

Formación Profesional en CePETel 2022

Desde la Secretaría Técnica del Sindicato CePETel convocamos a participar en el siguiente curso de formación profesional:

Redes WLAN y redes celulares Indoor

Clases: 8 de 3hs c/u de 18:00 a 21:00hs.

Días que se cursa: los días martes 19 y 26 de abril; 3, 10, 17, 24 y 31 de mayo; y 7 de junio.

Modalidad: a distancia (requiere conectarse a la plataforma Zoom en los días y horarios indicados precedentemente).

Docente: Augusto Papagno

La capacitación es:

- Sin cargo para afiliados y su grupo familiar directo.
- Sin cargo para encuadrados con convenio CePETel.
- Con cargo al universo no contemplado en los anteriores.

Informes: enviar correo a tecnico@cepotel.org.ar

Inscripción (hasta el 16 de abril): ingresar al formulario (se recomienda realizar el registro por medio de una cuenta de correo personal y **no utilizar dispositivos de la empresa para acceder al link**).

<https://forms.gle/uPwXcX1r2pyUMAKaA>

Objetivos

Que los participantes una vez finalizado este curso:

- Posean una visión global de las Redes WLAN y Redes Celulares Indoor.
- Conozcan los aspectos tecnológicos de estas redes.
- Sepan las características principales de las recomendaciones de estas redes.
- Conozcan lo principal del relevamiento de sitio y diseño de estas redes.
- Tengan las bases y las herramientas suficientes para desempeñarse mejor y más activamente en sus respectivas áreas de trabajo y/o en la interacción con otras áreas.

Temario:

1.- Concepto de red inalámbrica de área local (WLAN)

* ¿Qué es WiFi?

Ing. Daniel Herrero – Secretario Técnico – CDC

- * WiFi: ventajas y desventajas
- * Problemas principales de WiFi
- * WiFi es omnipresente, ¿por qué?

2.- Tipos de dispositivos en una WAN

- * Access Point, Station, Controlador.
- * Modos de operación

3.- WiFi: IEEE y Wifi Alliance

- * Funciones de cada organismo

4.- Estándares y Extensiones

- * Principales estándares de IEEE 802.11
- * WiFi: estándares y velocidad
- * 802.11 AC
- * 802.11 AX (WiFi 6)
- * Terminología e identificadores
- * Enmiendas y extensiones: 802.11i, 802.11e, 802.11u, 802.11r, 802.11k, 802.11v
- * WiFiCertifiedVoiceProgram

5.- La capa MAC y su evolución

- * Control de acceso al medio

6.- Problemática de los nodos ocultos

- * Factores que la causan
- * Mitigar los nodos ocultos

7.- Calidad de servicio

- * 802.11e Qos
- * Enhanced Distributed Channel Access
- * Hybrid Coordinated Channel Access
- * WMM (Wireless MultiMedia)

8.- Administración de energía

- * Legacy
- * Alternative Power Save Delivery (APSD)

9.- Nociones básicas de propagación

- * Introducción a RF: definiciones básicas, decibel
- * IntentionalRadiator y EIRP
- * Tipos de antenas
- * Atenuación en el espacio libre
- * Asignaciones de canales: 2,4 GHz y 5 GHz

10.- Interferencia y selección automática del canal

- * Causas principales: co-canal, fuentes no WiFi y canal adyacente
- * Selección automática del canal: lógica, factores para la elección, open WRT

11.- OFDM

- * Ventajas y desventajas

Ing. Daniel Herrero – Secretario Técnico – CDC

- * Modulación adaptativa y bit rate: eficiente vs. robusta

12.- MIMO

- * Características principales
- * MultiUser MIMO
- * Access Point
- * Multipath
- * SISO
- * SU-MIMO
- * MU con uno o más de un stream por dispositivo

13.- Opciones para despliegues In-Building

- * DAS, DRS y Small Cells
- * Distributed Antenna Systems
- * Distributed Radio Systems
- * Ventajas y desventajas de cada alternativa

14.- Small Cells

- * Características principales
- * Ventajas y desventajas
- * Comparación de variantes

15.- BDA – Bi-Directional Amplifier

- * Diseño para cobertura y para capacidad
- * Relevamiento de sitio – Mapa de calor
- * Diseño predictivo

16.- Softwares de aplicación

- * WiFi Info View, Acrylic WiFi, Aerohive, otros

17.- Trabajo Práctico (optativo)

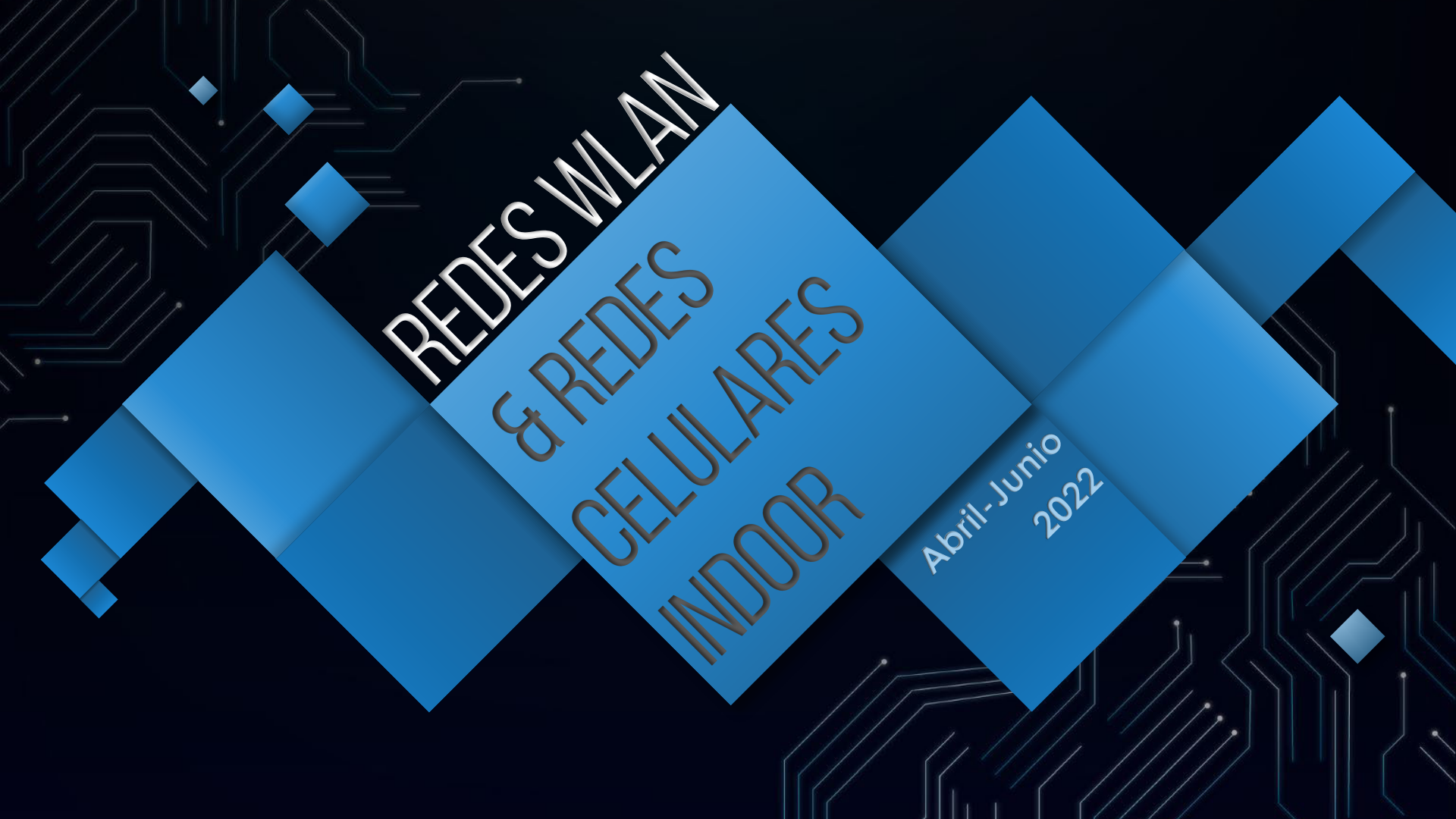
- * Mediciones de cobertura, interferencia y ancho de banda
- * Configuración de APs
- * Mapas de calor
- * Revisión grupal de los resultados de los TPs

Acerca del docente

Augusto Papagnoes Ingeniero en Electrónica de la Universidad Tecnológica Nacional. Es docente de la Universidad Tecnológica Nacional en la Diplomatura en Redes y Servicios en el Módulo Calidad de Servicio y Calidad de Experiencia. En la Universidad Nacional de Avellaneda es Administrador de Activos informáticos en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Software. También es capacitador profesional en distintas tecnologías: Redes WiFi y diseño de redes celulares Indoor, IPTV & OTT, y Calidad de Servicio y Calidad de Experiencia- IPv6. Tiene experiencia en: Creativamente como Diseñador Multimedial, Diseño Web Responsive, Soporte y hosting Diseño Ux/UI & Apps mobile Naming, Branding & diseño de Isologotipos Modelado y texturizado 3D Motion Graphics, VFX & Stop Motion; en Go2Future es Chief Product Officer & Brand Designer; y también en Ux/UI & Diseño Web Desarrollo de producto Gestión de Marca e imagen institucional Publicidad, edición y postproducción de video.

Ing. Daniel Herrero – Secretario Técnico – CDC

<http://www.cepetel.org.ar> ✉ tecnico@cepetel.org.ar 📍 Rocamora 4029 (CABA) ☎ (+54 11)35323201



REDES WLAN
& REDES
CELULARES
INDOOR

Abril-Junio
2022



**BUENAS
TARDES**

CePETel

Augusto Papagno

GLOSARIO

General

- ◆ IEEE: **I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronics **E**ngineers
- ◆ IoT: **I**nternet **o**f **T**hings
- ◆ IP: **I**nternet **P**rotocol
- ◆ ISO: **I**nternational **O**rganization for **S**tandardization
- ◆ MAC: **M**edia **A**ccess **C**ontrol
- ◆ OSI: **O**pen **S**ystems **I**nterconnection model
- ◆ QoS: **Q**uality **o**f **S**ervice
- ◆ TCP: **T**ransfer **C**ontrol **P**rotocol
- ◆ VoIP: **V**oice **o**ver **I**nternet **P**rotocol
- ◆ V²oIP: **V**oice and **V**ideo **o**ver **I**nternet **P**rotocol

GLOSARIO

WiFi

- ◆ AES: **A**dvanced **E**ncryption **S**tandard
- ◆ AP: **A**ccess **P**oint
- ◆ APSD: **A**lternative **P**ower **S**ave **D**elivery
- ◆ BSS: **B**asic **S**ervice **S**et
- ◆ BSSID: **B**asic **S**ervice **S**et **I**Dentifier
- ◆ ESS: **E**xtended **S**ervice **S**et
- ◆ ESSID: **E**xtended **S**ervice **S**et **I**Dentifier
- ◆ IBSS: **I**ndependent **B**asic **S**ervice **S**et
- ◆ OBSS: **O**verlapping **B**asic **S**ervice **S**et
- ◆ RSSI: **R**eceived **S**ignal **S**trength **I**ndicator

GLOSARIO

WiFi

- ◆ SSID: **S**ervice **S**et **I**dentifier
- ◆ STA: **S**Tation (cliente WiFi)
- ◆ TWT: **T**arget **W**akeup **T**ime
- ◆ WECA: **W**ireless **E**thernet **C**ompatibility **A**lliance
- ◆ WEP: **W**ired **E**quivalent **P**rivacy
- ◆ WFA: **W**iFi **A**lliance (ex Wireless Ethernet Compatibility Alliance)
- ◆ WLAN: **W**ireless **L**ocal **A**rea **N**etwork
- ◆ WMAN: **W**ireless **M**etropolitan **A**rea **N**etwork
- ◆ WMM: **W**iFi **M**ulti**M**edia
- ◆ WNA: **W**ireless **N**etwork **A**dapter
- ◆ WPA: **W**iFi **P**rotected **A**ccess
- ◆ WPAN: **W**ireless **P**ersonal **A**rea **N**etwork
- ◆ WWAN: **W**ireless **W**ide **A**rea **N**etwork

GLOSARIO

WiFi – Acceso al medio

- ◆ ACS: **A**utomatic **C**hannel **S**election
- ◆ BOT: **B**ack**O**ff **T**imer
- ◆ CAP: **C**ontrolled **A**ccess **P**hase
- ◆ CSMA/CA: **C**arrier-**S**ense **M**ultiple **A**ccess/**C**ollision **A**voidance
- ◆ CSMA/CD: **C**arrier-**S**ense **M**ultiple **A**ccess/**C**ollision **D**etection
- ◆ DCF: **D**istributed **C**oordination **F**unction
- ◆ DIFS: **D**istributed **C**oordination **F**unction **I**nter**F**rame **S**pace
- ◆ EDCA: **E**nhanced **D**istributed

Channel **A**ccess

- ◆ HCCA: Hibrid **C**oordinated **C**hannel **A**ccess
- ◆ IFS: **I**nter**F**rame **S**pace
- ◆ LBT: **L**isten **B**efore **T**alk
- ◆ MIMO: **M**ultiple **I**n - **M**ultiple **O**ut
- ◆ MU-MIMO: **M**ulti **U**ser **M**ultiple **I**n - **M**ultiple **O**ut
- ◆ RU: **R**esource **U**nit
- ◆ SU-MIMO: **S**ingle **U**ser **M**ultiple **I**n - **M**ultiple **O**ut
- ◆ SIFS: **S**hort **I**nter**F**rame **S**pace

GLOSARIO

Radio

- ◆ AEL: **A**tenuación en el **E**spacio **L**ibre
- ◆ BPSK: **B**inary **P**hase **S**hift **K**eying
- ◆ DSSS: **D**irect **S**equence **S**pread **S**pectrum
- ◆ EIRP: **E**quivalent **I**sotropic **R**adiated **P**ower
- ◆ FSPL: **F**ree-space **P**ath loss
- ◆ FHSS: **F**requency-**H**opping **S**pread **S**pectrum
- ◆ GI: **G**uard **I**nterval
- ◆ HT-OFDM: **H**igher **T**hroughput **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing
- ◆ HR-DSSS **H**igh-**R**ate **D**irect **S**equence **S**pread **S**pectrum
- ◆ MCS: **M**odulation and **C**oding **S**cheme
- ◆ OFDM: **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing
- ◆ OFDMA: **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiple **A**ccess
- ◆ QAM: **Q**uadrature **A**mplitude **M**odulation
- ◆ QPSK: **Q**uadrature **P**hase **S**hift **K**eying
- ◆ SNR: **S**ignal **N**oise **R**atio
- ◆ TDD: **T**ime **D**ivision **D**uplex
- ◆ VHT-OFDM: **V**ery **H**igh **T**hroughput **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing

GLOSARIO

Indoor

- ◆ BDA: **B**i-**D**irectional **A**mplifier
- ◆ CPRI: **C**ommon **P**ublic **R**adio **I**nterface
- ◆ DAS: **D**istributed **A**ntenna **S**ystems
- ◆ DRS: **D**istributed **R**adio **S**ystems
- ◆ RAU: **R**emote **A**ntenna **U**nits

Wi-Fi
IEEE 802.11
Introducción



CONCEPTO DE RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL

WxAN

Distintos tipos de redes inalámbricas

WPAN

- ✓ Bluetooth
- ✓ NFC
- ✓ ZWave
- ✓ ZigBee

30-50 m

WLAN

- ✓ Wi-Fi

100 m

WMAN

- ✓ WiMax

5 km

WWAN

- ✓ GSM
- ✓ CDMA
- ✓ HSPA
- ✓ LTE
- ✓ 5G
- ✓ Etc...

15 km

¿QUÉ ES WiFi?

- ◆ Tecnología de radio definida por el **IEEE** como un equivalente inalámbrico de las redes Ethernet IEEE 802.3.
- ◆ La versión inicial, 802.11, se publicó en 1997.
- ◆ Fue la primer tecnología de WLAN que logró una adopción masiva por parte de los consumidores.

¿UN MUNDO SIN WiFi?

En la actualidad es difícil encontrar un lugar público sin servicio WiFi.

Es el principal canal de conectividad de muchos dispositivos.



Una vida sin cables

- Relativamente **económica**.
- En la actualidad, es un estándar de facto, con amplio soporte en dispositivos e infraestructura en **lugares públicos**.
- **Fácil configuración** y despliegue.
- Las redes **pueden crecer** fácilmente.
- Incluye soporte de **seguridad** inalámbrica.
- Estándares del IEEE y en **continuo desarrollo**.
- Alta tasa de transferencia.



No todo lo que brilla es oro

- **Limitado** espectro de RF disponible.
- Bandas de frecuencias altas (2.4 GHz y 5/6 GHz) , por lo tanto con mucha **atenuación** por obstrucción y en el espacio libre.
- **Interferencia** de otros dispositivos (teléfonos inalámbricos, hornos microondas, etc...).
- **Consumo de energía** relativamente alto → Clara desventajas en dispositivos móviles.
- La **seguridad** puede ser **VULNERADA**.
- La performance alcanzada **depende** mucho de las características **de los dispositivos**.
- El alcance de un único AP es limitado.

PROBLEMAS PRINCIPALES



Seguridad

Vulnerar una red WiFi es relativamente sencillo en el peor de los casos (sin seguridad o WEP) y técnicamente posible en el mejor de ellos.



Compatibilidad

No todas las variantes de 802.11x son compatibles entre sí, limitando la interoperabilidad entre dispositivos.

Ej: Un AP 802.11a no puede dar servicio a un cliente 802.11b (distintas bandas)

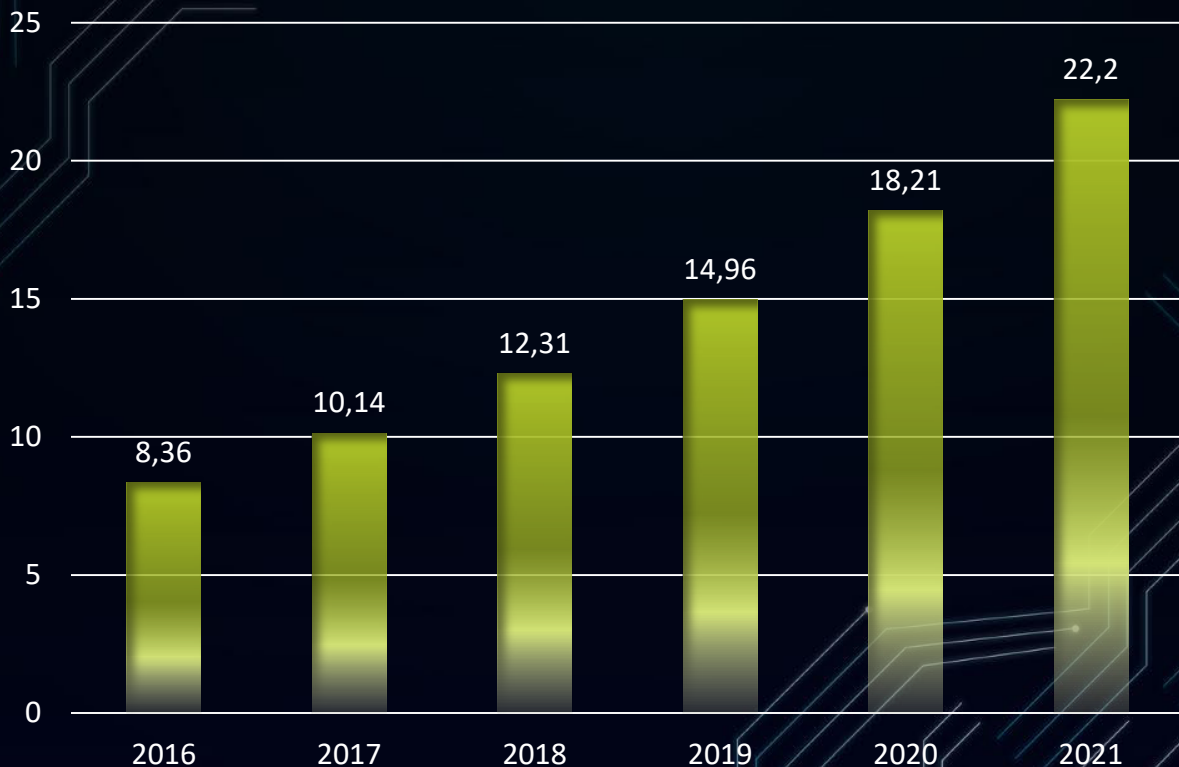


Tasación

Las normas contemplan los aspectos técnicos pero no los monetarios: No hay soporte nativo para tasación.

