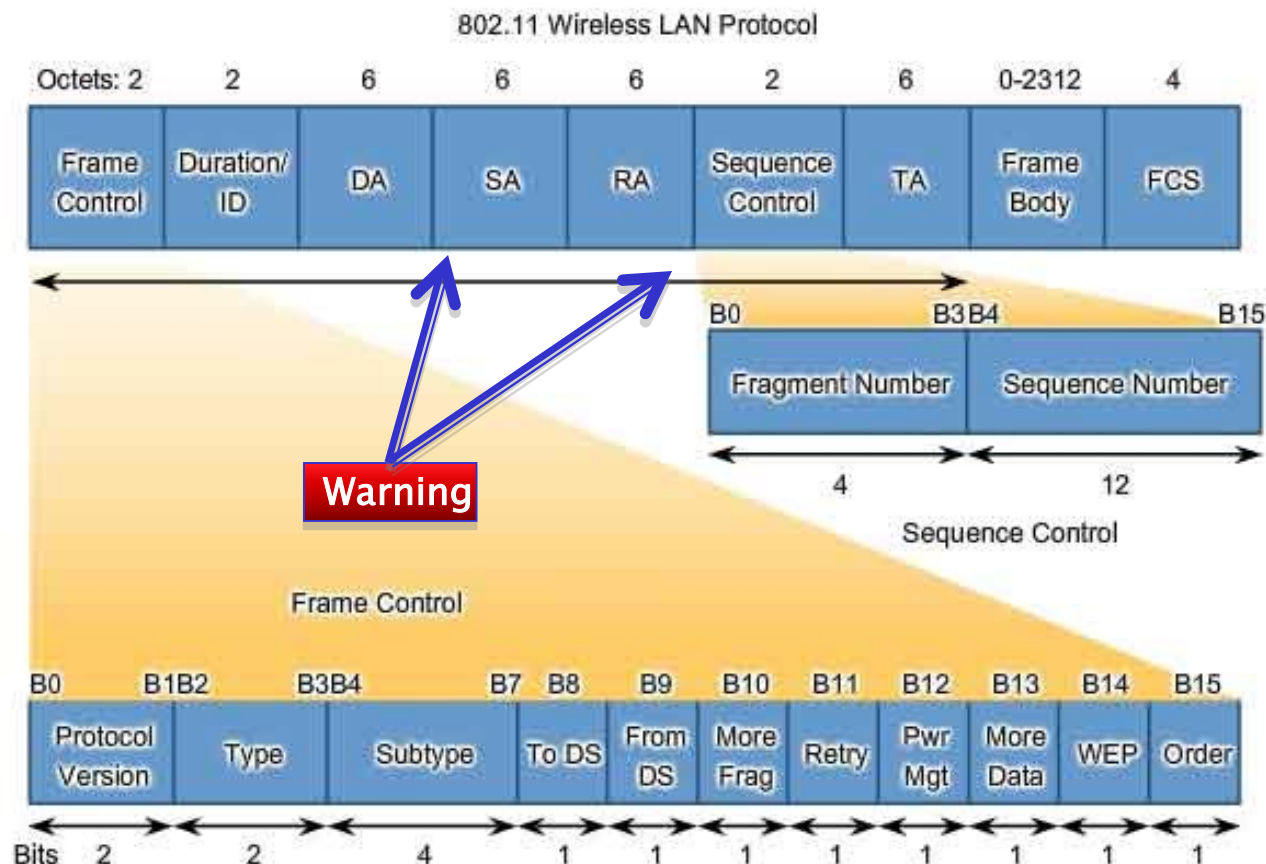
**NAV
con fragmentación**

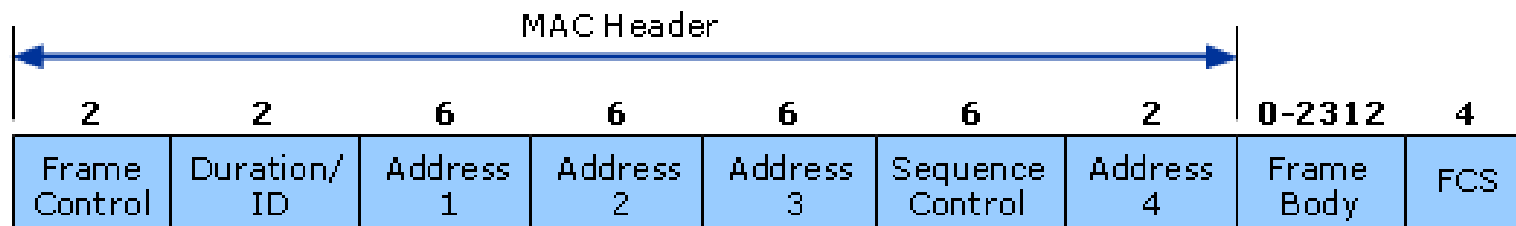
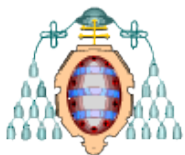


**RTS/CTS
con fragmentación**



Formato de tramas:





- Formato de tramas

- **Duración**

- DCF sirve para determinar el NAV. Número de milisegundos que se espera ocupar el canal con la transmisión actual

- **Receiver address** (1)

- Identifica que estación inalámbrica que debe procesar el mensaje. Si el destino es una estación inalámbrica RA=DA. Si no, es el interfaz del AP

- **Transmitter address** (2)

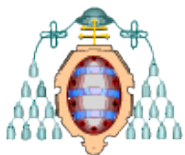
- Interfaz que transmite la trama en el medio inalámbrico

- **Destination address** (3)

- Identifica el destino final. En Ad-hoc es el BSSID

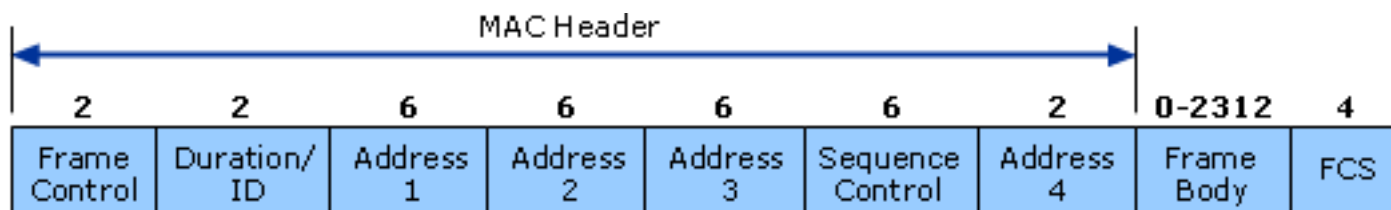
- **Source address** (4)

- Identifica la fuente de la transmisión. Cuando hay puentes (4)

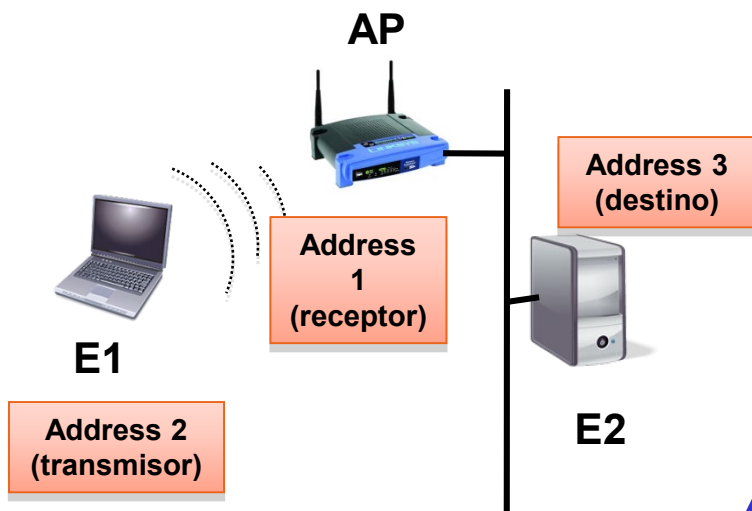


802.11: Nivel de acceso al medio

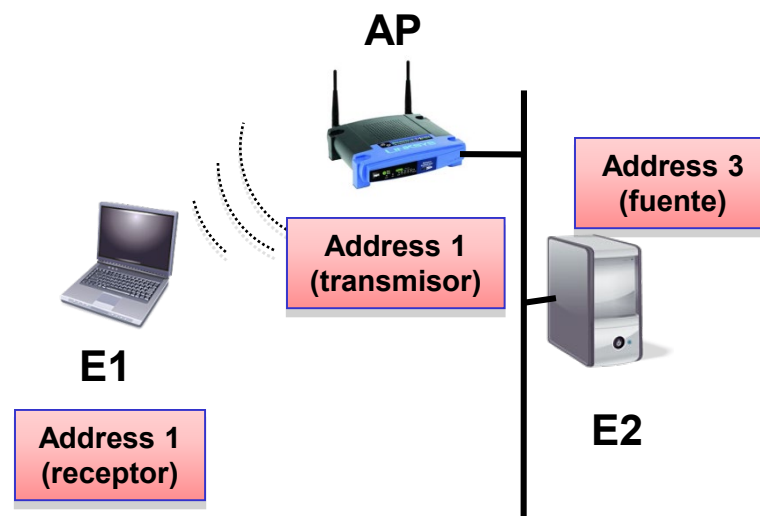
Ingeniería
Telemática

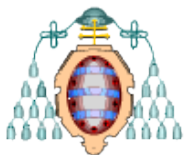


Caso: estación - AP



Caso: AP - estación





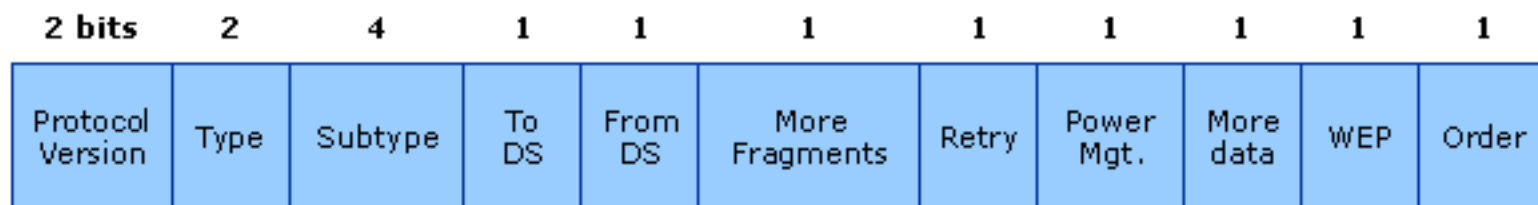
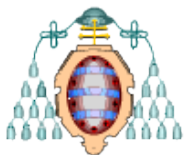
2 bits	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Protocol Version	Type	Subtype	To DS	From DS	More Fragments	Retry	Power Mgt.	More data	WEP	Order

– Formato de tramas:

- **Control de trama**

- **Versión del protocolo**
- **Tipo:** Management (00), Control (01), Data (10)
- **Subtipo:** ej. Association Request, RTS, Data
- **To DS, from DS:**

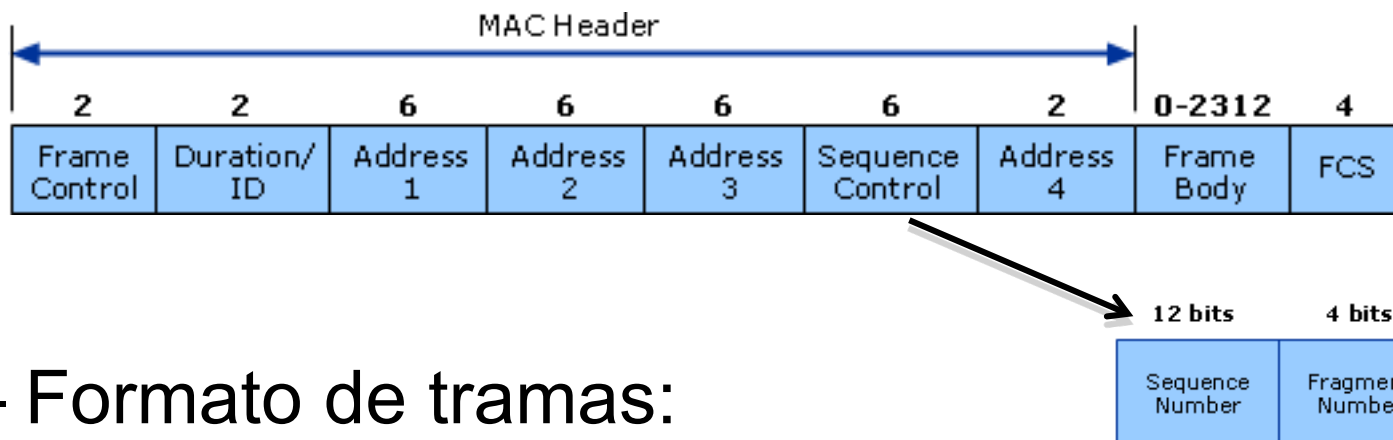
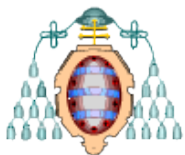
	To DS=0	To DS=1
From DS=0	MANETs	Estación en infraestructura
From DS=1	Recibidos por una estación en infraestructura	Tramas en un puente wireless



- Formato de tramas:

- **Control de trama**

- **Más fragmentos:** si el paquete de nivel superior ha sido fragmentado y quedan más fragmentos
- **Reintento:** si se está transmitiendo una trama que no fue aceptada (ACK)
- **Power Management:** se utiliza para indicar si la estación va a pasar a bajo consumo después de la transmisión de la trama actual
- **Más datos:** el AP tiene más datos buffereados para esa estación (también se utilizar para gestionar el bajo consumo)
- **WEP/Protected Frame Bit:** indica que el frame ha sido procesado criptográficamente
- **Orden:** activo si todas las tramas y los fragmentos son enviados en orden



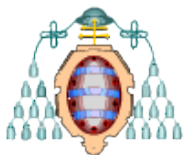
– Formato de tramas:

- **Control de secuencia**

- **Secuencia:** se incrementa en uno por cada nuevo paquete de nivel superior
- **Fragmento:** avanza cuando un paquete de nivel superior está fragmentado. En ese caso el número de secuencia permanece constante

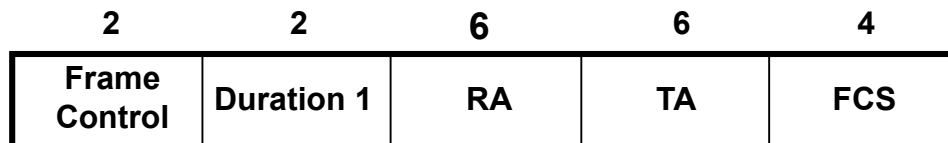
- **FCS**

- Control de errores CRC

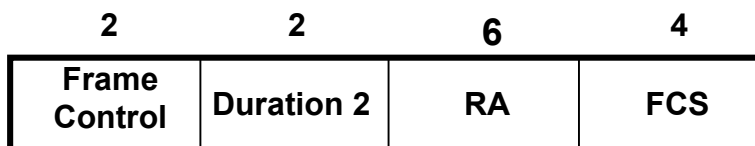


– Formato de tramas

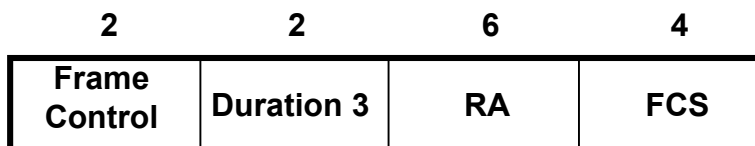
Trama RTS



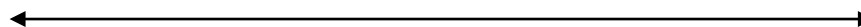
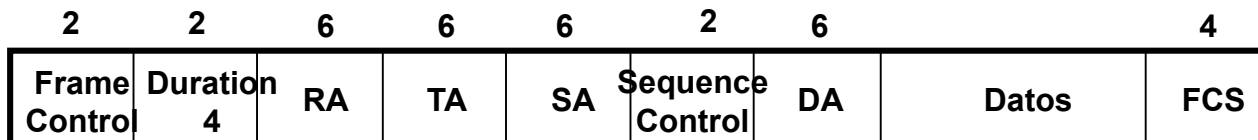
Trama CTS