WIFI SE ESTÁ VOLVIENDO OMNIPRESENTE

Cantidad mundial de dispositivos WiFi conectados

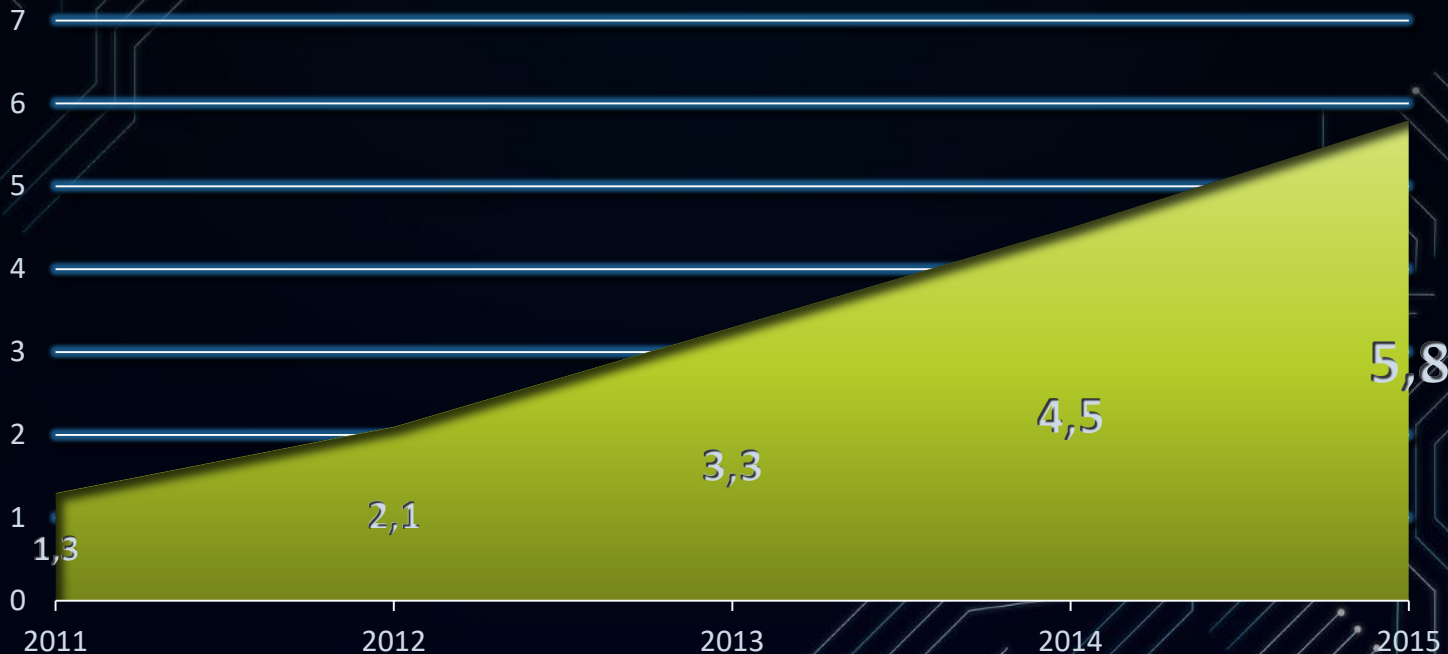


EN MILES DE
MILLONES DE
UNIDADES

WIFI SE ESTÁ VOLVIENDO OMNIPRESENTE

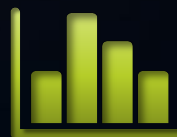


Cantidad mundial de Hotspots públicos

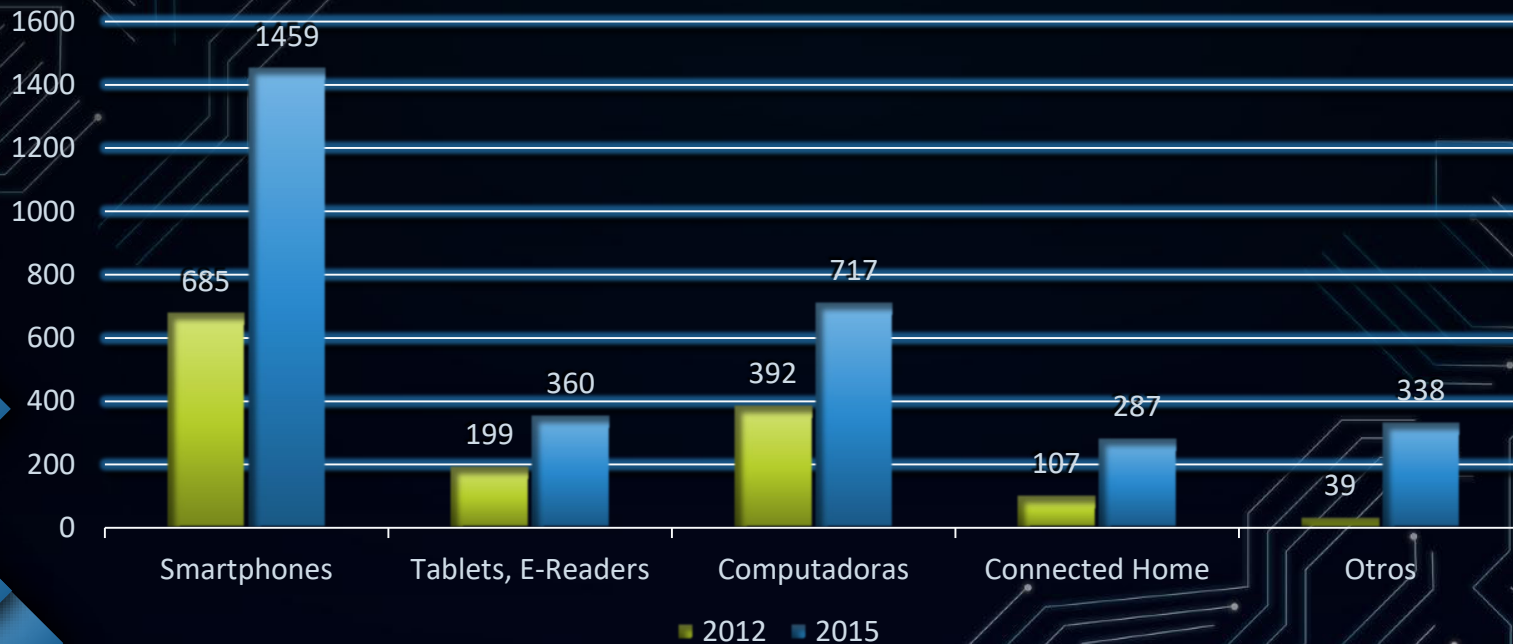


EN MILLONES
DE UNIDADES

WIFI SE ESTÁ VOLVIENDO OMNIPRESENTE



Dispositivos con WiFi fabricados



EN MILLONES DE UNIDADES

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA WLAN

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



AP

Access Point



STA

Station



Controlador

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



AP

Access Point

- ◆ Conecta lo alámbrico a lo inalámbrico.
- ◆ Es el puente (bridge) entre IEEE 802.3 a 802.11.
- ◆ No obstante, la conexión al mundo alámbrico puede ser, en ocasiones, mediante un enlace inalámbrico.

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



STA

Station

- ◆ Dispositivo WiFi que se conecta a un AP (cualquier cliente, Smartphone, notebook, etc...).
- ◆ La interface WiFi puede ser interna o externa (ej. USB), al igual que la/s antena/s (integradas o externas).

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



Controlador

- ◆ Administra y provee funciones a múltiples APs.
- ◆ No es imprescindible, pero sí conveniente en redes complejas.
- ◆ Puede ser un dispositivo físico, virtual, o corriendo en la nube

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA

Ejemplos

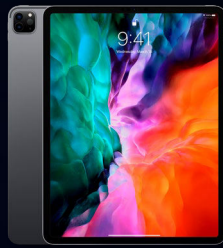
ACCESS POINTS



CONTROLADORES

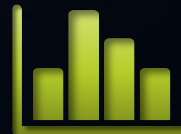


ESTACIONES (CLIENTES)



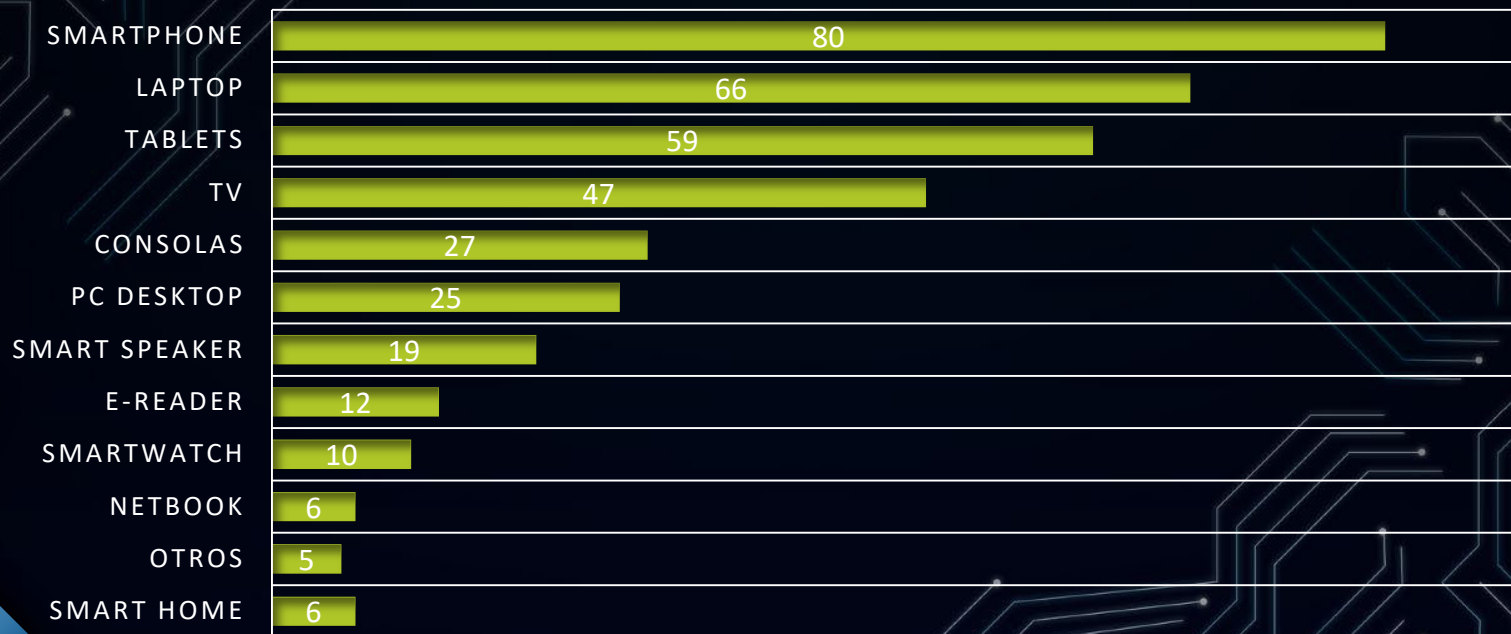
DISPOSITIVOS
DIVERSOS

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



25

% de dispositivos que se conectan a un WiFi hogareño (Encuesta UK Feb. 2022)



MODOS DE OPERACIÓN

◆ Infraestructura

- La estación se comunica con otras redes (LAN, Internet...) mediante un AP.
- Es la modalidad más usada.
- Múltiples APs pueden compartir el SSID → En ese caso el cliente se conecta a la red con SSID y elige el “mejor AP”.

◆ Ad Hoc

- Las estaciones se comunican directamente entre sí en modalidad peer-to-peer.

CANTIDAD DE RADIOS DE UN AP



2,4 GHz
o 5 GHz

Único

Todas las STA deben estar en
la misma banda



2,4 GHz



5 GHz

Dual

Permite cobertura completa
de dispositivos en cualquier
banda



5 GHz

5 GHz



2,4 GHz

Triple

Escenarios con conectividad
inalámbrica entre APs

WIFI, IEEE & WIFI ALLIANCE



WIFI, IEEE & WIFI ALLIANCE

- **IEEE:** Elabora los estándares 802.11 pero **no los implementa** ni certifica.
- En 1999, se forma la **Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)**, luego llamada:
- **WiFi Alliance:** Es una asociación global de compañías y fabricantes que promueve y **certifica** los productos. Se asegura que un fabricante dado **cumpla los estándares** definidos por el IEEE.
- Son los **creadores del término WiFi** (marketing de la tecnología) y del clásico logo Yin Yang (en realidad, tercerizado)
- Incluso el término WiFi no es acrónimo de Wireless Fidelity cómo habitualmente se cree.
- Los fabricantes **certificados** por la WFA que pasen la certificación **pueden ponerle el logo**



WIFI EN EL MODELO OSI

1 Capa 1 (física)

Especifica la modulación, codificación, etc...

“**Cómo** se transmite”

2 Capa 2 (enlace)

MAC (Acceso al medio)

“**Qué** se transmite”

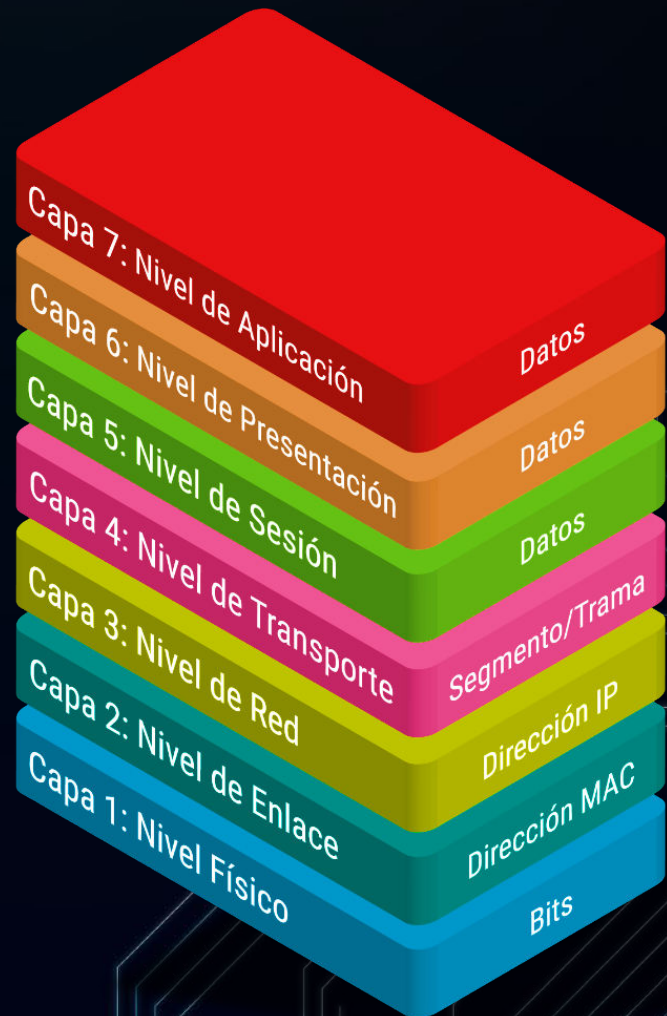
MODELO ISO/OSI

Open Systems Interconnection

Capa 8: **Usuario**

“El error más difícil de detectar”

WiFi

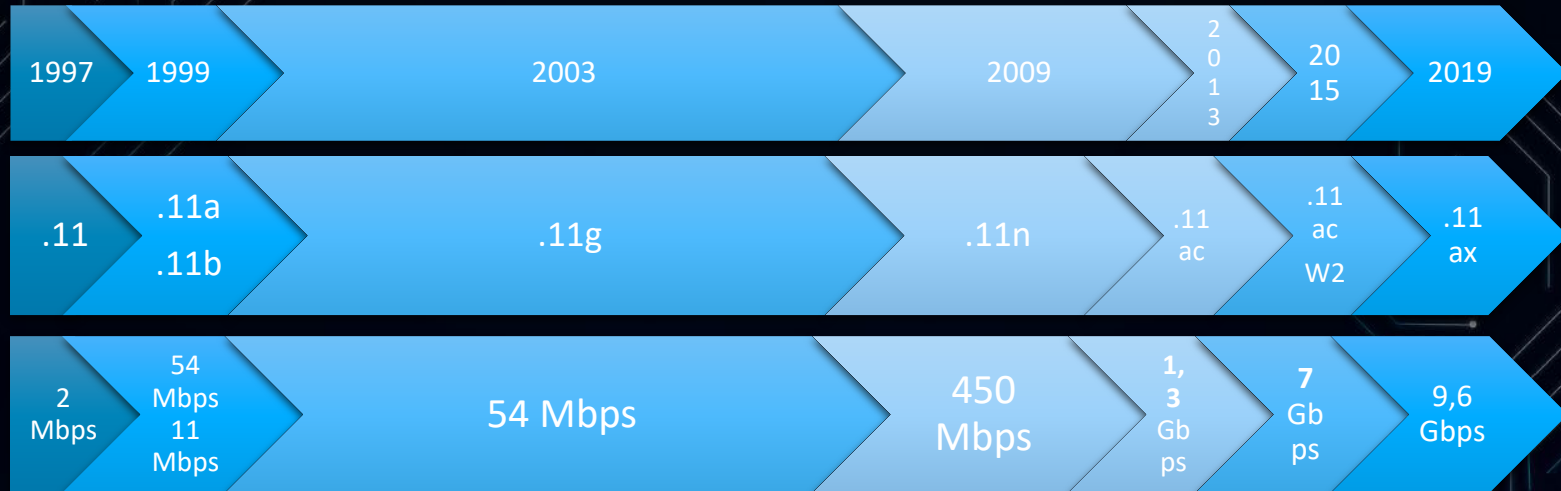


LAS 7
CAPAS

ESTÁNDARES Y EXTENSIONES

WIFI – ESTÁNDARES Y VELOCIDAD

En constante evolución



DESDE 1997
A 2019...

PRINCIPALES ESTÁNDARES DE IEEE 802.11

Gen.	Estándar	Fecha	Banda [GHz]	Vel. (Teórica) [Mbps]	Veloc. (Real) [Mbps]	Modulación	Introduce
-	802.11	1997	2,4	2	1	DSSS FHSS	
-	802.11a	1999	5	54	22	OFDM	64 QAM
-	802.11b	1999	2,4	11	6	HR-DSSS	
-	802.11g	2003	2,4	54	22	OFDM HR-DSSS	
WiFi 4	802.11n	2009	2,4 5	600/450	350	HR-DSSS HT-OFDM	SU-MIMO (4x4) 40MHz - WPA
-	802.11ad	2012	60	6,7 Gbps			Alta velocidad
WiFi 5	802.11ac	2013 (wave 1) 2015 (wave 2)	5	3,74 Gbps (wave 1) / 6,9 Gbps (wave 2)	1300/1750	VHT-OFDM	80 & 160 MHz MU-MIMO (8x8) (Wave 2) - 256 QAM
WiFi HaLow	802.11ah	2017	0.9	347	78	OFDM	Largo alcance
WiFi 6	802.11ax	2019	2,4 5	1,15 Gbps (2,4) 9,6 Gbps (5)	6,25 Gbps / 9,6 Gbps (?)	OFDMA	1024-QAM MU-MIMO en uplink
WiFi 6e		2020	6				OFDMA

DESDE 1997
A 2022....