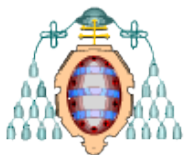
Trama ACK



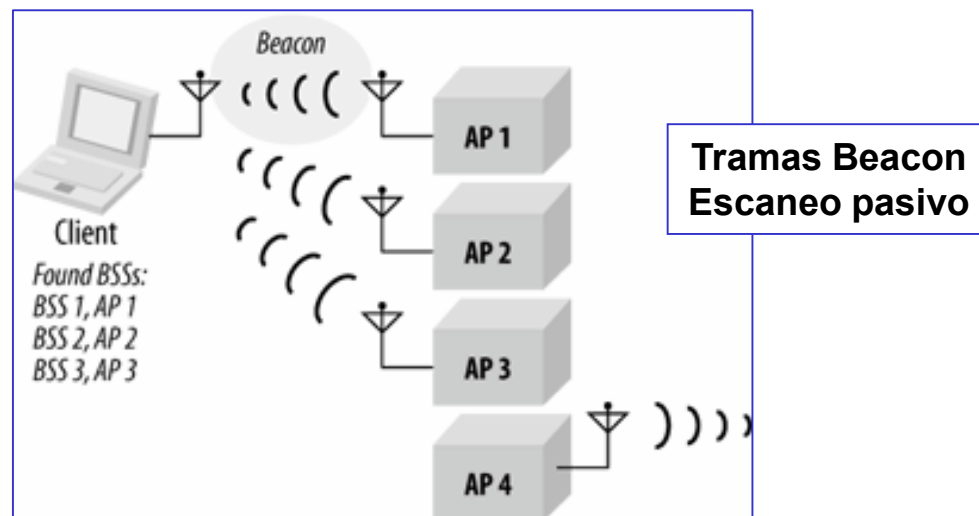
Trama Datos

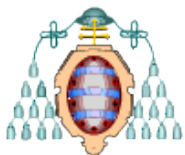


Cabecera MAC

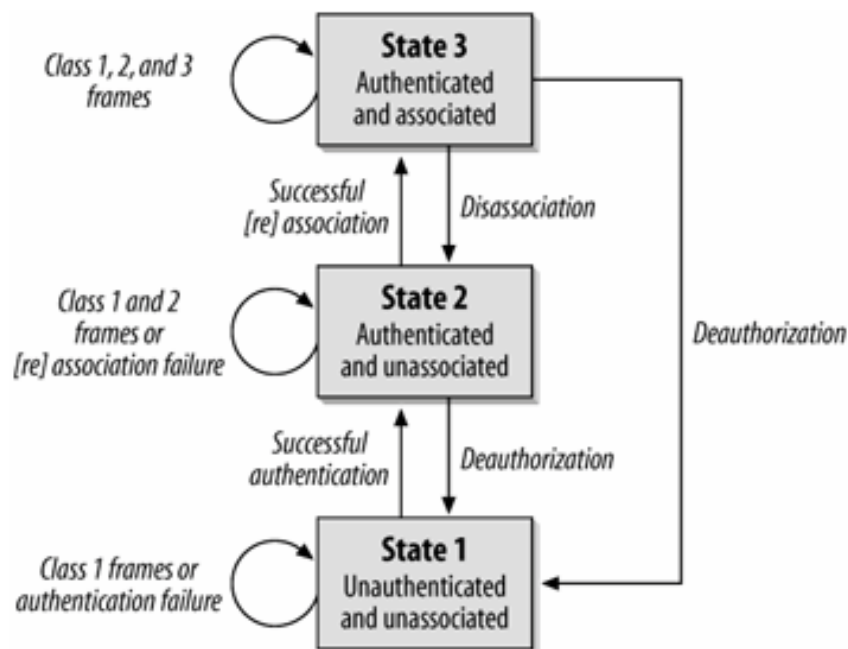


- Tramas *Beacon*
 - Transmitidas por el AP
 - Anuncian la existencia de una red
- Transmitidas a intervalos regulares
 - Estaciones móviles pueden encontrar e identificar una red
 - Ajustar parámetros de conexión

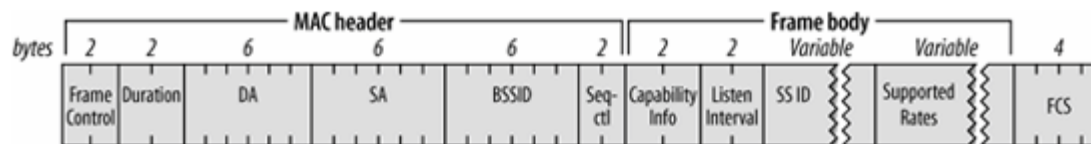




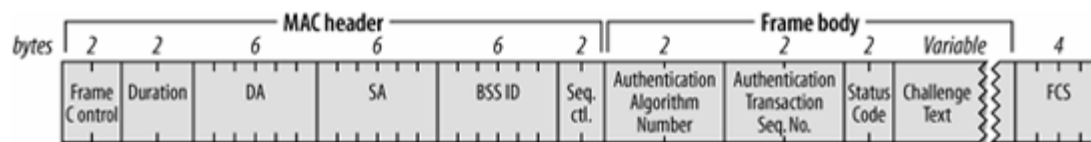
- **Estado 1**
 - Se detectó la red
- **Estado 2**
 - Se autenticó en la red
- **Estado 3**
 - Se asoció a la red y puede empezar a transmitir

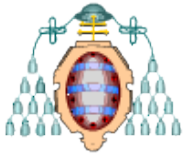


**Trama de
solicitud de
asociación**

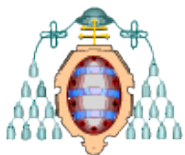


**Trama de
autenticación**



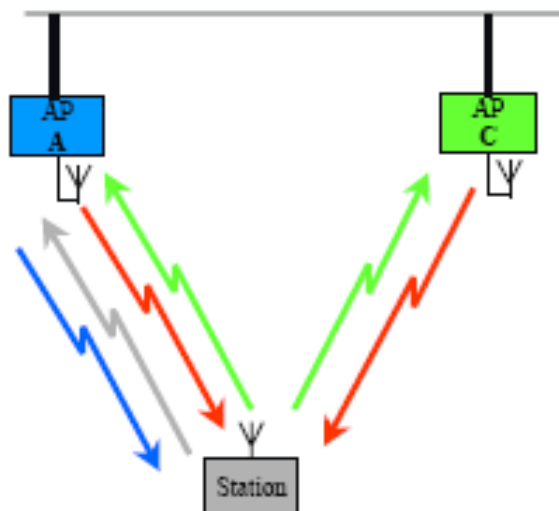


- Escaneo
 - Hay que detectar la red a la que nos queremos conectar
 - Pasivo
 - No se requiere transmisión
 - La estación se mueve por los canales esperando por tramas tipo Beacon
 - Activo
 - Para canal envía tramas esperando la respuesta de una red
 - Es más un proceso de búsqueda de una red concreta
 - Escucha el canal
 - Cuando está vacío utiliza DCF y envía una trama Probe Request
 - Si recibe respuesta procesa la trama Probe Response
- Informe de escaneo
 - Genera una lista con los BSS encontrados



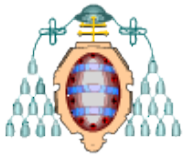
Ejemplo de escaneo activo

Ingeniería
Telemática

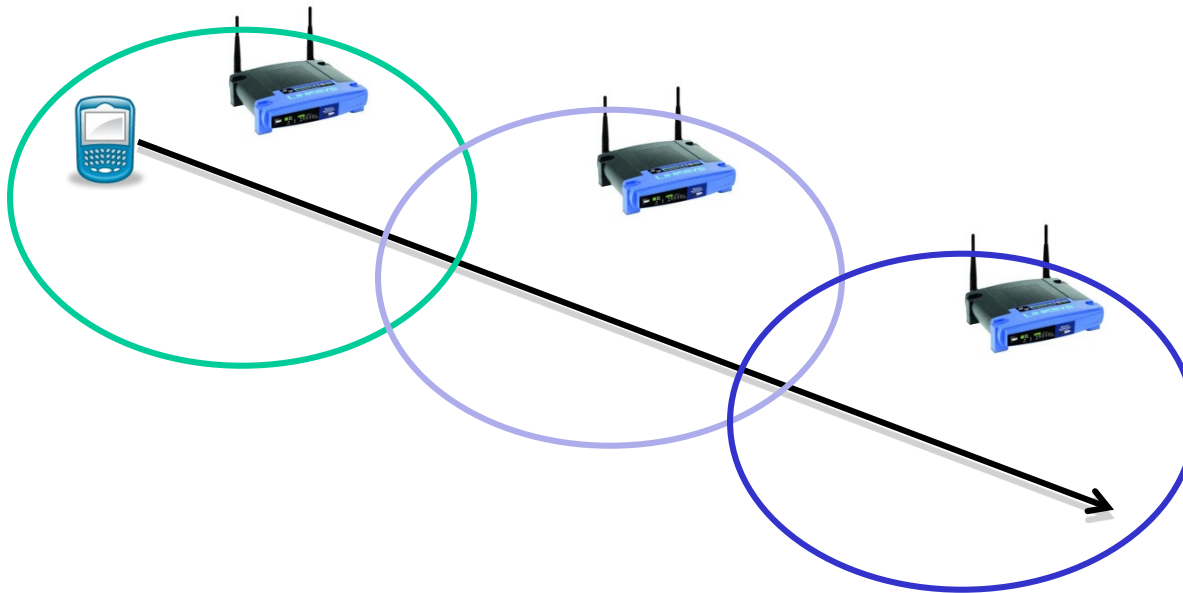


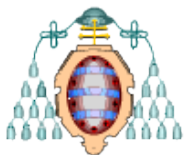
**Escaneo activo
Asociación con un
punto de acceso**