VELOCIDAD DEL ENLACE

“Me anda lento el wifi”

¿Sinónimos?

¿MB = MBps =
Mbps?

SIMPLIFICANDO LAS VERSIONES



Nuevos identificadores de versión



TERMINOLOGÍA E IDENTIFICADORES

- ◆ **SSID** - Service Set ID: Nombre de la red (es para los humanos, los dispositivos no lo usan). No es un identificador único (se puede repetir entre distintos APs, sean o no miembros de la misma red), pero sí la red “tiende” a ser única en un área en particular. Puede estar oculto (“Network cloaking”) como una medida muy básica de seguridad.
- ◆ **BSS** - Basic Service Set: Es el bloque básico, que consiste en un único AP y las estaciones a las que sirve (el BSS más básico = 1 AP + 1 STA).
- ◆ **BSSID** - BSS ID - Basic service set identifier: MAC Address del AP

TERMINOLOGÍA E IDENTIFICADORES

- ◆ **ESS** - Extended SS: Más de un AP en una red (con el mismo SSID) y cerca para hacer roaming.
- ◆ **ESSID** - Extended service set identifier: Es el ID de la ESS SSID.
- ◆ **IBSS** - Independent Basic Service Set: Identificador para la modalidad Ad Hoc.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11i – **WPA2** & 802.11e – **QOS**

◆ 802.11i

- Extensión de seguridad que utiliza WPA2 (*Wi-Fi Protected Access II*).
- Publicada en 2004.
- Reemplaza a la endeble seguridad de WEP (*Wired Equivalent Privacy*) y a WPA (paso intermedio entre WEP y WPA2).
- Encripta utilizando AES (*Advanced Encryption Standard*).

◆ 802.11e

- Calidad de servicio.
- Estándar del año 2005, incorporado luego en .11n
- Considera dos variantes, pero solo se implementó la más básica, que no asegura la prioridad en todos los casos.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11u – Offload

- ◆ Tiene como objeto permitir la conexión **automática** de un cliente WiFi (estación) a una red, sin intervención del usuario.
- ◆ Publicada en 2011.
- ◆ Conocida como “Hotspot 2.0” o “Wi-Fi Certified Passpoint”.
- ◆ Utilizando IEEE 802.21 (handover transparente entre distintos tipos de redes), habilita el WiFi Offload de las redes móviles.
- ◆ En ese caso, autentica usando la SIM del móvil, de modo transparente y seguro.
- ◆ En el *beacon frame* (“faro” con anuncios periódicos) se envían los datos del operador móvil (dato oculto al usuario).

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11ad – **Wireless Gigabit Alliance**

- ◆ La *Wireless Gigabit Alliance* es una asociación de los principales fabricantes para promover 802.11ad.
- ◆ Utiliza la banda no licenciada de **60 GHz**.
- ◆ La velocidad (teórica...) es de **6,7 Gbps**.
- ◆ Opera en 6 canales, con un BW total de 2,16 GHz
- ◆ Incluye la extensión *WiGig Display Extension*, que permite la transmisión de video en tiempo real (HDMI & DisplayPort).
- ◆ No ha tenido gran aceptación hasta ahora....

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11r – Roaming

- ◆ Se lo conoce como “*fast BSS transition*” o “**fast roaming**”.
- ◆ Publicada en 2008.
- ◆ Trabaja en conjunto con la .11k.
- ◆ Antes de WPA2, la conexión era más rápida (e insegura....). La seguridad aumentó el tiempo de conexión y, por ende, el tiempo sin servicio al cambiar de AP.
- ◆ Este tiempo puede no afectar sesiones de datos, pero resulta **crítico** para comunicaciones en tiempo real (VoIP, V²oIP) y muy importante para servicios de streaming.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11k – Administración de los recursos de **radio**

- ◆ Le permite a un cliente encontrar el mejor AP disponible.
- ◆ Publicada en 2008.
- ◆ Trabaja en conjunto con la .11r.
- ◆ Operación:
 - El AP determina que el cliente se aleja.
 - Le informa al cliente que se prepare para conmutar a otro AP.
 - El cliente solicita una lista de los APs cercanos.
 - El AP envía un reporte del sitio.
 - Con este reporte, el cliente se conecta al mejor AP.

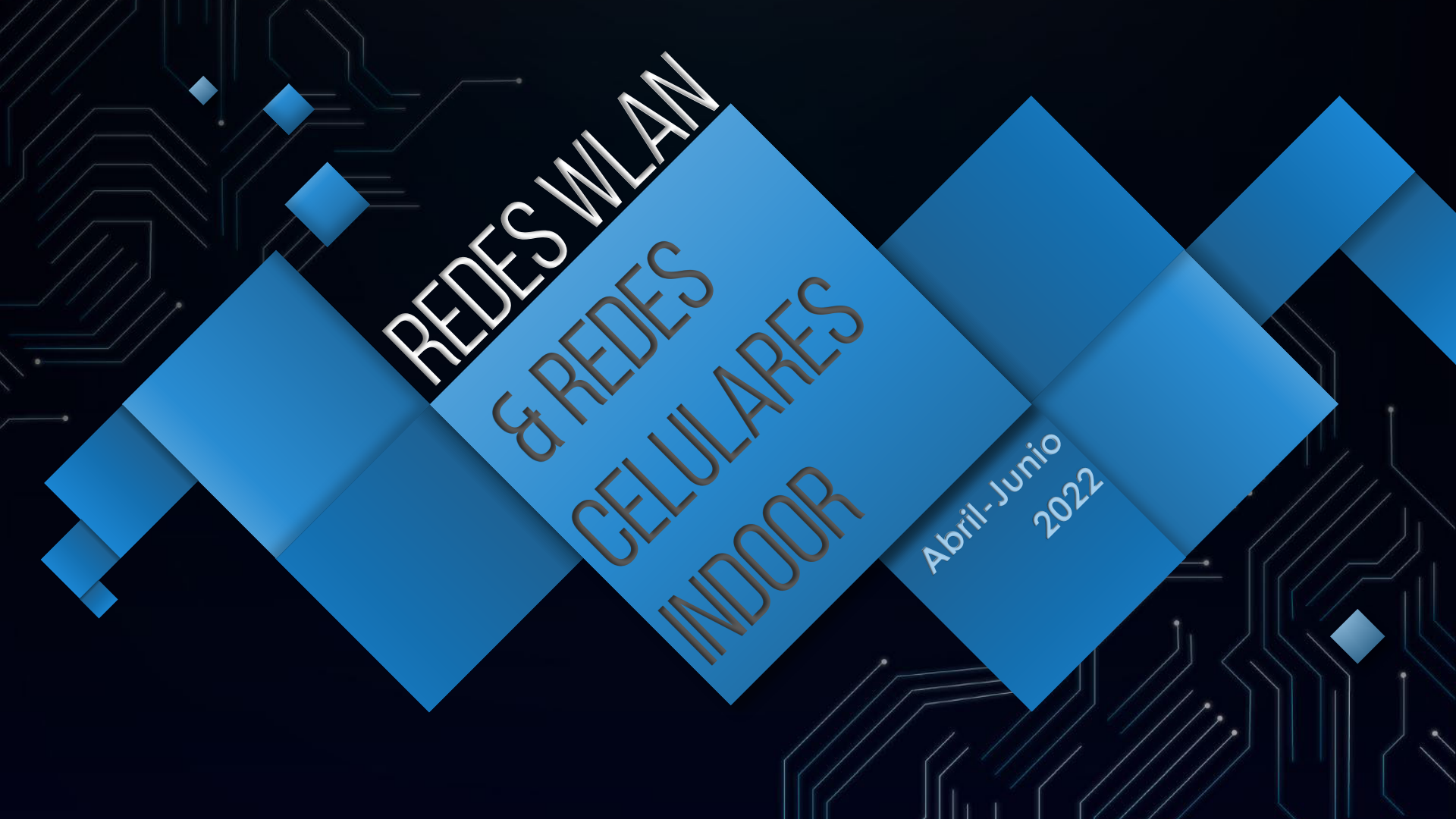
ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11v – **Administración** del cliente

- ◆ Estándar de *Wireless Network Management*.
- ◆ Publicada en 2011.
- ◆ En condiciones normales, el AP no tiene control alguno sobre el cliente.
- ◆ 11.v permite intercambiar con los clientes información del entorno de RF y de la topología de la red.

WI-FI CERTIFIED VOICE PROGRAM

- ◆ Programa de certificación de la WFA que define los requerimientos de calidad **corporativa** para:
 - Voz
 - Movilidad
 - Seguridad
 - Eficiencia energética.
- ◆ Utiliza los estándares .11r/k/v, aunque el .v no es imprescindible.
- ◆ Publica la lista de los dispositivos certificados.
- ◆ En la práctica el éxito es relativo (Ej. Solo los WNA de Qualcomm y dos de LG están certificados).



REDES WLAN
& REDES
CELULARES
INDOOR

Abril-Junio
2022



**BUENAS
TARDES**

CePETel

Augusto Papagno

Wi-Fi
IEEE 802.11
Introducción



CONCEPTO DE RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL

WxAN

Distintos tipos de redes inalámbricas

12

WPAN

- ✓ Bluetooth
- ✓ NFC
- ✓ ZWave
- ✓ ZigBee

30-50 m

WLAN

- ✓ Wi-Fi

100 m

WMAN

- ✓ WiMax

5 km

WWAN

- ✓ GSM
- ✓ CDMA
- ✓ HSPA
- ✓ LTE
- ✓ 5G
- ✓ Etc...

15 km

¿QUÉ ES WiFi?

- ◆ Tecnología de radio definida por el **IEEE** como un equivalente inalámbrico de las redes Ethernet IEEE 802.3.
- ◆ La versión inicial, 802.11, se publicó en 1997.
- ◆ Fue la primer tecnología de WLAN que logró una adopción masiva por parte de los consumidores.

¿UN MUNDO SIN WiFi?

En la actualidad es difícil encontrar un lugar público sin servicio WiFi.

Es el principal canal de conectividad de muchos dispositivos.



Una vida sin cables

- Relativamente **económica**.
- En la actualidad, es un estándar de facto, con amplio soporte en dispositivos e infraestructura en **lugares públicos**.
- **Fácil configuración** y despliegue.
- Las redes **pueden crecer** fácilmente.
- Incluye soporte de **seguridad** inalámbrica.
- Estándares del IEEE y en **continuo desarrollo**.
- Alta tasa de transferencia.



No todo lo que brilla es oro

- **Limitado** espectro de RF disponible.
- Bandas de frecuencias altas (2.4 GHz y 5/6 GHz) , por lo tanto con mucha **atenuación** por obstrucción y en el espacio libre.
- **Interferencia** de otros dispositivos (teléfonos inalámbricos, hornos microondas, etc...).
- **Consumo de energía** relativamente alto → Clara desventajas en dispositivos móviles.
- La **seguridad** puede ser **VULNERADA**.
- La performance alcanzada **depende** mucho de las características **de los dispositivos**.
- El alcance de un único AP es limitado.

PROBLEMAS PRINCIPALES



Seguridad

Vulnerar una red WiFi es relativamente sencillo en el peor de los casos (sin seguridad o WEP) y técnicamente posible en el mejor de ellos.



Compatibilidad

No todas las variantes de 802.11x son compatibles entre sí, limitando la interoperabilidad entre dispositivos.

Ej: Un AP 802.11a no puede dar servicio a un cliente 802.11b (distintas bandas)

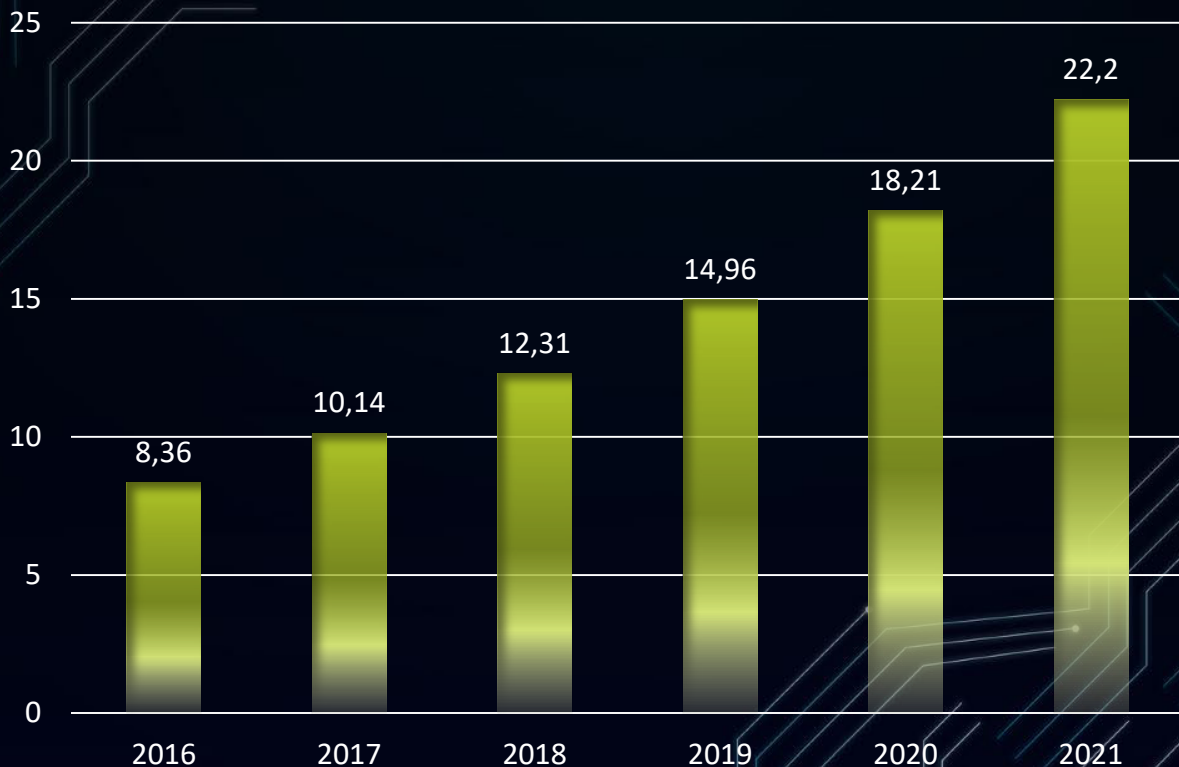


Tasación

Las normas contemplan los aspectos técnicos pero no los monetarios: No hay soporte nativo para tasación.

WIFI SE ESTÁ VOLVIENDO OMNIPRESENTE

Cantidad mundial de dispositivos WiFi conectados

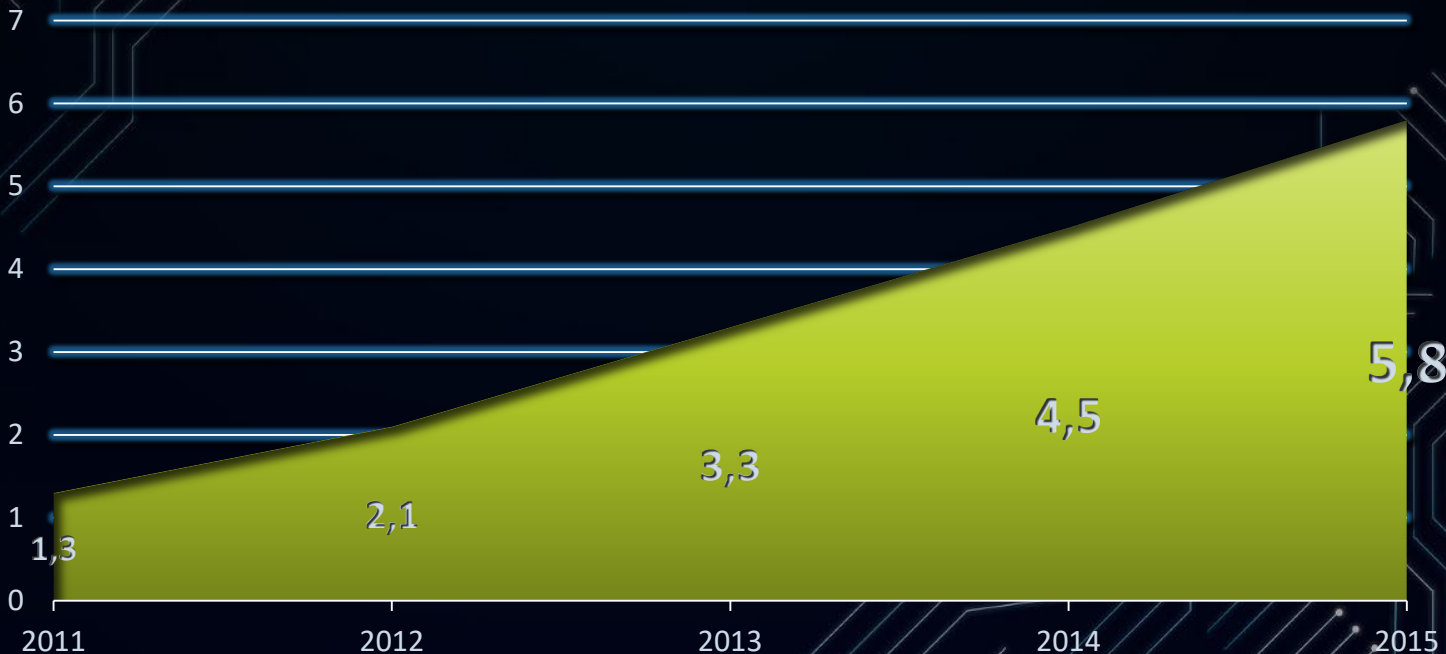


EN MILES DE
MILLONES DE
UNIDADES

WIFI SE ESTÁ VOLVIENDO OMNIPRESENTE

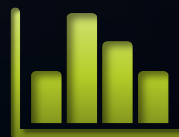


Cantidad mundial de Hotspots públicos

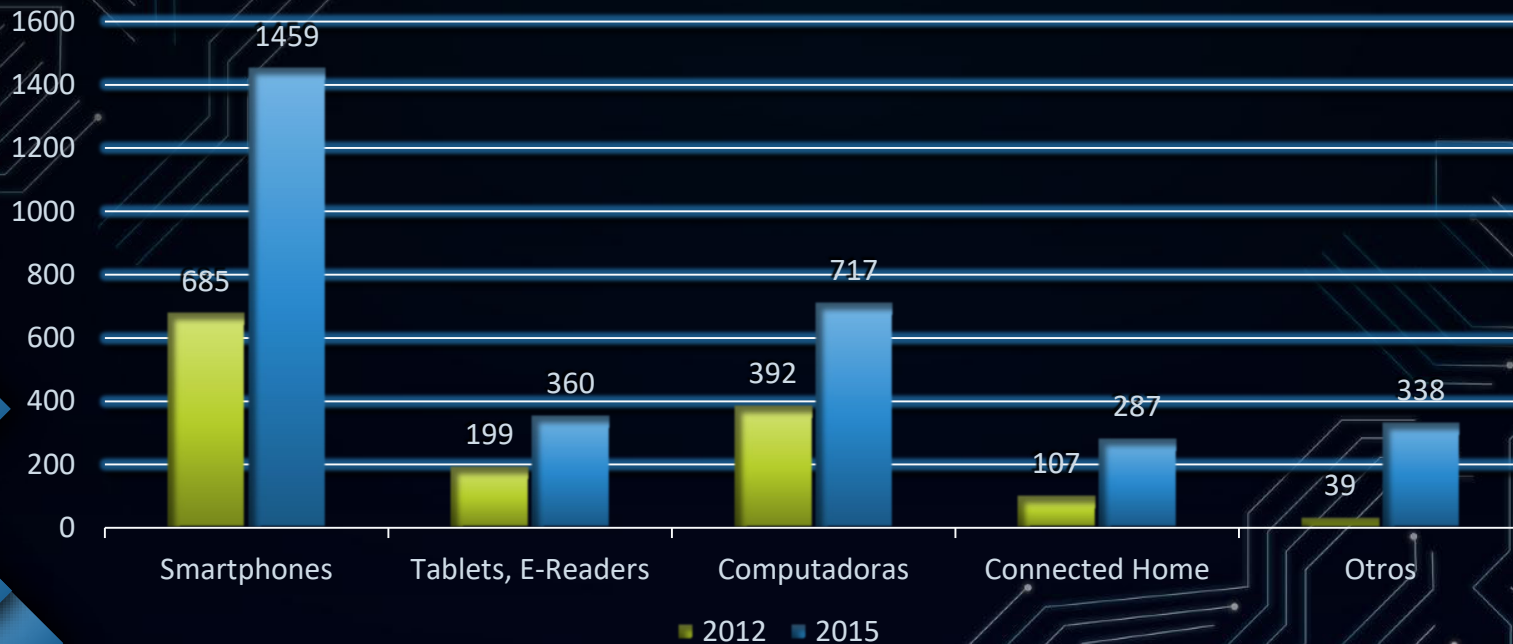


EN MILLONES
DE UNIDADES

WIFI SE ESTÁ VOLVIENDO OMNIPRESENTE



Dispositivos con WiFi fabricados



EN MILLONES
DE UNIDADES

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA WLAN

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



AP

Access Point



STA

Station



Controlador

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



AP

Access Point

- ◆ Conecta lo alámbrico a lo inalámbrico.
- ◆ Es el puente (bridge) entre IEEE 802.3 a 802.11.
- ◆ No obstante, la conexión al mundo alámbrico puede ser, en ocasiones, mediante un enlace inalámbrico.

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



STA

Station

- ◆ Dispositivo WiFi que se conecta a un AP (cualquier cliente, Smartphone, notebook, etc...).
- ◆ La interface WiFi puede ser interna o externa (ej. USB), al igual que la/s antena/s (integradas o externas).

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



Controlador

- ◆ Administra y provee funciones a múltiples APs.
- ◆ No es imprescindible, pero sí conveniente en redes complejas.
- ◆ Puede ser un dispositivo físico, virtual, o corriendo en la nube

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA

Ejemplos

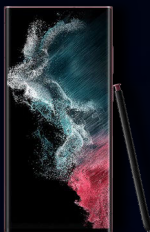
ACCESS POINTS



CONTROLADORES



ESTACIONES (CLIENTES)



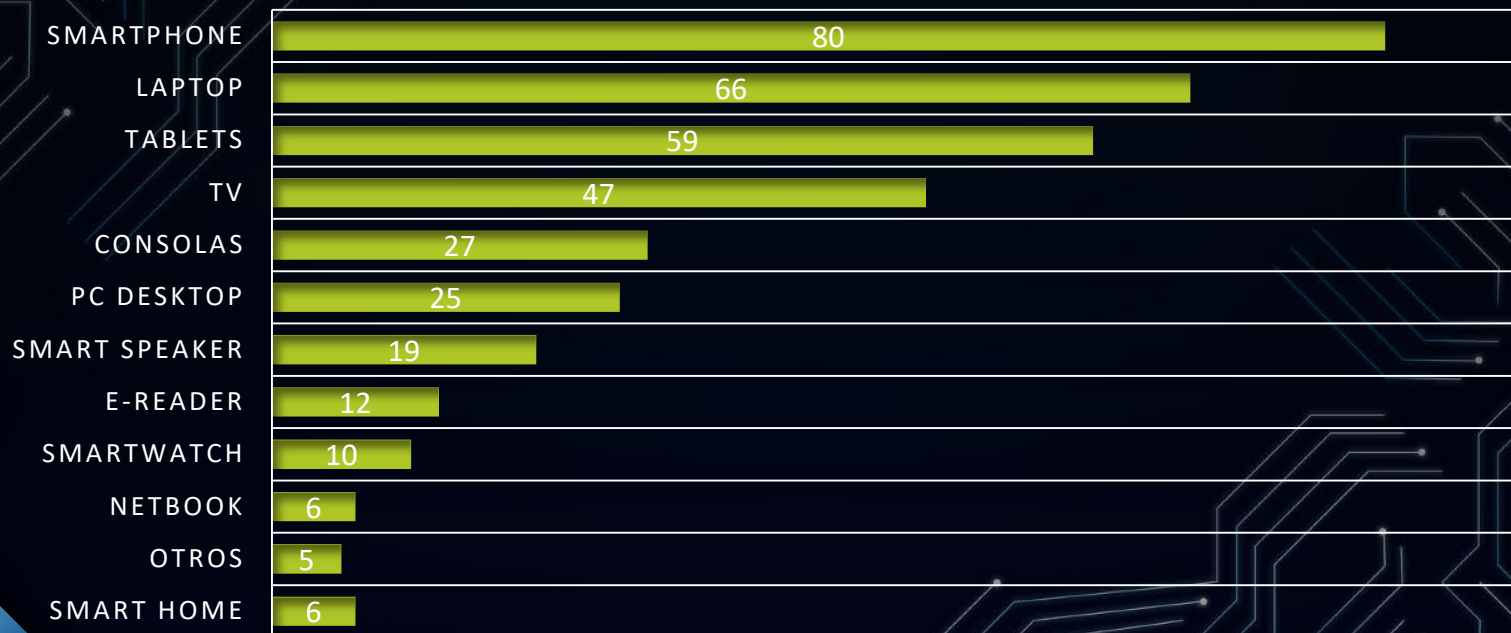
DISPOSITIVOS
DIVERSOS

TIPOS DE DISPOSITIVOS EN UNA RED INALÁMBRICA



26

% de dispositivos que se conectan a un WiFi hogareño (Encuesta UK Feb. 2022)



MODOS DE OPERACIÓN

◆ Infraestructura

- La estación se comunica con otras redes (LAN, Internet...) mediante un AP.
- Es la modalidad más usada.
- Múltiples APs pueden compartir el SSID → En ese caso el cliente se conecta a la red con SSID y elige el “mejor AP”.

◆ Ad Hoc

- Las estaciones se comunican directamente entre sí en modalidad peer-to-peer.

CANTIDAD DE RADIOS DE UN AP



2,4 GHz
o 5 GHz

Único

Todas las STA deben estar en
la misma banda



2,4 GHz



5 GHz

Dual

Permite cobertura completa
de dispositivos en cualquier
banda



5 GHz

5 GHz



2,4 GHz

Triple

Escenarios con conectividad
inalámbrica entre APs

WIFI, IEEE & WIFI ALLIANCE



WIFI, IEEE & WIFI ALLIANCE

- **IEEE:** Elabora los estándares 802.11 pero **no los implementa** ni certifica.
- En 1999, se forma la **Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)**, luego llamada:
- **WiFi Alliance:** Es una asociación global de compañías y fabricantes que promueve y **certifica** los productos. Se asegura que un fabricante dado **cumpla los estándares** definidos por el IEEE.
- Son los **creadores del término WiFi** (marketing de la tecnología) y del clásico logo Yin Yang (en realidad, tercerizado)
- Incluso el término WiFi no es acrónimo de Wireless Fidelity cómo habitualmente se cree.
- Los fabricantes **certificados** por la WFA que pasen la certificación **pueden ponerle el logo**



WIFI EN EL MODELO OSI

1 Capa 1 (física)

Especifica la modulación, codificación, etc...

“**Cómo** se transmite”

2 Capa 2 (enlace)

MAC (Acceso al medio)

“**Qué** se transmite”

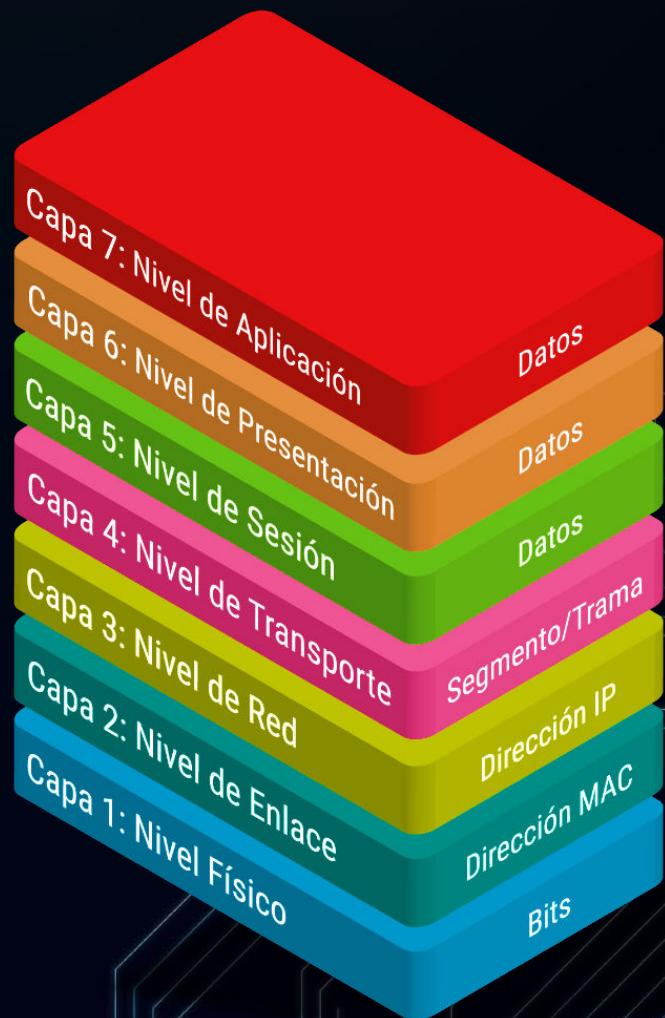
MODELO ISO/OSI

Open Systems Interconnection

Capa 8: **Usuario**

“El error más difícil de detectar”

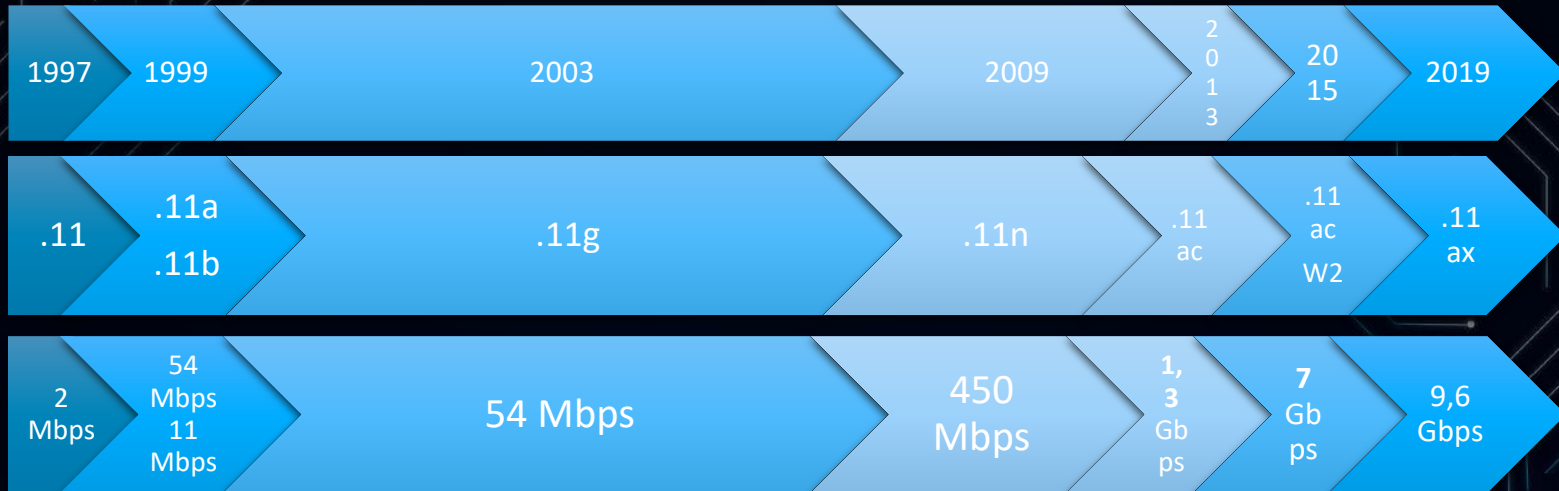
WiFi



ESTÁNDARES Y TERMINOLOGÍA

WIFI – ESTÁNDARES Y VELOCIDAD

En constante evolución



DESDE 1997
A 2019...

PRINCIPALES ESTÁNDARES DE IEEE 802.11

Gen.	Estándar	Fecha	Banda [GHz]	Vel. (Teórica) [Mbps]	Veloc. (Real) [Mbps]	Modulación	Introduce
-	802.11	1997	2,4	2	1	DSSS FHSS	
-	802.11a	1999	5	54	22	OFDM	64 QAM
-	802.11b	1999	2,4	11	6	HR-DSSS	
-	802.11g	2003	2,4	54	22	OFDM HR-DSSS	
WiFi 4	802.11n	2009	2,4 5	600/450	350	HR-DSSS HT-OFDM	SU-MIMO (4x4) 40MHz - WPA
-	802.11ad	2012	60	6,7 Gbps			Alta velocidad
WiFi 5	802.11ac	2013 (wave 1) 2015 (wave 2)	5	3,74 Gbps (wave 1) / 6,9 Gbps (wave 2)	1300/1750	VHT-OFDM	80 & 160 MHz MU-MIMO (8x8) (Wave 2) - 256 QAM
WiFi HaLow	802.11ah	2017	0.9	347	78	OFDM	Largo alcance
WiFi 6	802.11ax	2019	2,4 5	1,15 Gbps (2,4) 9,6 Gbps (5)	6,25 Gbps / 9,6 Gbps (?)	OFDMA	1024-QAM MU-MIMO en uplink
WiFi 6e		2020	6				OFDMA

DESDE 1997
A 2022...

VELOCIDAD DEL ENLACE

“Me anda lento el wifi”

¿Sinónimos?

¿MB = MBps =
Mbps?

SIMPLIFICANDO LAS VERSIONES



Nuevos identificadores de versión



REDES WLAN

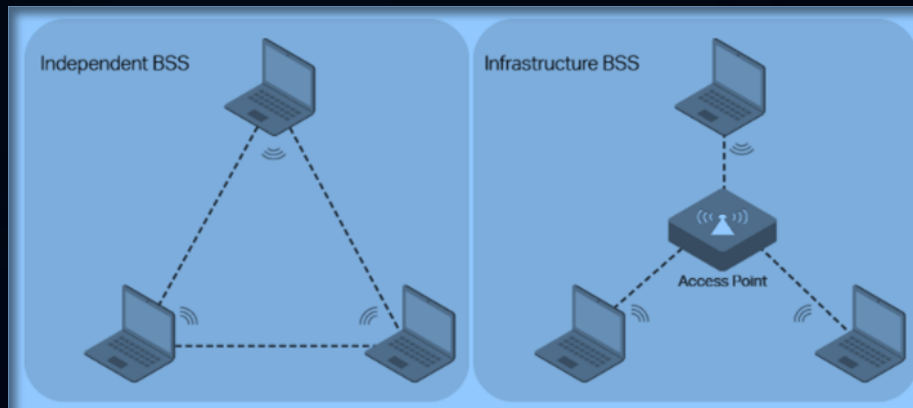
& REDES
CELULARES
INDOOR

Clase 2

TERMINOLOGÍA E IDENTIFICADORES

Infraestructura e Independiente

- **IBSS** - Independent Basic Service Set: Identificador para la modalidad Ad Hoc.
- **BSS** - Basic Service Set: Es el bloque básico, que consiste en un único AP y las estaciones a las que sirve (el BSS más básico = 1 AP + 1 STA).



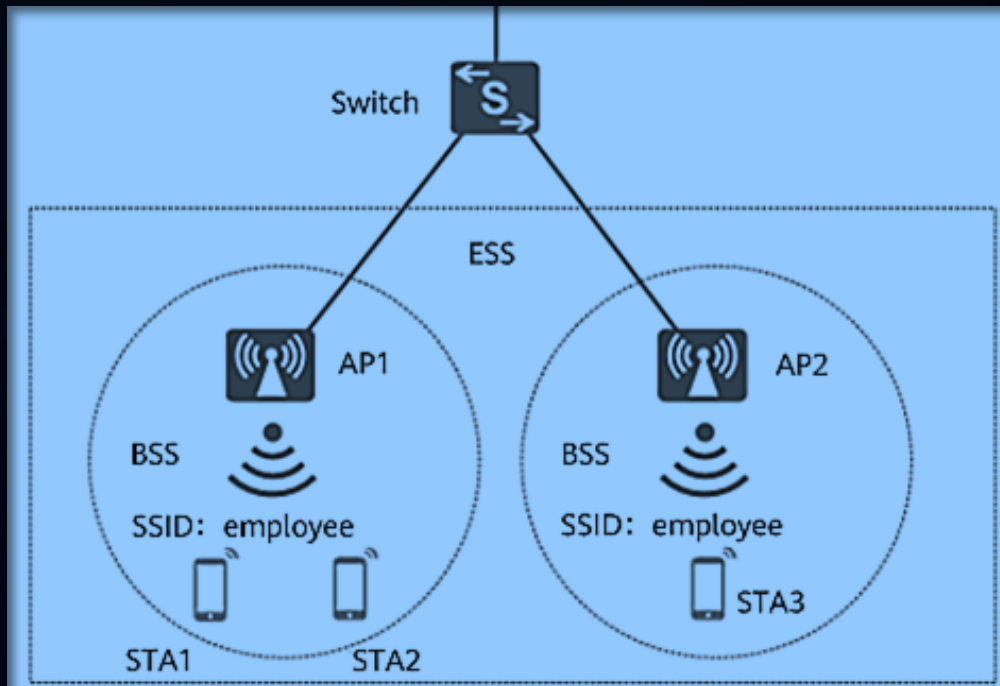
TERMINOLOGÍA E IDENTIFICADORES

- ◆ **SSID** - Service Set ID: Nombre de la red (es para los humanos, los dispositivos no lo usan). **No** es un identificador **único** (se puede repetir entre distintos APs, sean o no miembros de la misma red).
 - Su valor suelen ser caracteres imprimibles, hasta un máximo de 32 octetos.
 - Puede estar oculto (“Network cloaking”) como una medida muy básica de seguridad.
- ◆ **BSSID** - BSS ID - Basic service set identifier: Identifica cada BSS de forma **única**. No se puede modificar mediante configuración (en la práctica es la MAC Address inalámbrica del AP).

TERMINOLOGÍA E IDENTIFICADORES

Básico y Extendido

- **ESS - Extended SS:**
Consta de más de un BSS conectando AP en diferentes BSS (con el mismo SSID) y cerca para hacer roaming.
- Los **distintos BSS** dentro de un mismo ESS deben **compartir el mismo segmento lógico de red** (Misma VLAN y Subred IP).



EXTENSIONES

802.11xx

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11i – **WPA2** & 802.11e – **QOS**

◆ 802.11i

- Extensión de seguridad que utiliza WPA2 (*Wi-Fi Protected Access II*).
- Publicada en 2004.
- Reemplaza a la endeble seguridad de WEP (*Wired Equivalent Privacy*) y a WPA (paso intermedio entre WEP y WPA2).
- Encripta utilizando AES (*Advanced Encryption Standard*).