- ← STA envía Probe Request
- AP envía Probe Response
- STA selecciona el mejor AP
- ← STA envía Association Request
- Al AP seleccionado
- Si el AP es adecuado
- AP envía Association Response

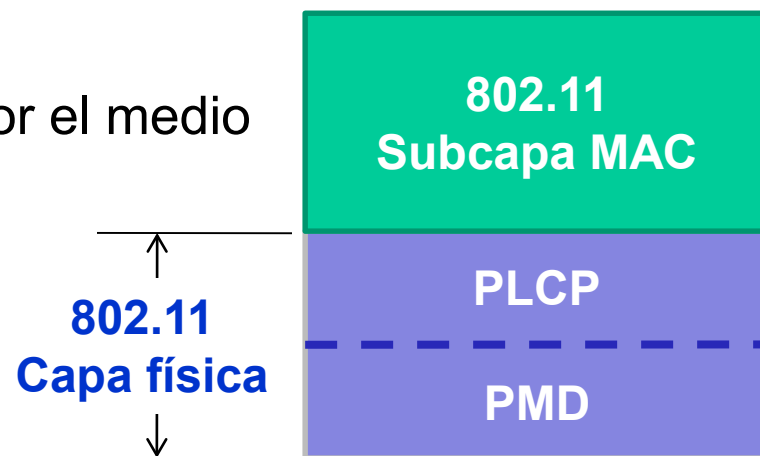


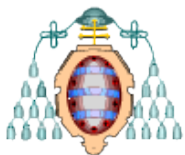
- Roaming
 - Introducido a partir de ideas de la telefonía móvil
 - No definido como tal en el estándar
 - Contempla los pasos de: escaneo, reasociación



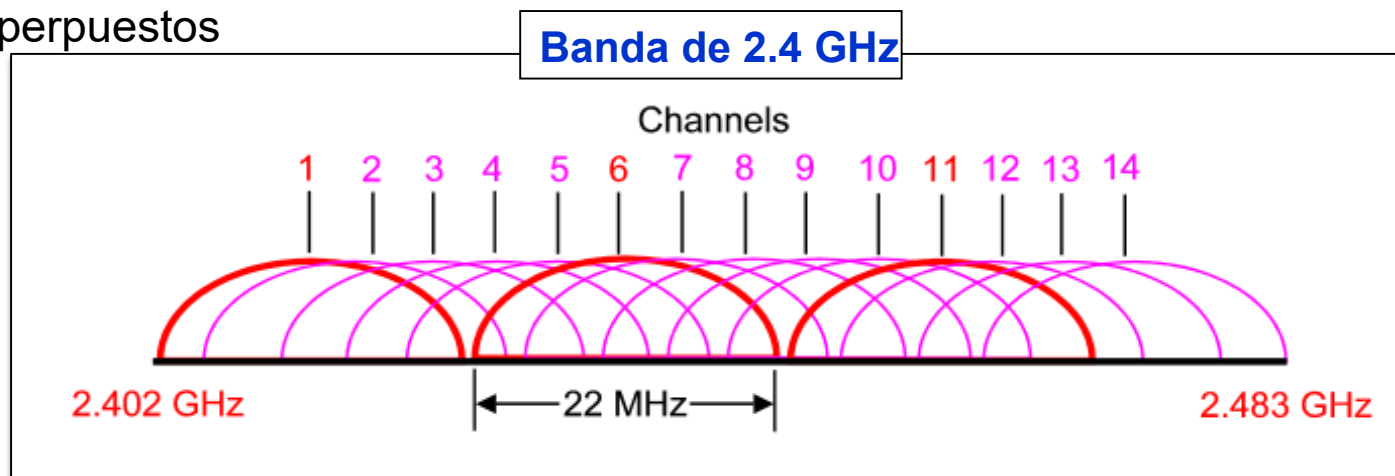


- PHY está dividida en dos subcapas
 - PLCP
 - *Physical Layer Convergence Procedure*
 - Se encarga de adaptar la capa específica del medio a la subcapa MAC
 - Añade su propia cabecera
 - PDM
 - *Physical Medium Dependent*
 - Se encarga de la transmisión por el medio
 - Existen diferentes tipos

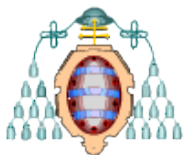




- Enlaces de radio
- Banda 2.4GHz
 - Divididos en canales de 22 MHz
 - Superpuestos

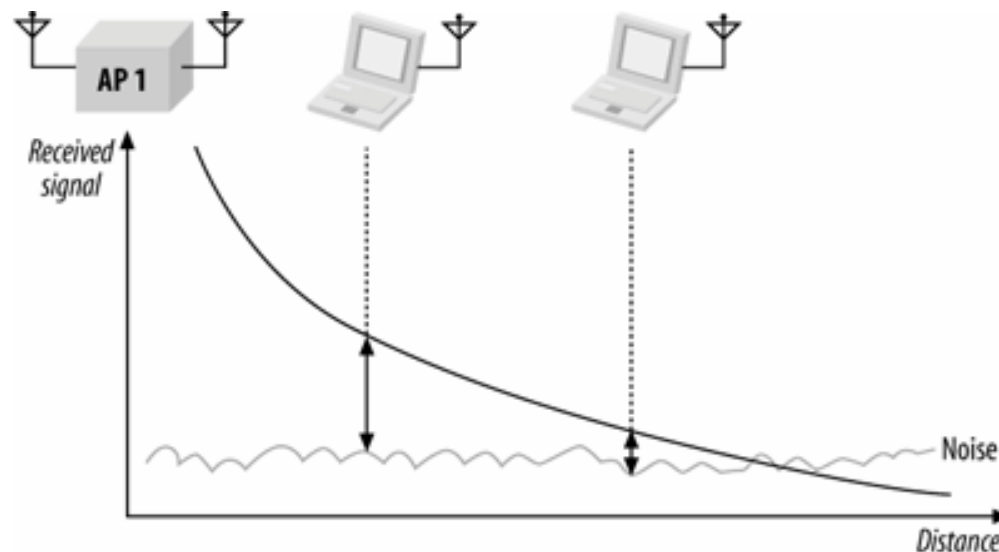
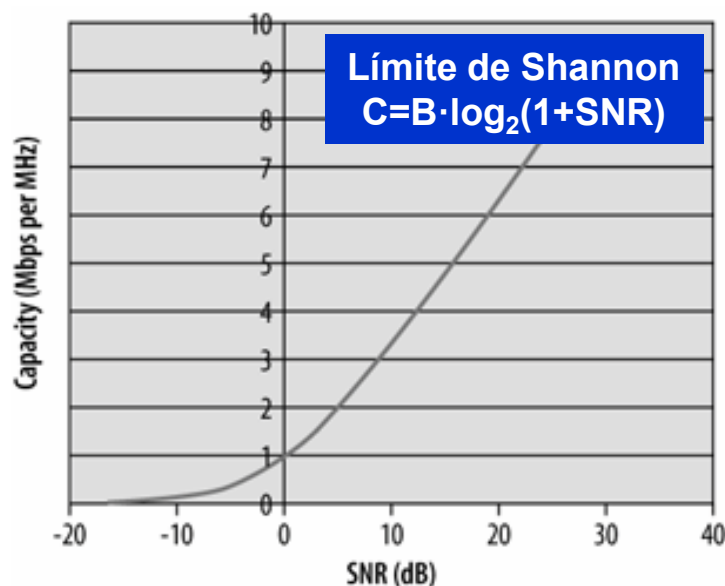


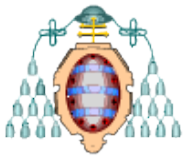
- Banda 5GHz
 - 45 canales
 - Pueden combinarse para crear canales de 40MHz o 80MHz
- Banda 6GHz
 - Soporta 60 canales de hasta 160MHz
 - WiFi6E