◆ 802.11e

- Calidad de servicio.
- Estándar del año 2005, incorporado luego en .11n
- Considera dos variantes, pero solo se implementó la más básica, que no asegura la prioridad en todos los casos.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11u – Offload

- ◆ Tiene como objeto permitir la conexión **automática** de un cliente WiFi (estación) a una red, sin intervención del usuario.
- ◆ Publicada en 2011.
- ◆ Conocida como “Hotspot 2.0” o “Wi-Fi Certified Passpoint”.
- ◆ Utilizando IEEE 802.21 (handover transparente entre distintos tipos de redes), habilita el WiFi Offload de las redes móviles.
- ◆ En ese caso, autentica usando la SIM del móvil, de modo transparente y seguro.
- ◆ En el *beacon frame* (“faro” con anuncios periódicos) se envían los datos del operador móvil (dato oculto al usuario).

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11ad – **Wireless Gigabit Alliance**

- ◆ La *Wireless Gigabit Alliance* es una asociación de los principales fabricantes para promover 802.11ad.
- ◆ Utiliza la banda no licenciada de **60 GHz**.
- ◆ La velocidad (teórica...) es de **6,7 Gbps**.
- ◆ Opera en 6 canales, con un BW total de 2,16 GHz
- ◆ Incluye la extensión *WiGig Display Extension*, que permite la transmisión de video en tiempo real (HDMI & DisplayPort).
- ◆ No ha tenido gran aceptación hasta ahora....

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11ah – Wi-Fi HaLow

- ◆ Es "la opuesta" a la .11ad: Poca velocidad & Mucha distancia.
- ◆ Utiliza la banda no licenciada de **900 MHz**.
- ◆ La velocidad máxima es de **347 Mbps**.
- ◆ Se publicó en 2017, con **IoT** en mente.
- ◆ Pone el foco en el **ahorro** energético (compitiendo con Bluetooth), inaugurando el mismo mecanismo (TWT) que luego se usaría en .11ax.
- ◆ Es la variante de WiFi que menos se asemeja al resto, utilizando mecanismos de acceso al medio **distintos** para ahorrar energía.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11r – Roaming

- ◆ Se lo conoce como “*fast BSS transition*” o “**fast roaming**”.
- ◆ Publicada en 2008.
- ◆ Trabaja en conjunto con la .11k.
- ◆ Antes de WPA2, la conexión era más rápida (e insegura....). La seguridad aumentó el tiempo de conexión y, por ende, el tiempo sin servicio al cambiar de AP.
- ◆ Este tiempo puede no afectar sesiones de datos, pero resulta **crítico** para comunicaciones en tiempo real (VoIP, V²oIP) y muy importante para servicios de streaming.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11k – Administración de los recursos de **radio**

- ◆ Le permite a un cliente encontrar el mejor AP disponible.
- ◆ Publicada en 2008.
- ◆ Trabaja en conjunto con la .11r.
- ◆ Operación:
 - El AP determina que el cliente se aleja.
 - Le informa al cliente que se prepare para conmutar a otro AP.
 - El cliente solicita una lista de los APs cercanos.
 - El AP envía un reporte del sitio.
 - Con este reporte, el cliente se conecta al mejor AP.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11v – **Administración** del cliente

- ◆ Estándar de *Wireless Network Management*.
- ◆ Publicada en 2011.
- ◆ En condiciones normales, el AP no tiene control alguno sobre el cliente.
- ◆ 11.v permite intercambiar con los clientes información del entorno de RF y de la topología de la red.

WI-FI CERTIFIED VOICE PROGRAM

- ◆ Programa de certificación de la WFA que define los requerimientos de calidad **corporativa** para:
 - Voz
 - Movilidad
 - Seguridad
 - Eficiencia energética.
- ◆ Utiliza los estándares .11r/k/v, aunque el .v no es imprescindible.
- ◆ Publica la lista de los dispositivos certificados.
- ◆ En la práctica el éxito es relativo (Ej. Solo los WNA de Qualcomm y dos de LG están certificados).

WiFi 6

(IEEE 802.11AX)



WI-FI 6

Principales características

- ◆ Un **mismo** canal puede ser compartido entre distintas estaciones **simultáneamente**.
- ◆ Se aumenta la posibilidad de **re-uso** de una misma frecuencia en una misma área (Coloreo de BSS).
- ◆ Se mejora la **eficiencia** energética de la STA permitiéndole a las mismas “dormir” cuando no necesitan estar activas (Target WakeUp Time).
- ◆ Se aumenta la **eficiencia** de la modulación (256 QAM → 1024 QAM) → Aumenta la velocidad de transferencia.
- ◆ El acceso simultáneo con múltiples flujos (MIMO) se soporta también desde la STA al AP (uplink).

SOPORTE 802.11AX

Solamente en dispositivos muy recientes

- **ASUS RT-AX88U:**
"WiFi 6 (802.11ax) (2.4GHz) : up to 1148 Mbps - (5GHz) : up to 4804 Mbps"
- **Lenovo Yoga C940:** "Hasta 2X2 AX / Y hasta Wifi 6 (opcional, no disponible en todos los modelos)"
- **Iphone 11:**
802.11ax Wi Fi 6 con MIMO 2x2
- **Samsung Galaxy S10:**
Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac/ax (2.4/5GHz), VHT80 MU-MIMO, 1024QAM - **Up to 1.2Gbps** Download / Up to 1.2Gbps Upload

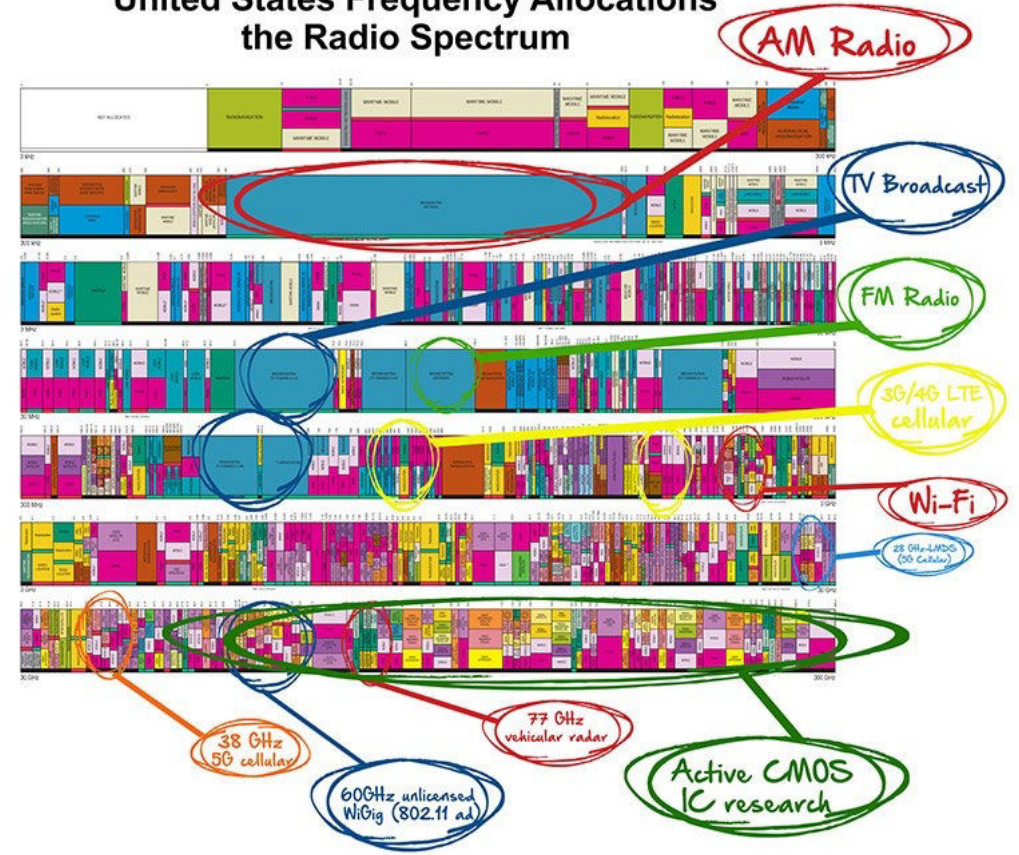


NO TODO SE
CUMPLE...

WI-FI 6E

Espectro de RF

United States Frequency Allocations the Radio Spectrum



La primera adición de banda en 2 décadas

- En WiFi 6e se incorpora la banda de 6 GHz.
- No es una modificación del standard en sí.
- Es la adición de espectro no licenciando por parte de las autoridades regulatorias (FCC, ENACOM, etc...)

WIFI 6E

Incremento del ancho de banda disponible

Unlicensed Spectrum and Channel Allocations



2.4 GHz Channels **80 MHz**

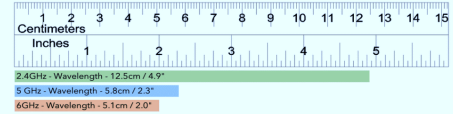
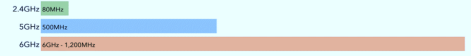
ISM Band 2407 + 5 X Ch. Number Wavelength 12.5cm - 4.9" to 12.0cm - 4.7"

Channel	f	k	11
Center Freq	2.412	2.424	2.436

5 GHz Channels **500 MHz**

Frequency 5000 + 5 X Ch. Number Wavelength 5.8cm - 2.3" to 5.1cm - 2.0"

Radio Band	DFS Channels										TDWR										U-NB-3											
	U-NB-1					U-NB-2a					U-NB-2c (Extended)					U-NB-2d					U-NB-3											
Center Freq	5.180	5.200	5.220	5.240	5.260	5.300	5.320	5.340	5.360	5.380	5.420	5.440	5.460	5.480	5.500	5.540	5.560	5.580	5.600	5.620	5.660	5.680	5.700	5.720	5.760	5.780	5.800	5.820				
Qty	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144				
20 MHz																																
40 MHz	38		46		54		62		70		78		86		94		102		110		118		126		134		142					
80 MHz	42				58				74				90				106				122				138				154			
160 MHz	50										118										155											



2.4GHz - Wavelength - 12.5cm / 4.9"
 5 GHz - Wavelength - 5.8cm / 2.3"
 6GHz - Wavelength - 5.1cm / 2.0"

6 GHz Channels **1,200 MHz**

FCC - USA 5950 + 5 X Ch. Number Wavelength 5.1cm - 2.0" to 4.2cm - 1.6"

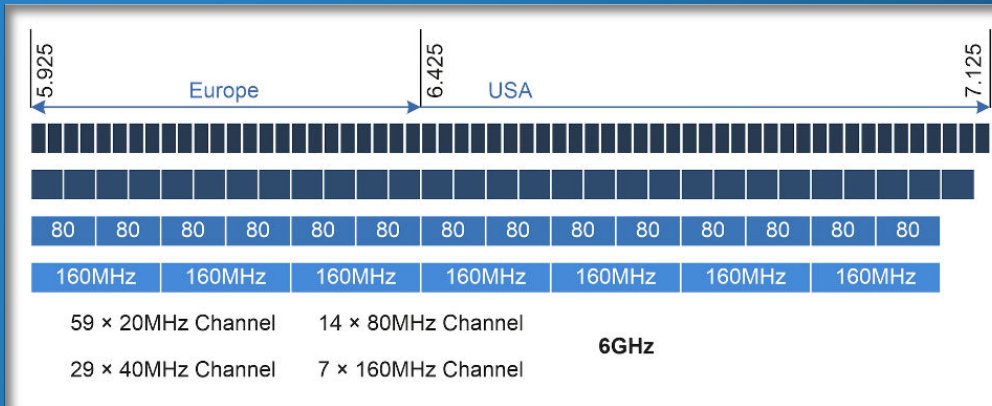
Low Power Indoor **5dBm/MHz - Net EIRP 18dBm**

Radio Band	UNB-5															UNB-6															UNB-7															UNB-8																																																																										
	Center Freq	5.935	5.955	5.975	5.995	6.015	6.035	6.055	6.075	6.095	6.115	6.135	6.155	6.175	6.195	6.215	6.235	6.255	6.275	6.295	6.315	6.335	6.355	6.375	6.395	6.415	6.435	6.455	6.475	6.495	6.515	6.535	6.555	6.575	6.595	6.615	6.635	6.655	6.675	6.695	6.715	6.735	6.755	6.775	6.795	6.815	6.835	6.855	6.875	6.895	6.915	6.935	6.955	6.975	6.995	7.015	7.035	7.055	7.075	7.095	7.115																																																											
Qty	1	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81	85	89	93	97	101	105	109	113	117	121	125	129	133	137	141	145	149	153	157	161	165	169	173	177	181	185	189	193	197	201	205	209	213	217	221	225	229	233																																																													
20 MHz																																																																																																																								
40 MHz	1			11			19			27			35			43			51			59			67			75			83			91			99			107			115			123			131			139			147			155			163			171			179			187			195			203			211			219			227			235																																
80 MHz	7						23						39						55						71						87						103						119						135						151						167						183						199						215						231																																			
160 MHz	15															47															79															111															143															175															207															239														

WIFI 6E

Asignación de canales dependiendo de la región

Canales en la banda de 6 GHz



Asignación de frecuencias **licenciadas** en Argentina

Frecuencias en la banda de 6 GHz

5.925 - 6.700 FIJO 5.457 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.457A 5.457B MÓVIL 5.457C 5.149 5.440 5.458	5.925 - 6.425 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) Fijo 6.425 - 6.700 FIJO MOVIL N51 N52 N53
--	---

Fuente: **ENACOM** - Cuadro de atribución de bandas de Frecuencias

Asignación de frecuencias **licenciadas** en Argentina

Frecuencias en la banda de 6 GHz

REGIÓN 2 – UIT	REPÚBLICA ARGENTINA
6.700 - 7.075 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-Tierra) 5.441 MOVIL	6.700 - 6.725 FIJO MOVIL .N51 N52 N53
	6.725 - 6.760 FIJO MOVIL FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) N51 N52 N53
	6.760 - 6.875 FIJO MOVIL FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) N51 N52 N53

5.458 5.458A 5.458B	6.875 - 7.025 FIJO MOVIL FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-Tierra) N48 N51 N52 N53
	7.025 - 7.075 FIJO MOVIL FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-Tierra) N48 N51 N52 N53
7.075 - 7.145 FIJO MOVIL 5.458 5.459	7.075 - 7.100 FIJO MOVIL N51 N52 N53

Fuente: **ENACOM** - Cuadro de atribución de bandas de Frecuencias

Asignación de banda **no licenciada de 6GHz** en Argentina

Top 5 de hoy | Argentina | Espectro

jueves 05 de agosto de 2021

Enacom reevalúa su primera propuesta sobre WiFi 6 y ahora analiza atribuir 1.200 MHz

En diciembre de 2020 se sometió a consulta pública la atribución de 5.925-6.425 MHz para WiFi 6, es decir, **solo 500 Mhz** (Resolución 102/2020). Sin embargo, frente a la inclinación de **varios países de la región por la atribución de 1.200 MHz** (Perú, Chile, Colombia, Brasil, Costa Rica), el regulador analiza como parte de su trabajo en un futuro plan de espectro alinearse con la tendencia en América latina.

El coordinador de Asuntos Técnicos de Enacom, Sergio D'Uva, explicó a **Convergencialatina** que inicialmente se planteó liberar 500 MHz y **aguardar a la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2023 (CMR-23) de la UIT para decidir sobre los restantes 700 MHz** en la banda de 6 GHz.

"Ante los avances en otros países, estamos evaluando la decisión. Nos tomó por sorpresa la definición de Perú", admitió. A fin de abril, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del país andino modificó el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, habilitando TV White Spaces (TVWS), HAPS, la identificación de 1.200 MHz para WiFi 6 y 1.200 MHz para un próximo concurso en 26 GHz, y la operación en Banda E (71 - 76 y 81 - 86 GHz), entre otros cambios.

En relación a la consulta pública sobre reglamentación de WiFi 6, lanzada por la Secretaría de Innovación Pública y finalizada en febrero con 29 respuestas, aún está pendiente la difusión del informe sobre los comentarios recibidos.

Fuente: Convergencialatina | Artículo original

UL

Estar

NAP

Hi

SO

en

Estar

NA

po

ado

Per

LA CAPA MAC Y SU EVOLUCIÓN

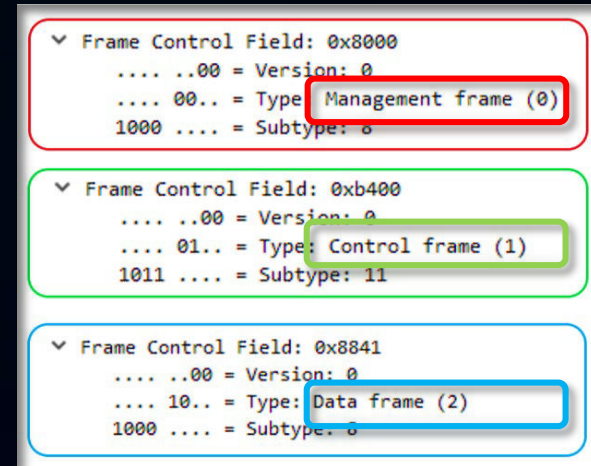


CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Tipos de tramas

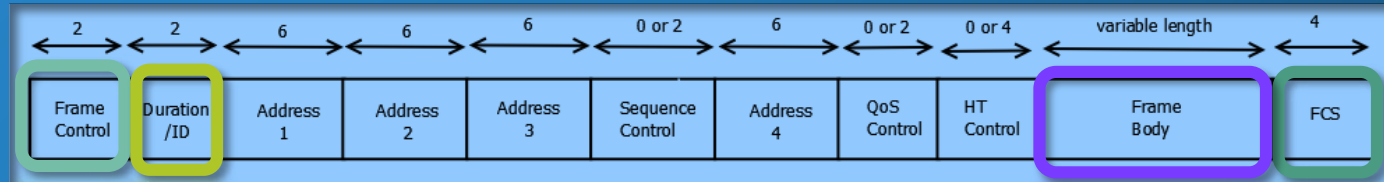
- *Medium Access Control (MAC)* → Capa 2.
- Tres tipos de trama:
 - **Management**: Sirven para establecer y mantener la **conexión** entre una estación y un AP.
 - **Control**: Controla el medio (RTS/CTS), ACKs, etc...
 - **Data**: Transportan los datos de usuario en sí. El encabezado (subtipo) especifica si la trama transporta o no **datos**:
 - 0: lleva datos de usuario
 - >0: tramas nulas (ej: Administración de energía) y QoS



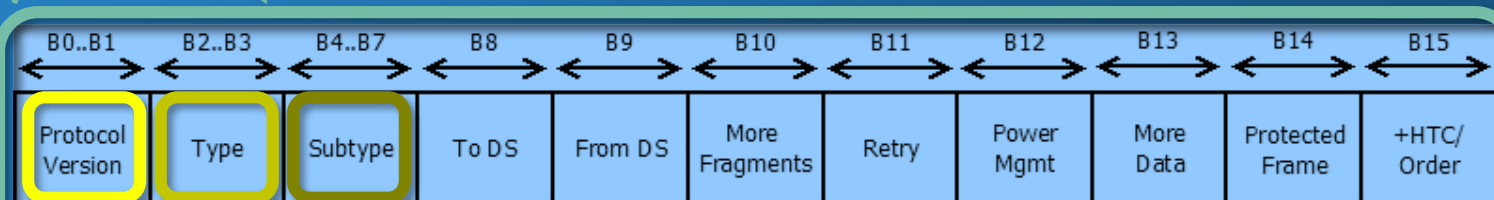
CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Tipos de tramas

Trama MAC en 802.11



Frame control



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Tipos de tramas

Tipo (Valor)	Tipo (Desc.)	Tipo (Valor)	Tipo (Desc.)
00	Management	0000	Association Request
00	Management	0001	Association Response
00	Management	0100	Probe Request
00	Management	0101	Probe Response
00	Management	1011	Authentication
00	Management	1100	Deauthentication
01	Control	1011	RTS
01	Control	1100	CTS
01	Control	1101	ACK
10	Data	0000	Data
10	Data	0100	Null (no data)

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Proceso de conexión - Descubrimiento

◆ 1 - Descubrimiento

- **Pasivo:** El AP emite una trama Beacon (aproximadamente 10 veces por segundo), con sus datos: SSID, funcionalidades soportadas, seguridad, roaming, etc...
- **Activo:** La estación transmite un “*Probe request frame*” (el cliente dice “me quiero comunicar”).
El AP manda entonces un *Probe-response* (con contenido similar al de un beacon).

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Proceso de conexión - **Autenticación**

◆ 2 - Autenticación

- Inicialmente implicaba seguridad (con WEP).
- Hoy, la STA solo pide autenticarse y el AP le da un OK, sin credenciales.
- Con fast roaming estas tramas cambiaron.
- No necesariamente la STA autentica con el primer AP que ve. Busca al “mejor” (nivel de señal, parámetros de calidad, etc...)

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Proceso de conexión - **Asociación**

◆ 3 - Asociación:

La STA envía un *Association request* y el AP contesta con *Association response*

- La respuesta podría no ser exitosa (ej: se alcanzó la cantidad máxima de cliente soportados, MAC address rechazada, etc..).

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Proceso de conexión

- 4 - Luego de esto, STA y AP **están conectados (Connected State)**.
- A pesar de esto, la STA **seguirá buscando mejores APs** (concepto básico de movilidad).

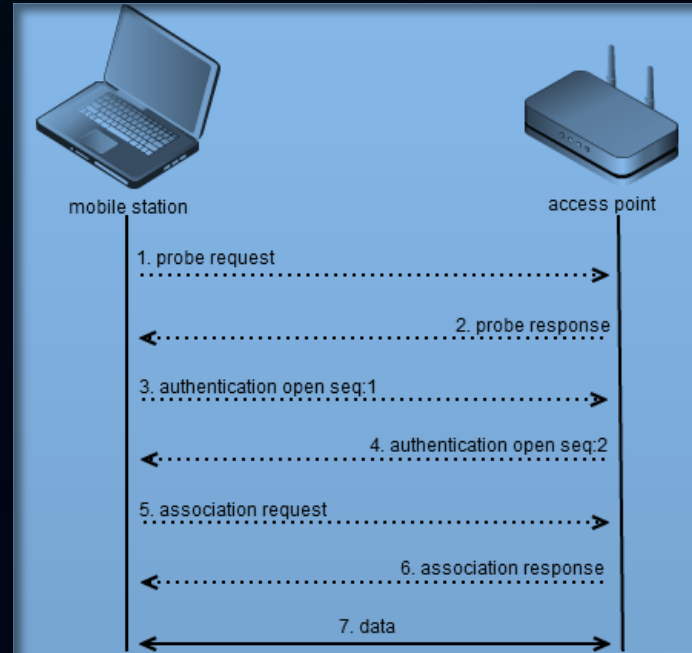


DIAGRAMA
ESCALERA

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Acknowledgments

- ◆ No hay un mecanismo de verificación de error físico como en una red Ethernet (*Collision Detection*).
- ◆ Cada vez que un dispositivo WiFi transmite información, lo siguiente que tiene que pasar es recibir un “reconocimiento” (ACK).
- ◆ Sin embargo, el ACK es obligatorio en Unicast, pero no así en multicast o broadcast.
- ◆ Esto genera un problema en Multicast, ya que no hay manera de asegurar que la información haya llegado correctamente a todos los dispositivos que tendrían que recibirla.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Distributed Coordination Function (**DCF**)

- ◆ Al usar una única frecuencia para enviar y recibir datos, WiFi duplexa usando **TDD** (Half-duplex).
- ◆ Se requiere entonces un mecanismo que **coordine** esa duplexación.
- ◆ **DCF** (*Distributed coordination function*): Especifica que una STA solo puede transmitir cuando el **canal está libre**.
- ◆ Forma parte del primer standard (802.11-1997), con mejoras en 802.11e-2005 y 802.11-2016.
- ◆ Define cuatro componentes para "asegurar" que los dispositivos compartan el medio de manera "equitativa":
 - Detección **física** de la portadora.
 - Detección **virtual** de la portadora.
 - Interframe Spaces (**IFS**).
 - **Random** Back-off timers.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Detección **física** de la portadora

- ◆ El dispositivo chequea que **no existan transmisiones** en una determinada frecuencia, para determinar si el **medio está libre** o no.
- ◆ Es un estado "casi" constante del dispositivo: solamente no se da cuando se sabe que hay una transmisión en curso.
- ◆ Una vez que **detectan** una **señal** en el aire, intentan sincronizarse con ella, mediante la detección del **preámbulo** de la trama.
- ◆ La detección física de portadora es parte del proceso de **evaluación del canal libre (CCA)**

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

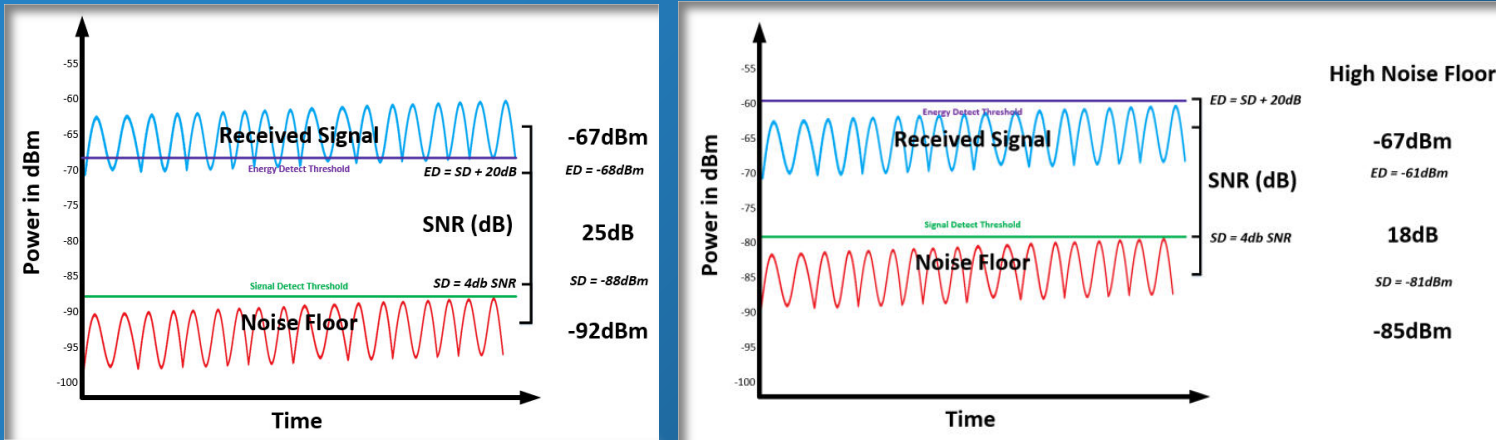
Detección **física** de la portadora

- ◆ El Clear Channel Assessment (**CCA**) es el proceso utilizado para detectar el motivo por el cual el canal está ocupado:
 - Detección de Señal (**SD**): El dispositivo trata de detectar el **preámbulo** de una trama, cuando el nivel de la señal está **4 dB por encima** del piso de **ruido**. No intentará iniciar una transmisión si detecta señal de otro dispositivo.
 - Detección de Energía (**ED**): Implica la detección de **interferencias** de fuentes no WiFi, con un umbral de **20 dB por encima** del de **señal**.
 - El proceso de detección dura aproximadamente 4 μ seg.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Detección física de la portadora

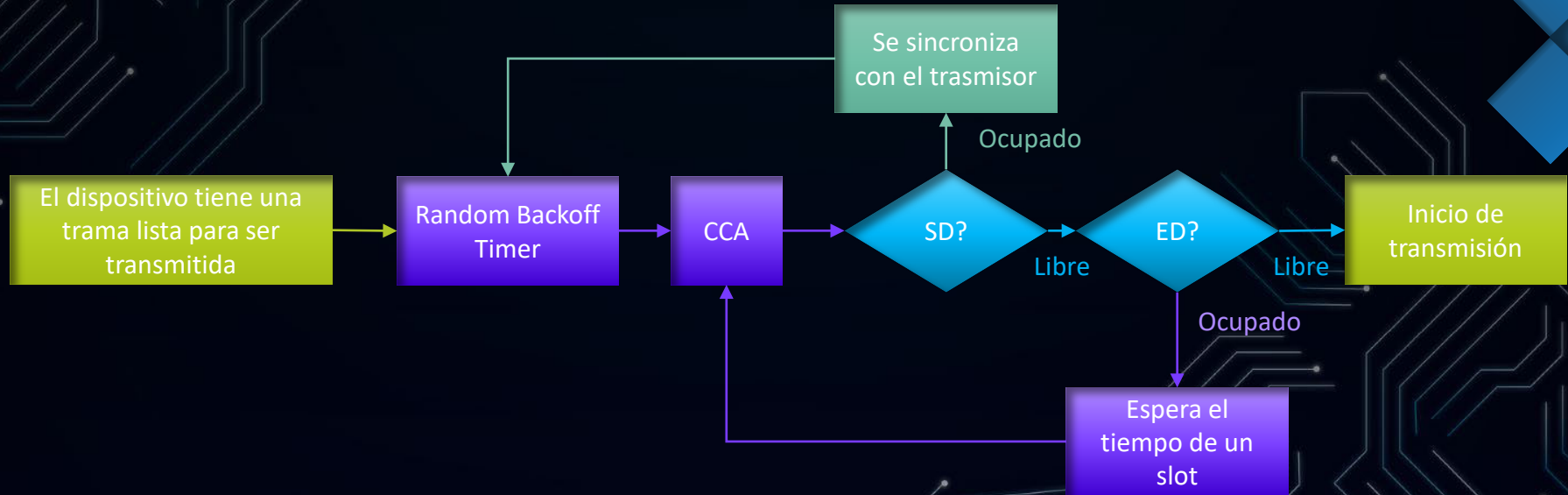
Detección de interferencias en escenarios ruidosos



ALTO PISO DE
RUIDO

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

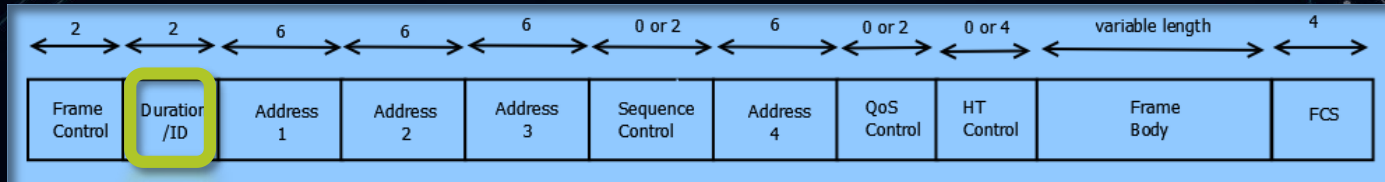
Versión simplificada del CCA



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Detección **virtual** de la portadora

- ◆ Luego de la detección física de portadoras, en el caso de detectarse señal, se "lee" la trama que hay en el aire.
- ◆ A la vez, cada vez que se realiza una transmisión, se incluye en la trama un valor de duración:



- ◆ Con este valor se indica el tiempo (en μseg) necesario hasta que se finalice el envío de la trama.
- ◆ No es solamente el tiempo de la trama de datos en sí, sino el total del proceso, incluyendo el ACK del envío.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Detección **virtual** de la portadora

- ◆ Al sincronizarse con la trama que se "escucha" y leerse el valor de duración, se setea un timer: Network Allocation Vector (**NAV**).
- ◆ No se intentará acceder al medio hasta que expire el NAV.
- ◆ Las tramas de ACK y Beacon setean la duración =0, indicando que, luego de su cierre, el medio queda disponible para ser accedido.
- ◆ Cuando una STA consideran que pueden acceder al medio, envía un Request To Send (RTS) con la duración "pretendida" para usar el medio.
- ◆ Pero el medio no queda "reservado" hasta recibir un Clear To Send (CTS) del AP.

The image features a dark blue background with a white circuit board pattern. Overlaid on this are several overlapping, semi-transparent blue geometric shapes, primarily diamonds and rectangles, arranged in a diagonal pattern. The text is positioned on these shapes.

REDES WLAN

& REDES
CELULARES
INDOOR

Clase 3

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Espacio entre tramas (**IFS**)

Interframe Spaces

"**Tiempo** transcurrido entre el **fin** del **último símbolo** de la trama **anterior** y el **inicio** del primer símbolo del preámbulo de la **subsecuente** trama que se ve en la interface de aire"

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Espacio entre tramas (IFS)

- ◆ Se denomina así al "tiempo de aire muerto" que transcurre entre transmisión y transmisión.
- ◆ Se necesitan para evitar que los dispositivos se interfieran entre sí y priorizar ciertas transmisiones.
 - **SIFS** (*Short IFS*): Cuando un terminal sabe que es su momento de transmitir.
 - **DIFS** (*DCF IFS*): Cuando un terminal quiere transmitir pero no sabe si es su turno.
 - **DIFS = SIFS + 2 * Tiempo_del_Slot**
 - *SIFS* = entre **10** y **16 μseg** dependiendo del standard y de la banda.
 - *Tiempo_del_Slot* = entre **9** y **20 μseg** dependiendo del standard y de la banda.

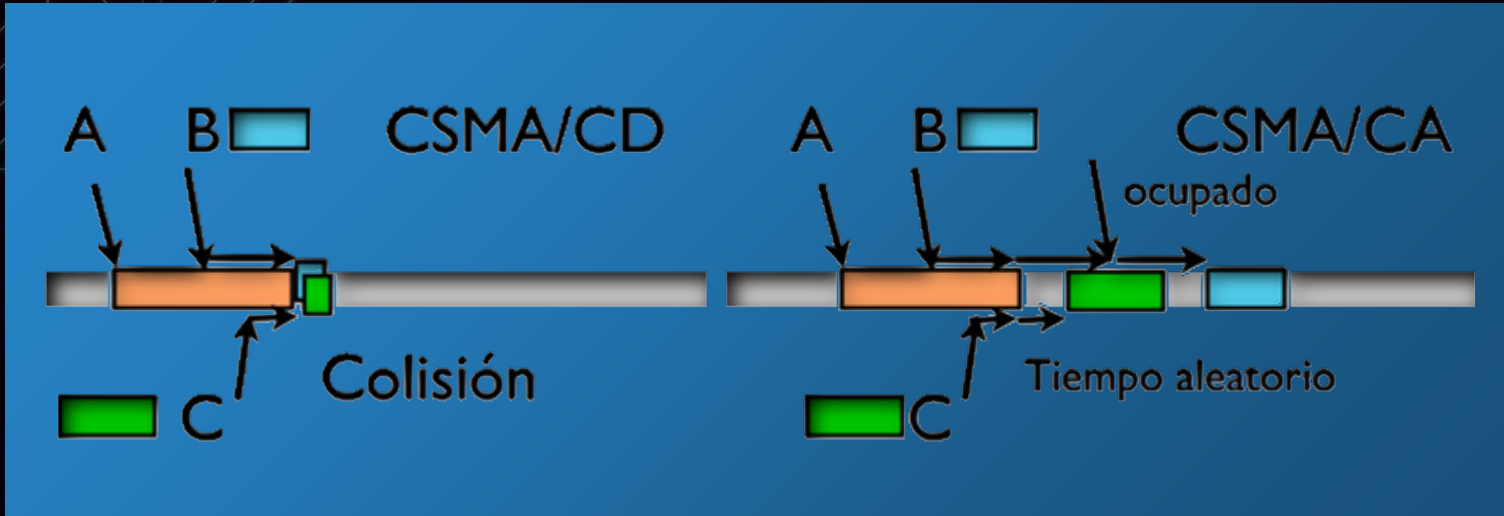
CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

CSMA/CA

- ◆ Al ser WiFi Half Duplex, no puede usar entonces CD (no se puede escuchar mientras se transmite).
- ◆ Sí utiliza, al igual que Ethernet, **CSMA** (*Carrier Sense Multiple Access*)
- ◆ CSMA es un método de *Media Access Control* con estructura **LBT** (*Listen Before Talk*)
- ◆ En lugar de CD, utiliza CSMA/CA (*Collision Avoidance*)
- ◆ Para evitar las colisiones, utiliza un **RBT** (*Random Backoff Timer*)
- ◆ Como todas las transmisiones unicast deben tener un ACK, de no recibirlo, asume que se dio una **colisión**.
Reintenta entonces luego de un intervalo **pseudoaleatorio**.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

CSMA/CD vs CSMA/CA



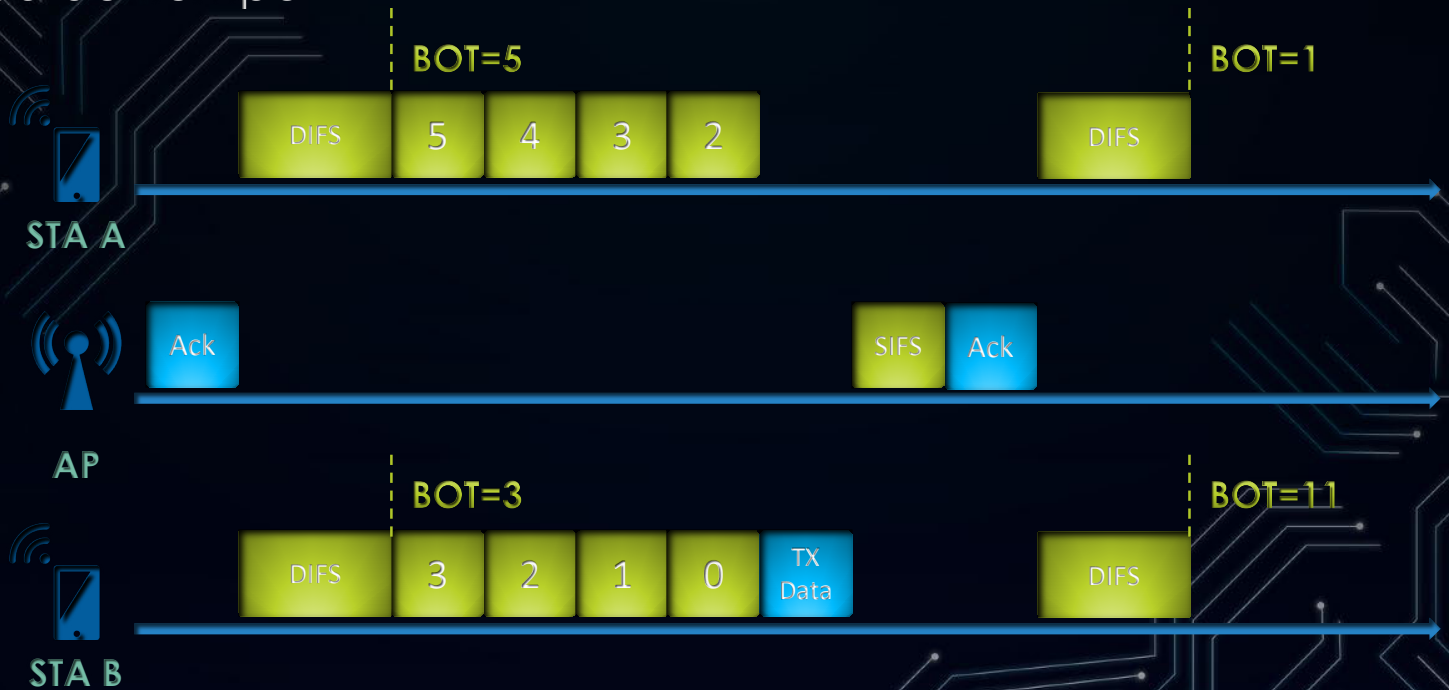
CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

CSMA/CA

- ◆ El RBT es una palabra de entre 4 bits (0 a 15) y 10 bits (0 a 1023) que cada cliente toma al azar y espera ese número x el slot time antes de transmitir.
- ◆ **Se “trata”** de evitar las colisiones, pero de todos modos pueden darse (por ejemplo, si dos STA toman el mismo número aleatorio).
- ◆ La probabilidad de colisiones será más alta cuanto más estaciones estén en una misma área sobre un mismo canal.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Línea de tiempo



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Línea de tiempo



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Secuencia

ACK

Tanto la STA A como la STA B esperan escuchar un ACK (no importa a quien esté dirigido) del AP.