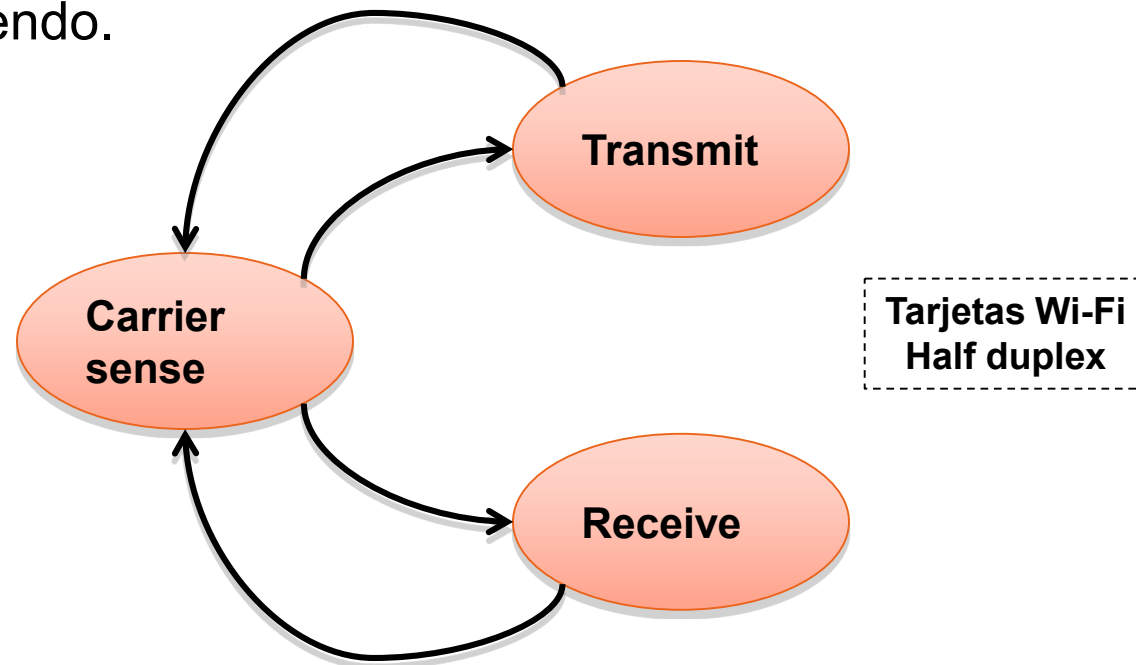
802.11: Nivel físico

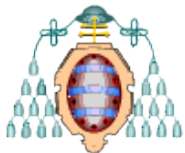
- La velocidad de transmisión depende del rango
 - Estaciones más lejanas: peor SNR
- Varios tipos de modulación
 - 802.11abg: 1Mbps hasta 54Mbps
- Modulaciones alta eficiencia
 - Más bits en un intervalo de tiempo
 - BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM





- Tres estados
 - Detectando portadora
 - Determinar si el medio está ocupado
 - Recibiendo.
 - Transmitiendo.





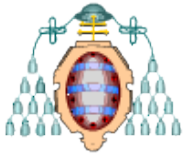
- **11b:** 2.4 GHz , modulación DSSS
 - Rates desde 1 a 11Mbps, en el mercado desde 1999
- **11a:** 5.0 GHz , modulación OFDM
 - Rates desde 6 a 54Mbps, en el mercado desde 2002
- **11g:** 2.4 GHz, modulación DSSS+OFDM (ERP)
 - Rates desde 6 a 54Mbps, en el mercado desde 2003
- **11n (WiFi 4):** 2.4-5 GHz, modulación OFDM
 - Rates desde 15 a 150Mbps, en el mercado desde 2009
- **11ac (WiFi 5):** 5 GHz, modulación OFDM
 - Rates hasta Gbps, publicación del estándar 2014
- **11ax (WiFi 6):** 2.4-5 GHz, modulación OFDMA
 - Rates hasta 9.6Gbps, publicación del estándar 2019

Ventajas de la banda 2.4 GHz PHY:

- Frecuencias más bajas
- Mejor penetración en interiores
- Menos sensible a multitrayecto
- 3 canales no superpuestos (CH1, CH6, CH11)

Ventajas de la banda 5.0 GHz PHY:

- Menos equipos en el mercado operando en esta banda
 - No microondas, no bluetooth, ...
- 8 canales no superpuestos
- Posibilidad de mayores anchos de banda



IEEE 802.11n

Ingeniería
Telemática

- Interoperabilidad con 802.11a/g
- Aumenta *throughput*
 - Velocidad de transmisión en la capa física
 - Cambios en capa física
- Aumenta velocidad útil a protocolos por encima de la capa MAC
 - Aplicaciones de usuario
 - Velocidad útil > 100Mbps
 - Reducir sobrecarga de procedimientos MAC

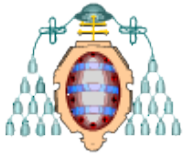
Capas
superiores

802
Subcapa LLC

802.11
Subcapa MAC

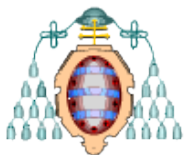
802.11
Capa física





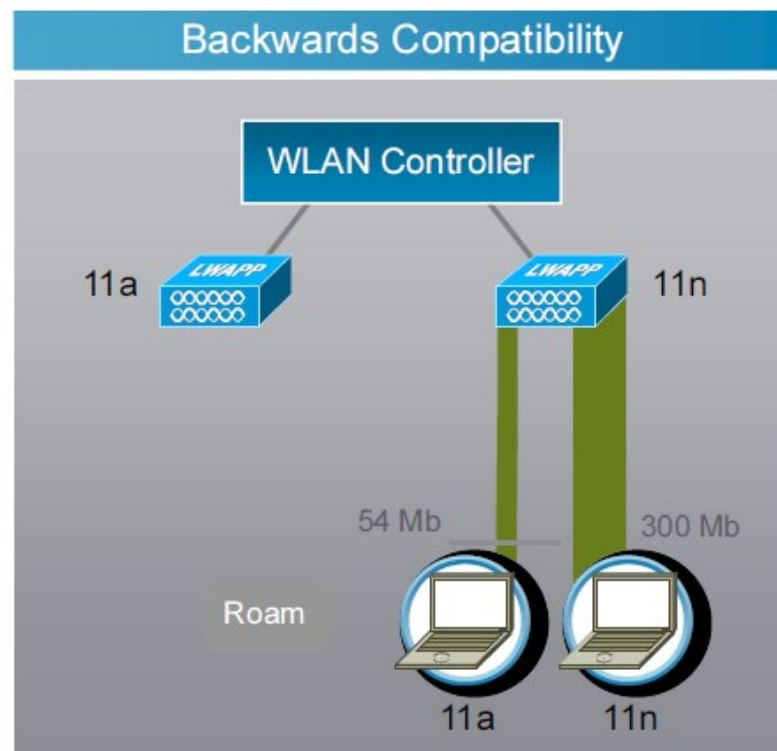
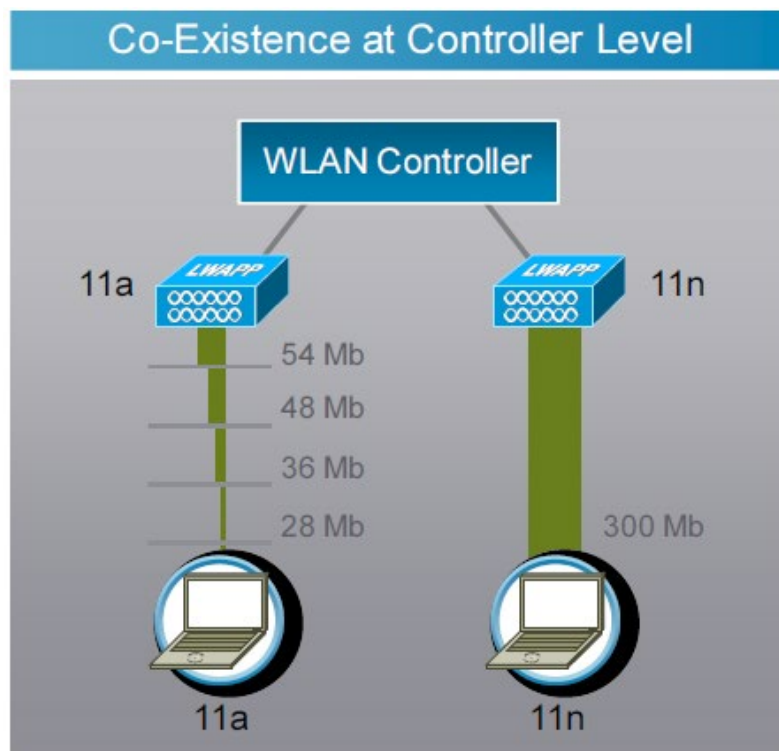
- 802.11n utiliza múltiples antenas MIMO
 - 1x1, 2x2, 3x3, 4x4
- Canales
 - 20MHz
 - 40MHz
- Bandas de frecuencia
 - 2.4 GHz
 - 5 GHz
- Concatenación de tramas en capa MAC
 - Sobrecarga repartida entre varias tramas
 - Incremento de la velocidad útil

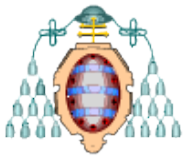




- Co-existencia de APs abg/n
- Compatibilidad de 802.11n con abg

Fuente: Cisco System Inc.