DIFS

Esperan un DIFS (no usan SIFS ya que no saben si es su turno de hablar)

BackOff Timer

Toman de forma aleatoria un número n de 0 a 15 (4 bits) para el backoff timer (BOT). Ninguno sabe cual tomó el otro x que eso implicaría que hablen entre sí, por ende que transmitan, y, por ende, una colisión.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Secuencia

Datos

Después de n x slot rime, el que decrementó y llegó a 0 primero (STA B) transmite data.

CCA

El otro (STA A) al escuchar, dispara un estado negativo CCA ("¿Está libre el medio?").

SIFS

El AP espera un SIFS (ya que sabe que es su turno) antes de transmitir el ACK.

ACK

El AP envía el ACK a la STA B, luego del cual, tanto esta como las demás estaciones que deseen transmitir, esperarán otro DIFS.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

CSMA/CA

- ◆ El valor máximo que toma el RBT se denomina Ventana de contención (**Contention Window** - CW).
- ◆ En entornos **congestionados**, al ser probable que dos o más estaciones elijan el **mismo** valor, en el siguiente intento **incrementará** el tamaño de la ventana. Teniendo así, **más** valores entre los que elegir y **menor** probabilidad de colisión.
- ◆ Es decir, el tiempo de espera recorre el intervalo $[0, CW] \cdot \text{slot time}$, dónde:
 - $CW_{\min} \leq CW \leq Cw_{\max}$
 - $CW_{\min} = 15 \text{ slots} \ \& \ Cw_{\max} = 1023 \text{ slots}$ (cambian al usar QoS)
 - Se recorre desde CW_{\min} hasta un Cw_{\max} :
 $CW = (CW_{\min} + 1) \cdot 2^n - 1$, dónde $n = 0, 1, 2, \dots$ Es el número de intento.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Contention Window



Intento inicial

Trama anterior

DIFS

0-15

1° Retransmisión

Trama anterior

DIFS

0-31

2° Retransmisión

Trama anterior

DIFS

0-63

3° Retransmisión

Trama anterior

DIFS

0-127

4° Retransmisión

Trama anterior

DIFS

0-255

6° Retransmisión

Trama anterior

DIFS

0-1023

>6° Retransmisión

Trama anterior

DIFS

0-1023

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Request to Send (**RTS**) / Clear to Send (**CTS**)

- ◆ A diferencia del RTS/CTS de un modem, en WiFi transportan información.
- ◆ Esa información es un valor de duración (en $\mu\text{seg.}$) en el que el medio debe estar “libre”.
 - Ej: “*Dame 200 microsegundos para mí*”. Los demás se quedan callados ese tiempo.
- ◆ **RTS**: 20 bytes. Lleva la MAC address de origen y destino.
- ◆ **CTS**: 14 bytes. Lleva la MAC address de destino únicamente (no se sabe quien lo envía)
- ◆ El AP puede iniciar un RTS a una STA determinado y la STA contesta con un CTS a ese AP.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

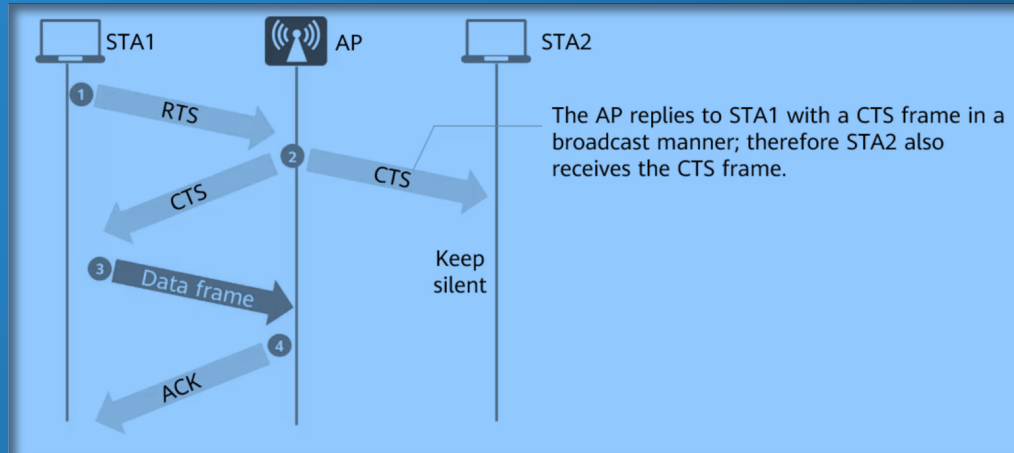
RTS/CTS

- ◆ Como el RTS de un AP puede estar dirigido a cualquier STA, las demás, al escucharlo deben “obedecer y quedarse calladas”.
- ◆ Incluso si el RTS viene de otro AP, usando el mismo canal, también la STA debe dejar limpio el medio aunque no esté conectado a ese AP.
- ◆ Un AP puede enviar un CTS con su propia MAC como destino para “Limpiar un área” (*CTS to Self*).
- ◆ El CTS puede ser usado por hackers como un ataque de denegación de servicio (*Wireless DOS – CTS Flood*).

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

RTS/CTS

Secuencia

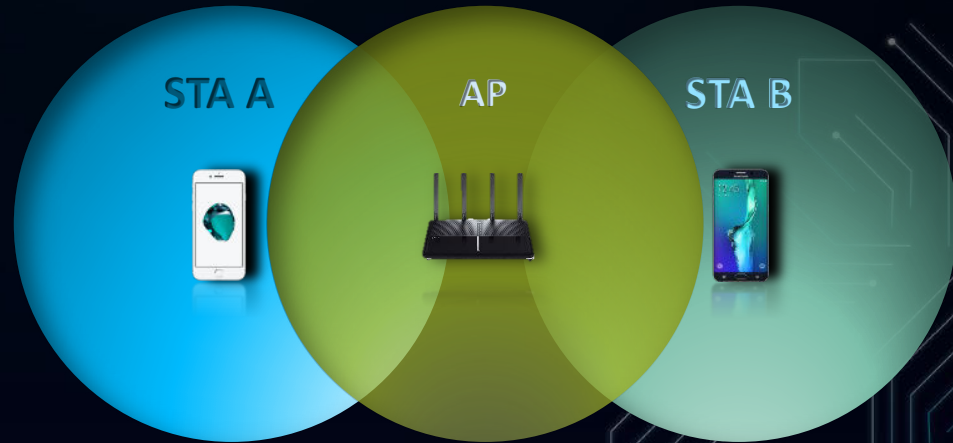


PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS OCULTOS

PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS OCULTOS

Factores que la causan

- Ocurre cuando una estación es vista desde el AP pero no desde las otras estaciones.
- Esto genera problemas en la subcapa MAC, ya que el CA no funcionará correctamente.



STA A NO VE
A STA B

PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS OCULTOS

Factores que la causan

- Puede ser causado por distintos motivos
 - Distancia
 - Obstrucciones
 - Patrones de irradiación de las antenas.
- Se puede dar con facilidad en escenarios outdoor utilizando antenas direccionales.

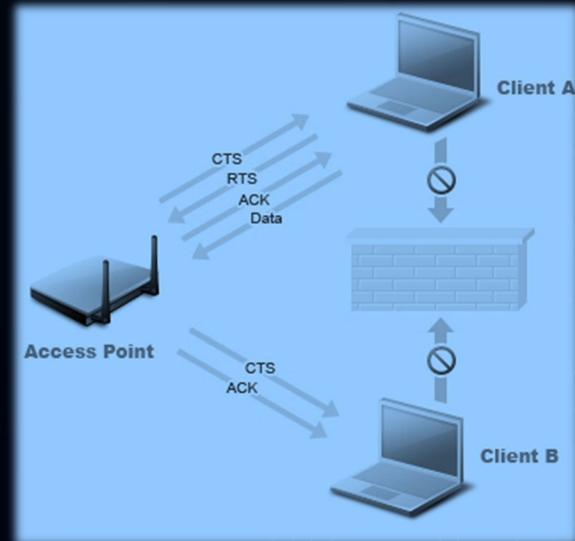


ANTENAS
DIRECCIONALES

PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS OCULTOS

Mitigar los nodos ocultos

- En el caso de nodos fijos (Outdoor):
 - Usar antenas sectoriales u omnidireccionales.
 - Incrementar la potencia de las STA.
 - Remover obstáculos.
 - Mover el nodo.
- Para clientes móviles, es menos controlable.
 - Si bien el uso de RTS/CTS no es obligatorio para el funcionamiento del DCF, se implementa desde la STA al AP.
 - La STA que quiere hablar “levanta la mano” con un RTS.
 - Solo la que recibió un OK mediante el CTS puede transmitir.

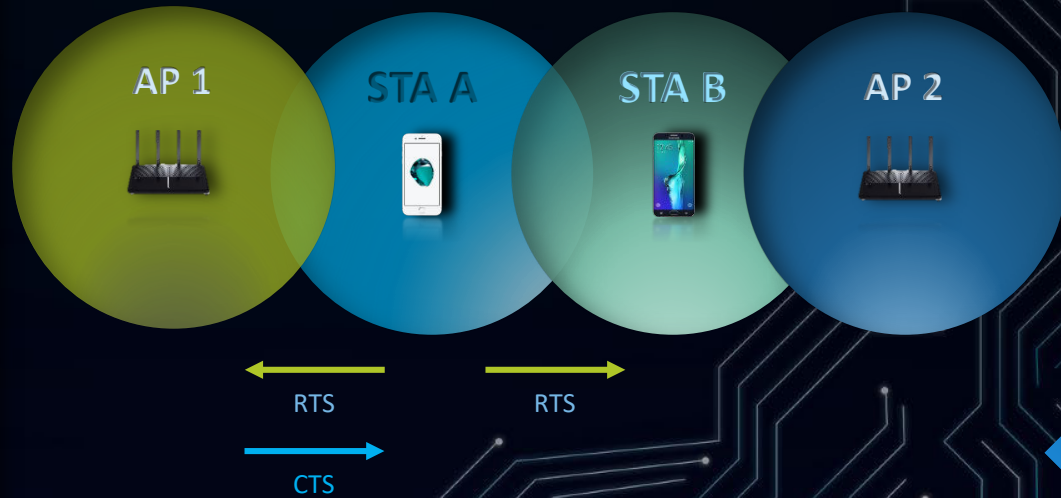


PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS EXPUESTOS

PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS EXPUESTOS

Factores que la causan

- Ocurre cuando dos estaciones conectadas a distintos APs se ven entre sí, pero no así los APs.
- En este caso, se generan RBT innecesarios, ya que STA B "escuchará" los mensajes RTS de STA A a AP 1 y no le "hablará" al AP 2 considerando que el canal está ocupado.



AP 1 NO VE
A AP 2

The background features a dark blue field with intricate white circuit-like patterns. Overlaid on this are several large, overlapping blue geometric shapes, primarily diamonds and rectangles, which create a layered, architectural effect. The text is positioned on these shapes, with some in white and some in a darker blue.

REDES WLAN

& REDES
CELULARES
INDOOR

Clase 4

CALIDAD DE SERVICIO

QoS EN REDES DE PAQUETES

Objetivos

- ◆ **Priorización** y mecanismos de **reservas** de recursos.
- ◆ Es la habilidad de otorgar distintas **prioridades** a distintos **usuarios, aplicaciones o flujos**.
- ◆ Se **trata** de asegurar dicha calidad, aunque **no** todos los mecanismos necesariamente la aseguran.
- ◆ Es indispensable en:
 - Servicios **inelásticos** → Ej. VoIP.
 - Cuando las capacidades de transporte de información son limitadas por el **medio** → Ej. Satelital.
 - Cuando se **compite** por el recursos → Ej. Radio frecuencia.

QoS EN REDES DE PAQUETES

Clasificación y Marcación

- ◆ Criterios de Clasificación (ejemplos):
 - **Capa 1:** Interfaz física de ingreso.
 - **Capa 2:** IEEE 802.1Q/p CoS.
 - **Capa 3:** DSCP en IPv4 - Direccionamiento.
 - **Capa 4:** Puertos TCP/UDP.
 - **Capa 7: Deep Packet Inspection** (Firmas de aplicaciones - ej. NBAR).

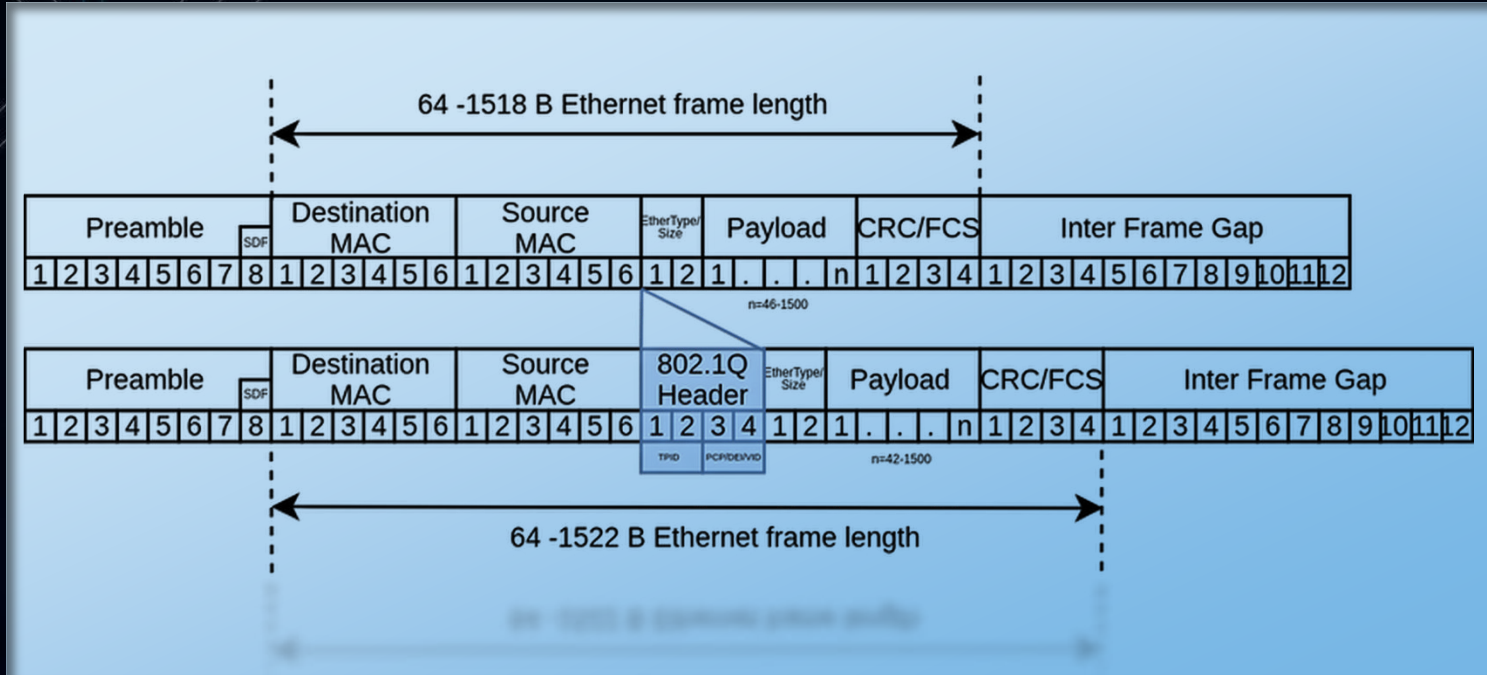
IEEE 802.1p

QoS en capa 2

- ◆ Inicialmente, Ethernet (IEEE 802.3), no contemplaba ningún mecanismo para QoS.
- ◆ IEEE 802.1p (mediante 802.1Q), provee mecanismos para implementar QoS en el **Media Access Control**.
- ◆ Se incorporó al estándar IEEE 802.1D en 1998 y luego al 802.1Q-2014.
- ◆ Se lo conoce como **Class of Service (CoS)**
- ◆ Básicamente es un campo de 3 bits (PCP – **Priority Code Point**) en el header de una trama Ethernet **cuando se utiliza una VLAN**.
- ◆ Si no se usan VLANs (y el dispositivo lo soporta), se puede usar 802.1p marcando con VLAN ID=0.