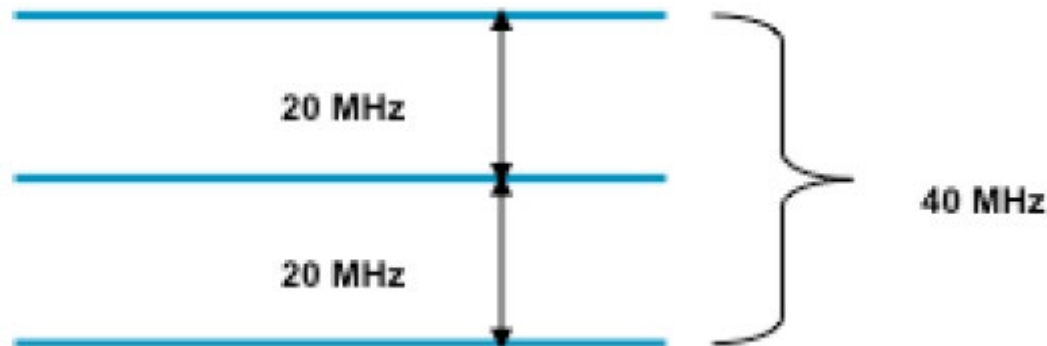


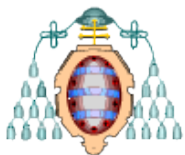


802.11n: Canales PHY

*Ingeniería
Telemática*

- 802.11n soporta canales de 20MHz y de 40MHz
 - Canales de 40MHz sólo recomendados para la banda de 5GHz
 - Constan de un canal primario y un canal secundario
 - Canal de extensión
 - Debe ser un canal adyacente
 - Por encima o por debajo del canal primario



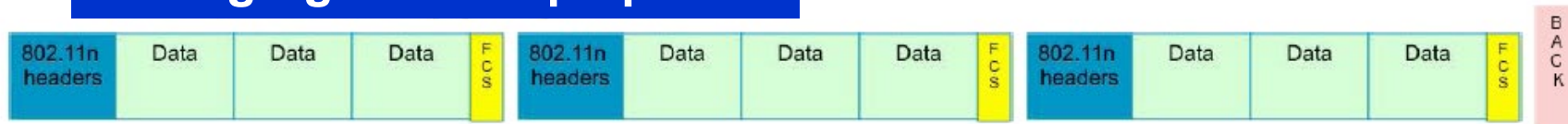


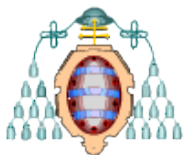
- Mecanismo llamado A-MPDU
- Agregación de paquetes en 802.11n
 - Asentimiento de bloque (BACK)
- Reduce la sobrecarga de las cabeceras

Sin agregación de paquetes



Con agregación de paquetes

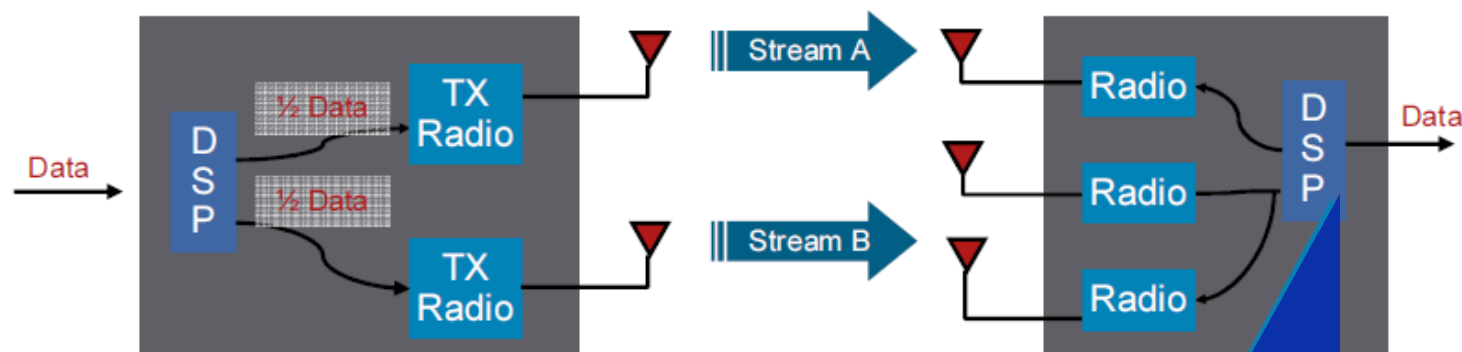




802.11n: Multiplexación espacial MIMO

Ingeniería
Telemática

Fuente: Cisco System Inc.



Los datos se dividen
en dos *streams* transmitidos
a la misma frecuencia

Reconoce los dos streams
a la misma frecuencia
Transmisores tienen
separación espacial
Tres antenas receptoras
Multipath
Procesamiento
matemático

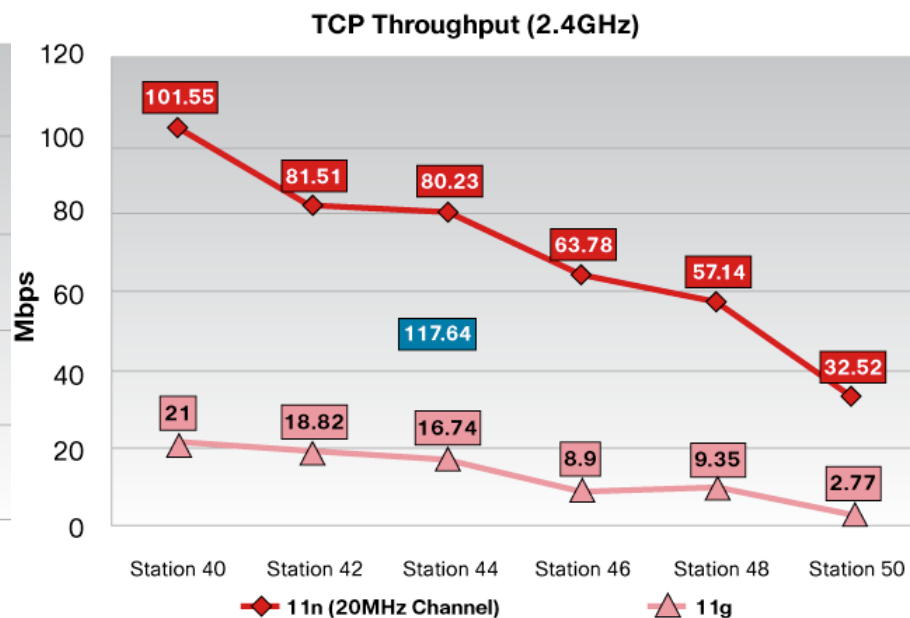
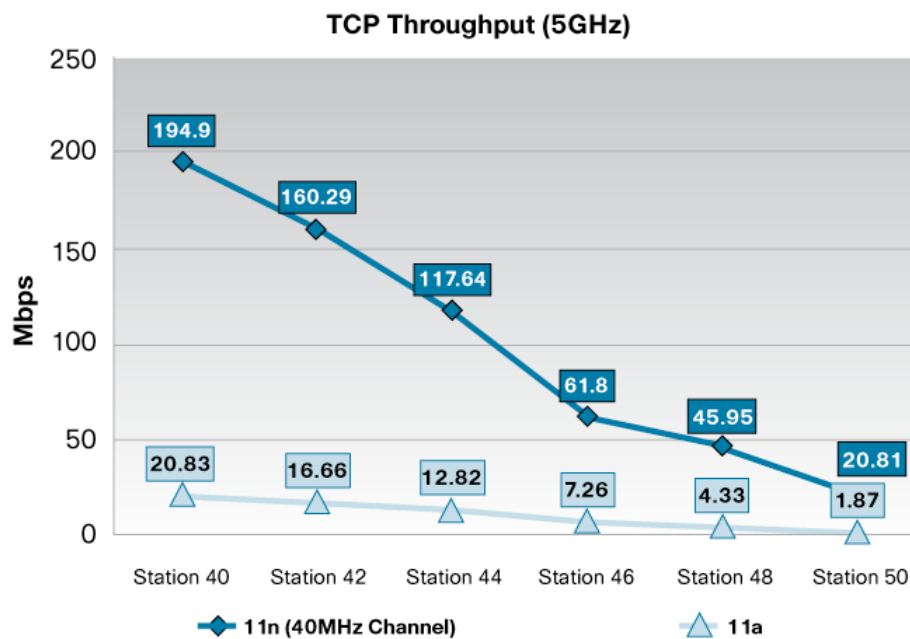
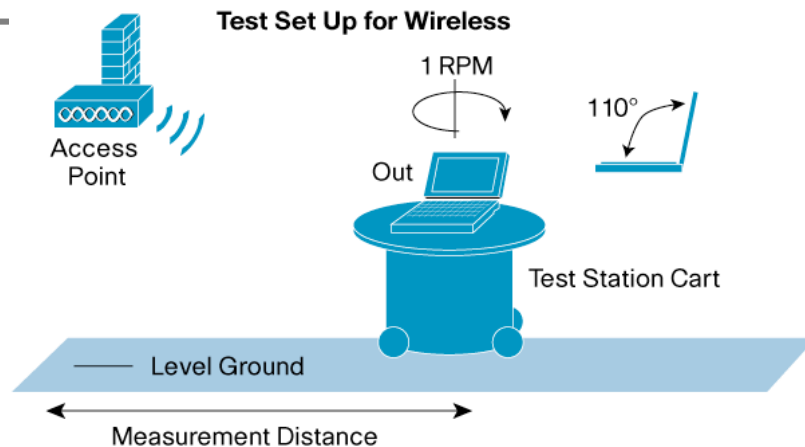


IEEE 802.11n: Test comparativo

Ingeniería
Telemática

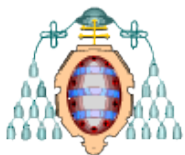
Comparación

- 802.11ag
- 802.11n



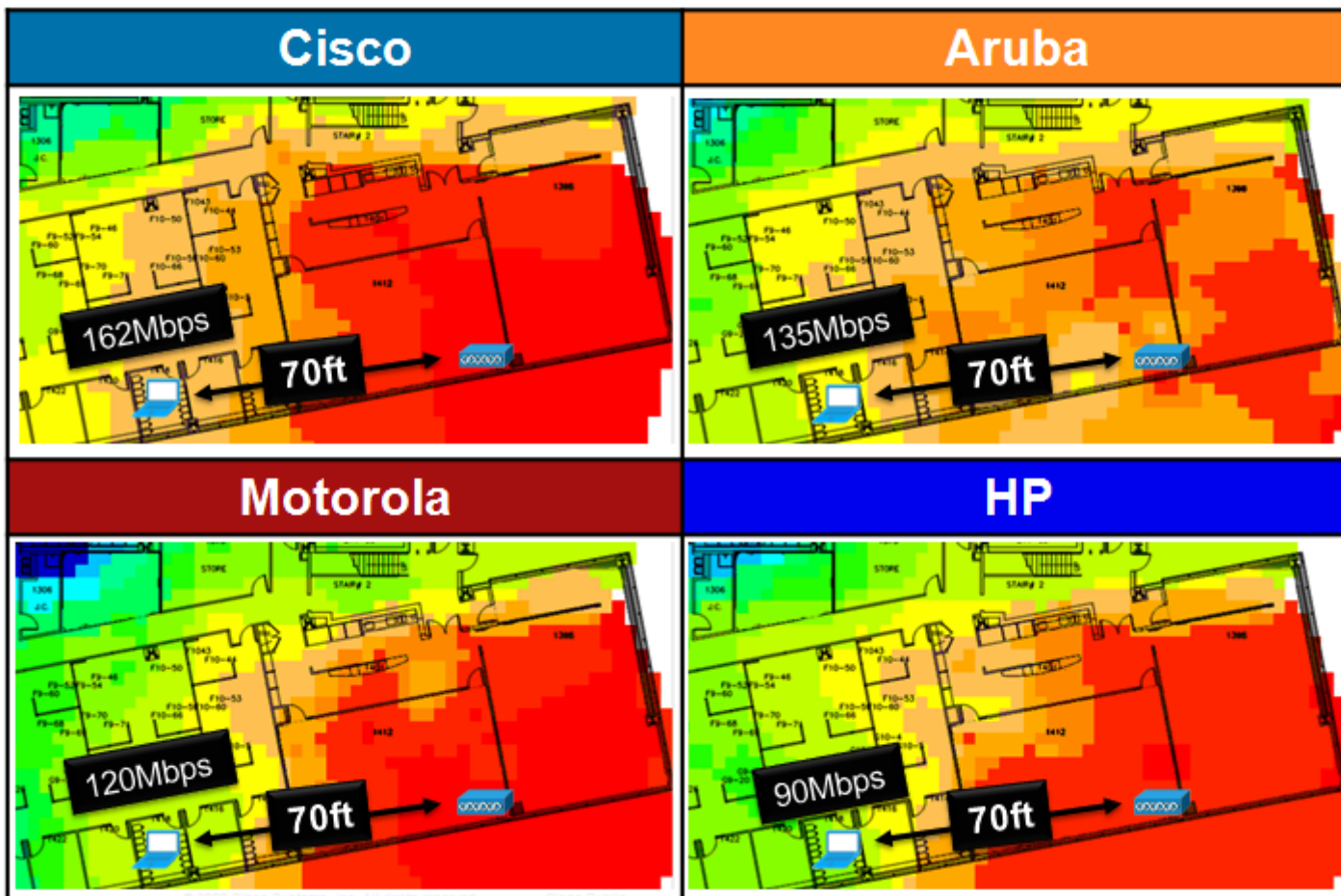
Fuente: Cysco Systems Inc.

http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns340/ns394/ns348/ns767/white_paper_c11-492743_v1.pdf

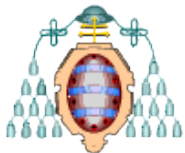


IEEE 802.11n: Test de cobertura

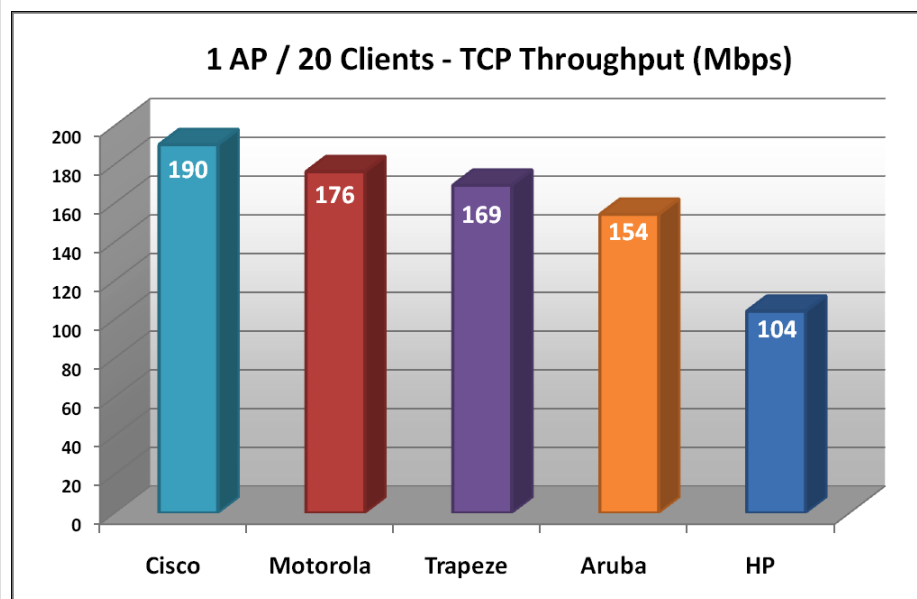
Ingeniería
Telemática



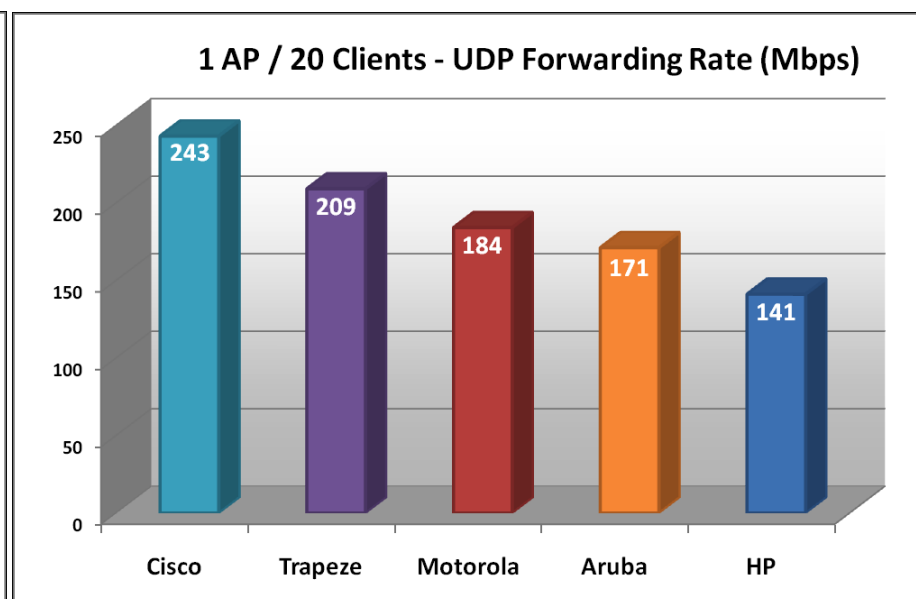
Fuente: Cysco Systems Inc.
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns340/ns394/ns348/ns767/comp_test_results_wp_c11-558406.pdf



Tráfico TCP

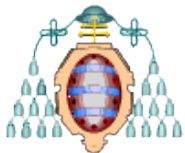


Tráfico UDP Aplicaciones de vídeo



Fuente: Cysco Systems Inc.

http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns340/ns394/ns348/ns767/comp_test_results_wp_c11-558406.pdf



- Tecnología WiFi madura
 - 802.11a/b/g: Estándares años 1999-2003
 - 802.11n: Estándar año 2009
 - 802.11ac: Estándar año 2014
 - 802.11ax: Estándar año 2019
 - Seguridad 802.11i (WPA, WPA2): 2004
- Amplia disponibilidad de equipos y fabricantes
 - Terminales, puntos de acceso
- Programas de certificación de la Alianza Wi-Fi
 - <http://www.wi-fi.org>
 - Programa de pruebas en equipos WiFi
 - Miles de productos Wi-Fi certificados
 - Wi-Fi Certified 6
 - Wi-Fi Certified ac
 - Wi-Fi Certified n



The Wi-Fi CERTIFIED logo is your only assurance that a product has met rigorous interoperability testing requirements to ensure that compatible products from different vendors will work together. Look for the Wi-Fi CERTIFIED logo with color-coded Standard Indicator Icons (SII) on product packaging, or search through our web site listing of CERTIFIED products before making a Wi-Fi purchase.

"Do not buy any equipment that isn't Wi-Fi CERTIFIED -- you will end up tossing it."



Wi-Fi CERTIFIED™ Certificate

This certificate lists the features that have successfully completed Wi-Fi Alliance interoperability testing. Learn more: www.wi-fi.org/certification/programs



*Ingeniería
Telemática*

Certification ID: WFA114311

Product Info

Date of Certification	January 27, 2022
Company	NEC Corporation
Product Name	WX5400HP
Product Model Variant	WX5400HP
Model Number	WX5400HP
Category	Routers
Sub-category	Access Point for Home or Small Office (Wireless Router)

Summary of Certifications

CLASSIFICATION	CERTIFICATION
Connectivity	2.4 GHz Spectrum Capabilities 5 GHz Spectrum Capabilities Wi-Fi CERTIFIED 6™ Wi-Fi CERTIFIED™ a Wi-Fi CERTIFIED™ ac Wi-Fi CERTIFIED™ b Wi-Fi CERTIFIED™ g Wi-Fi CERTIFIED™ n
Optimization	WMM® WMM®-Power Save Wi-Fi Agile Multiband™
Security	Protected Management Frames WPA2™-Personal 2021-01 WPA3™-Personal 2020-02 WPA™-Personal



Wi-Fi CERTIFIED™ Certificate

Certification ID: WFA114311



Ingeniería
Telemática

Role: Access Point

Page 2 of 3

Wi-Fi Components

Wi-Fi Component Operating System

Linux

Wi-Fi Component Firmware

0.1.6

RF Architecture

Bands Supported	Transmit (Tx)	Receive (Rx)
2.4 GHz	2	2

Wi-Fi Component Operating System

Linux

Wi-Fi Component Firmware

0.1.6

RF Architecture

Bands Supported	Transmit (Tx)	Receive (Rx)
5 GHz	4	4

Certifications

2.4 GHz Spectrum Capabilities

20 MHz Channel Width in 2.4 GHz

WPA2™-Personal 2021-01

WPA3™-Personal 2020-02

5 GHz Spectrum Capabilities

20 MHz Channel Width in 5 GHz

40 MHz Channel Width in 5 GHz

80 MHz Channel Width in 5 GHz

160 MHz Channel Width in 5 GHz

WPA™-Personal

Wi-Fi Agile Multiband™

Cellular Data aware

Wi-Fi CERTIFIED 6™

Protected Management Frames

WMM®

WMM®-Power Save

Legacy Power Save

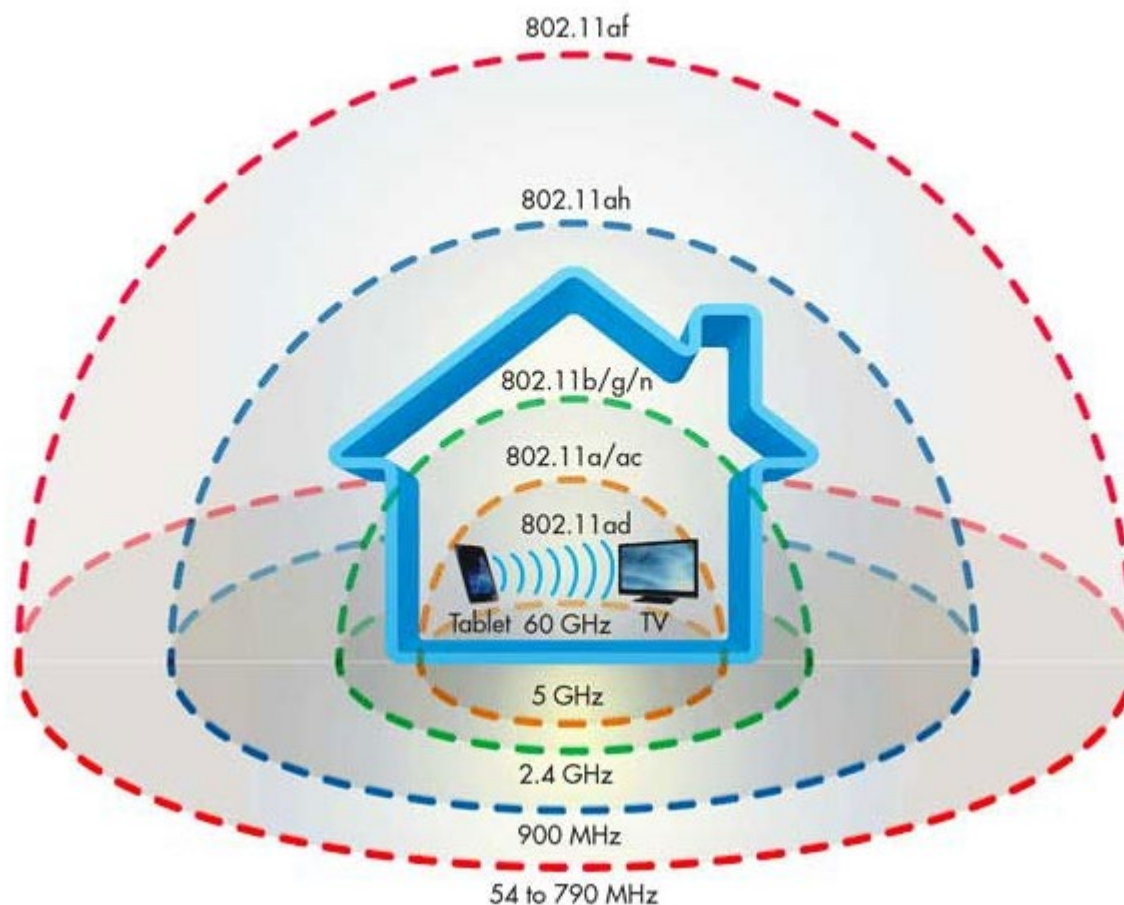
Unschedule auto PS

4 antenna support
A-MPDU with A-MSDU
Basic Trigger frame in HE MU PPDU
BSRP Trigger frame
Compressed BlockACK Rx
Compressed BlockACK Tx
DL MU-MIMO
DL OFDMA
Individual Target Wake Time

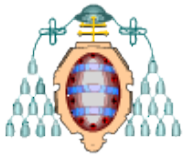


Estándares WiFi

*Ingeniería
Telemática*



<https://www.adslzone.net/2016/12/15/implica-nuevo-wifi-802-11ad-opere-60-ghz/>



- 802.11 Wireless Networks: The definitive guide
 - M.S. Gast.
 - O'Reilly Media
- Tecnologías de banda ancha y convergencia de redes
 - M. Alvarez-Campana et al.
 - Ministerio de Industria, Turismo y Comercio
- Cisco System Inc.
 - www.cisco.com