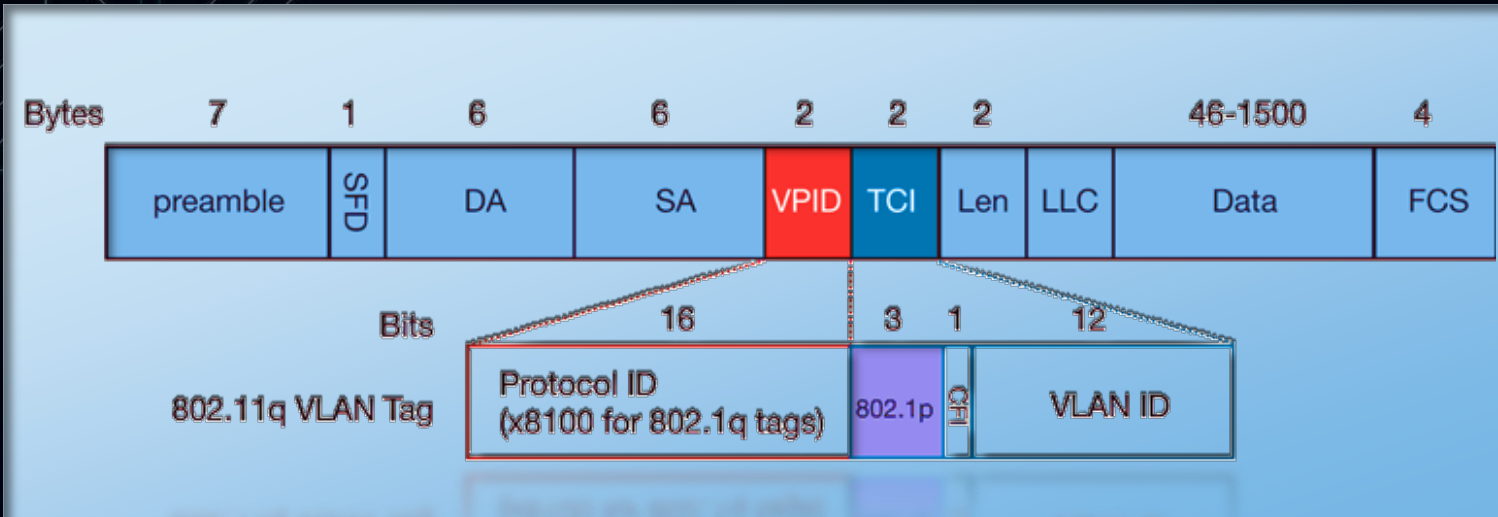
IEEE 802.1p

Trama Ethernet vs 802.1Q



IEEE 802.1p

Trama Ethernet 802.1Q



IEEE 802.1p

Niveles de prioridad

Valor de PCP	Prioridad	Acrónimo	Tipos de tráfico
1	0 (más baja)	BK	Background
0	1 (default)	BE	Best effort
2	2	EE	Excellent effort
3	3	CA	Aplicaciones Críticas
4	4	VI	Video, < 100 ms (latencia & jitter)
5	5	VO	Voz, < 10 ms (latencia & jitter)
6	6	IC	Control entre redes
7	7 (más alta)	NC	Control de la red

NIVELES DE
PCP

IEEE 802.1p

Trama Ethernet sin 802.1p

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1 15:15:28.582274000	7.7.7.1	224.0.0.10	EIGRP	74	Hello
2 15:15:29.427002000	CiscoInc	CiscoInc_79:a4:c7	LOOP	60	Reply
3 15:15:31.521122000	7.7.7.7	7.255.255.255	NBNS	92	Name query NB ACP.INE.COM<0
4 15:15:32.270240000	7.7.7.7	7.255.255.255	NBNS	92	Name query NB ACP.INE.COM<0
5 15:15:33.020487000	7.7.7.7	7.255.255.255	NBNS	92	Name query NB ACP.INE.COM<0
6 15:15:33.241818000	7.7.7.1	224.0.0.10	EIGRP	74	Hello
7 15:15:34.341873000	CiscoInc	CDP/VTP/DTP/PAaP/UDLD	CDP	369	Device ID: R1 Port ID: Fast

Frame 1: 74 bytes on wire (592 bits), 74 bytes captured (592 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: ciscoInc_79:a4:c7 (00:25:84:79:a4:c7), Dst: IPv4mcast_0a (01:00:5e:00:00:0a)
 Destination: IPv4mcast_0a (01:00:5e:00:00:0a)
 Source: CiscoInc_79:a4:c7 (00:25:84:79:a4:c7)
Type: IP (0x0800)
 Internet Protocol Version 4, Src: 7.7.7.1 (7.7.7.1), Dst: 224.0.0.10 (224.0.0.10)
 Cisco EIGRP

```

0000  01 00 5e 00 00 0a 00 25 84 79 a4 c7 08 00 45 c0  ..^....%.y...E.
0010  00 3c 00 00 00 00 01 58 ca 98 07 07 01 e0 00  .<....X .....
0020  00 0a 02 05 ed 6e 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....n.....
0030  00 00 00 00 00 64 00 01 00 0c 01 00 01 00 00 00  .....d.....
0040  00 0f 00 04 00 08 0c 00 02 00 00 00 00 00 00  .....
  
```

IEEE 802.1p

Trama Ethernet con 802.1p y QinQ

```
▶ Frame 6 (50 bytes on wire, 50 bytes captured)
  ▼ Ethernet II, Src: 3com_03:04:05 (00:01:02:03:04:05), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
    ▶ Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
    ▶ Source: 3com_03:04:05 (00:01:02:03:04:05)
      Type: 802.1Q Virtual LAN (0x8100)
    ▼ 802.1Q Virtual LAN, PRI: 0, CFI: 0, ID: 1
      000. .... = Priority: 0
      ...0 .... = CFI: 0
      .... 0000 0000 0001 = ID: 1
      Type: 802.1Q Virtual LAN (0x8100)
    ▼ 802.1Q Virtual LAN, PRI: 0, CFI: 0, ID: 10
      000. .... = Priority: 0
      ...0 .... = CFI: 0
      .... 0000 0000 1010 = ID: 10
      Type: IP (0x0800)
    ▶ Internet Protocol, Src: 192.168.0.1 (192.168.0.1), Dst: 255.255.255.255 (255.255.255.255)
      ▶ Protocol: ... Prot
```

Calidad en el aire

- Define dos nuevas funciones de coordinación (además de la DCF):
 - EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*)
 - HCCA (*Híbrid Coordinated Channel Access*)

CALIDAD DE SERVICIO

Enhanced Distributed Channel Access

- ◆ No define si se manda primero el tráfico de tiempo real (video/voz) o el de menor prioridad. Tan solo aumenta las chances de que el tráfico más crítico acceda al medio.
- ◆ Introduce el AIFS (*Arbitrary IFS*). Es un IFS variable, cuya longitud cambia en función de la categoría del tráfico. (Voz, Video, Best Effort & Background)
- ◆ Define cuatro niveles de prioridad.
- ◆ En función del nivel, cambia la cantidad de bits usados en el BOT. Por lo tanto, a menos bits, mayor probabilidad de llegar a cero antes.
 - BOT Best Effort & Background: 0-15 (4 bits).
 - BOT Video: 0-7 (3 bits).
 - BOT Voz: 0-3 (2 bits).

CALIDAD DE SERVICIO

Enhanced Distributed Channel Access

112

No es un verdadero sistema QoS

Si bien **estadísticamente ganarían voz y video**, puede darse, por ejemplo, que un paquete de **background** (BOT 0,1,2), **le gane a uno de voz** (BOT 3).

CALIDAD DE SERVICIO

Enhanced Distributed Channel Access

- Mapea de forma directa con la clase de servicio de Ethernet (IEEE 802.1p).

Prioridad	802.1p			802.11e	
	Priority Code Point (PCP)	Acónimo	Tipo de tráfico	Access Category (AC)	Designación
La más baja	1	BK	Background	AC_BK	Background
	2	--	Spare	AC_BK	Background
	0	BE	Best Effort	AC_BE	Best Effort
	3	EE	Excellent Effort	AC_BE	Best Effort
	4	CL	Controlled Load	AC_VI	Video
	5	VI	Video	AC_VI	Video
	6	VO	Voice	AC_VO	Voice
La más alta	7	NC	Network Control	AC_VO	Voice

802.1P
A 802.11E

CALIDAD DE SERVICIO

Híbrido Coordinated Channel Access

- ◆ El AP dirige a los demás, usando un *Controlled Access Phase (CAP)*.
- ◆ Una STA puede solicitar parámetros de transmisión específicos (jitter, data rate, etc...).
- ◆ Fue propuesto en el estándar, pero **no se implementó** en sistemas reales.
- ◆ Incluso, si bien HCCA es parte del estándar, no es obligatorio su soporte.

CALIDAD DE SERVICIO

WMM (Wireless MultiMedia)

- ◆ Es un subset de la 802.11e definido por la WFA.
- ◆ Solo especifica como obligatorios algunas de las funcionalidades de 802.11e.
- ◆ Los APs pueden (o no) soportarlo, siendo configurable su soporte. Algunos permiten definir además si se envían o no ACKs en este caso.

ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

- ◆ Del lado de las STA (al menos en el caso de las móviles) resulta **crucial** minimizar el consumo energético.
- ◆ Si bien un dispositivo puede pasar a un estado de “sleep”, no puede **perder la conectividad** con el AP.
- ◆ Una solución es apagar la interface de radio un n% del tiempo.
- ◆ Existen dos maneras de administrar la energía:
 - Legacy
 - Advanced

ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

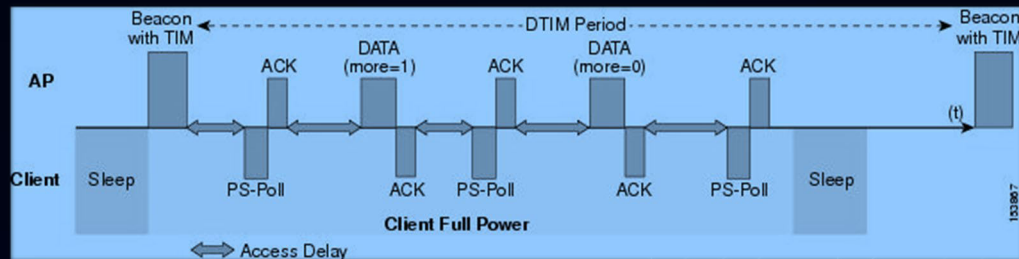
Legacy

- ◆ El cliente manda un *Null Data Frame* diciendo que “se va a dormir” (PM bit = 1).
 - El AP bufferea entonces los datos que le lleguen para ese cliente hasta que se despierte.
 - El PM bit=1 puede enviarse en una trama no nula si el cliente tiene “algo que decir antes de ir a dormir”.
- ◆ Si el cliente tiene que algo para transmitir, “se despierta solo”.
- ◆ Dentro del Beacon del AP, hay una lista de clientes con datos buffereados.

ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

Legacy

- ◆ Secuencia
 - **DTIm**: Es un mensaje dentro del Beacon (el DTIm interval, es aproximadamente 500 mseg y configurable.).
 - El cliente, luego de transcurrido cada DTIm, escucha al Beacon. Cuando ve su nombre en la lista "se despierta".
 - Manda un PS-Poll (Power Save).
 - El AP manda entonces un Data Frame con el *More Data Bit* = 1 y se repite el PS Poll hasta que el *More Data Bit* = 0
- ◆ Es MUY Ineficiente debido al uso de los PS-Poll desde el cliente.
- ◆ Es LENTO debido al pedido constante de los PS-Poll.



ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

Alternative Power Save Delivery (APSD)

- ◆ Estandarizado dentro del WMM (WiFi MultiMedia) Power Save
- ◆ El cliente envía un *Null Data Frame* con PM bit=1.
- El AP bufferea entonces los datos que le lleguen para ese cliente hasta que se despierte.
- ◆ La estación se despierta y lee el beacon buscando su nombre en el DTIm. Si no hay nada para él vuelve a dormir (igual al legacy hasta este punto).

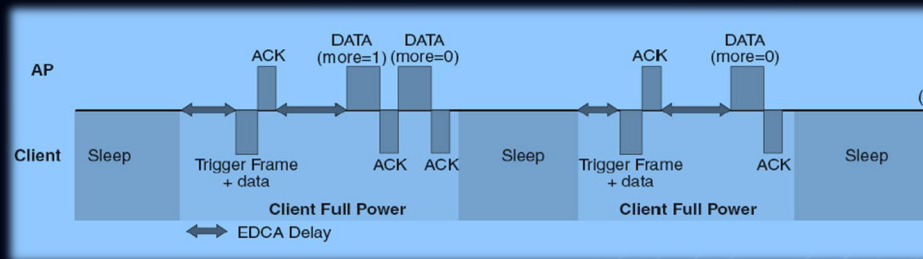
```

Frame 201: 40 bytes on wire (320 bits), 40 bytes captured (320 bits) on interface0
RadioTap Header v0, Length 18
IEEE 802.11 Null function (No data), Flags: ...P...TC
Type/Subtype: Null function (No data) (0x0024)
Frame Control Field: 0x4811
.... 00 = Version: 0
.... 10.. = Type: Data frame (2)
0100 .... = Subtype: 4
Flags: 0x11
.... ..01 = DS status: Frame from STA to DS via an AP
.... ..0.. = More Fragments: This is the last fragment
.... 0... = Retry: Frame is not being retransmitted
..1 .... = PWR MGT: STA will go to sleep
..0. .... = More Data: No data buffered
.0.. .... = Protected flag: Data is not protected
0... .... = Order flag: Not strictly ordered
.000 0000 0010 1100 = Duration: 44 microseconds
Receiver address: Cisco_af:47:4e (64:a0:e7:af:47:4e)
BSS Id: Cisco_af:47:4e (64:a0:e7:af:47:4e)
Transmitter address: Cisco_58:e6:1a (00:1b:d4:58:e6:1a)
Source address: Cisco_58:e6:1a (00:1b:d4:58:e6:1a)
Destination address: Cisco_af:47:4e (64:a0:e7:af:47:4e)
Fragment number: 0
Sequence number: 802
Frame check sequence: 0x758f04e9 [correct]
  
```

ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

Alternative Power Save Delivery (APSD)

- ◆ Si su nombre está en el Beacon envía un Null DF con el Pmbit=0
- ◆ El AP manda todo el dato con el modo normal ("Contention") con el bit *More Data* =1.
- ◆ Cuando el AP manda *More Data*=0, el cliente vuelve al estado sleep.



ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

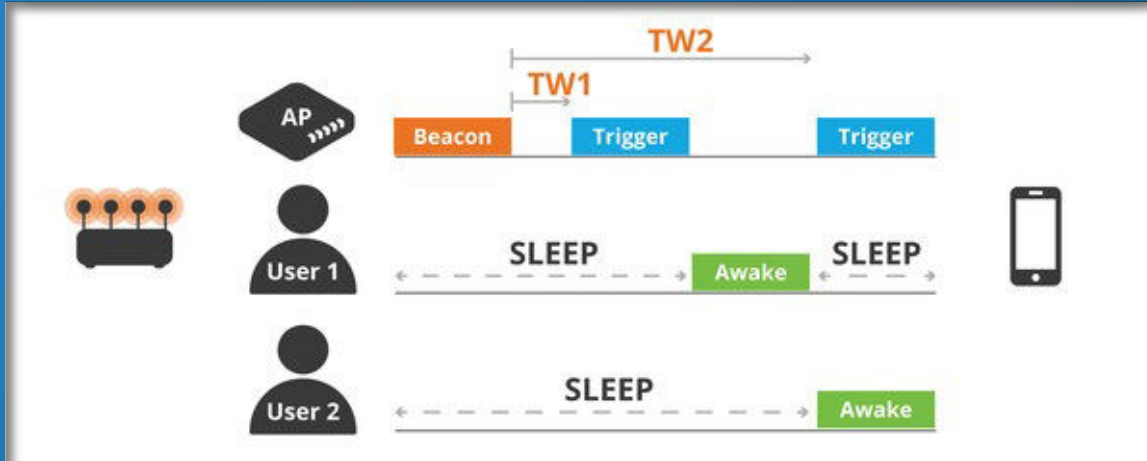
Nuevo en 802.11ax: Target WakeUp Time (TWT)

- ◆ Se incluyó por primera vez en 802.11ah (HaLow), el estándar concebido para IoT.
- ◆ **Reduce** el consumo energético, aumentando, a la vez, la **disponibilidad** del espectro.
- ◆ La STA **no** necesita ahora tener su radio encendida "casi" todo el tiempo para mantener la asociación a un AP.
- ◆ No es solo la STA ahora quien decide si pasa a Sleep.
- ◆ Entre AP y STA se realiza una **negociación** donde se establecen los tiempos de sleep, que puede ser mucho **más elevados** que el intervalo entre DTIMs.
- ◆ El AP puede entonces indicarle a la STA que pase a modo "sleep" y en que momento se tiene que encender.
- ◆ Permite un **importante ahorro** de energía en dispositivos IoT donde el consumo de WiFi puede significar hasta el 30% del total.

ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

Nuevo en 802.11ax: Target WakeUp Time (TWT)

Línea de tiempo



TWT

ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

Nuevo en 802.11ax: Target WakeUp Time (TWT)

- ◆ Al aumentar el tiempo en que las STA **no** están usando de forma alguna el "**recurso** aire", aumenta la disponibilidad del espectro para los demás dispositivos.
- ◆ La implementación en 802.11ax, **mejora** la inicial de 801.11ah:
 - Se incorporan las sesiones de **broadcast** de TWT y una STA solo debe despertarse ante las instrucciones del Beacon de sus sesión.
 - El TWT puede recolectar **información** útil del entorno de RF y uso de los buffers.
 - Puede **interactuar** con otras BSS para "alcanzar un consenso" y **no solapar** las agendas de encendido de los dispositivos.

ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA

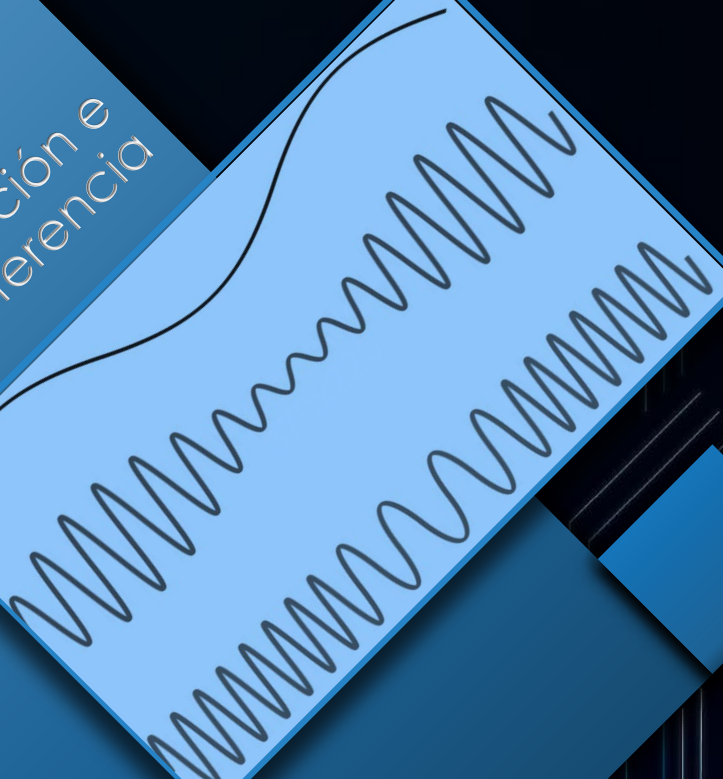
125

Nuevo en 802.11ax: Target WakeUp Time (TWT)

- ◆ La extensión de TWT **no especifica** los criterios para seleccionar que estaciones forman parte de una sesión ni los criterios para agendar los tiempos. Esto **depende** de la implementación.
- ◆ Pueden ser con trigger o sin trigger:
 - **Con** Trigger: El AP envía tramas de trigger para agendar las transmisiones de las estaciones.
 - **Sin** Trigger: Cada STA puede decidir **autónomamente** si sale del modo sleep.

INTRODUCCIÓN A RF

Propagación, modulación e
interferencia

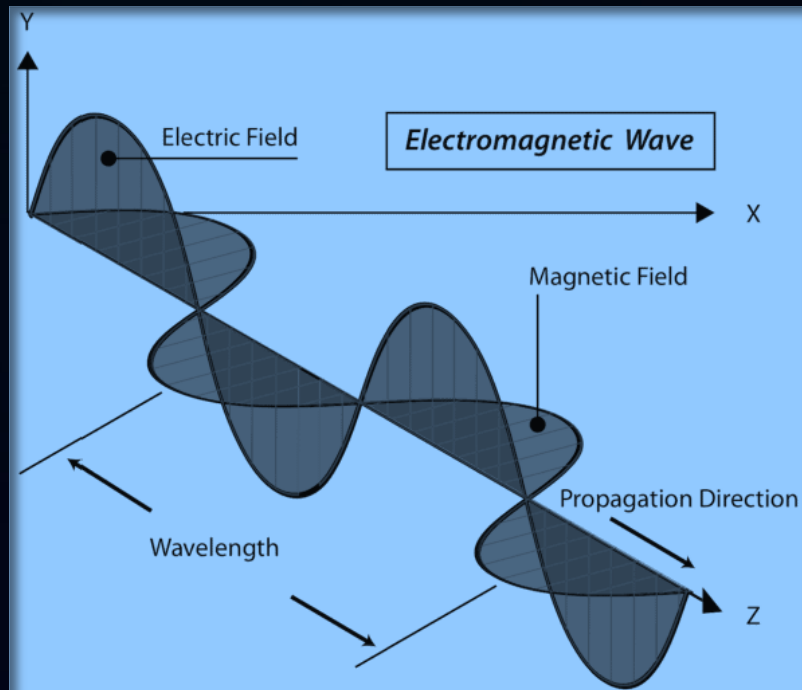


NOCIONES BÁSICAS DE PROPAGACIÓN

INTRODUCCIÓN A RF

Radiación electromagnética

- Es un tipo de campo electromagnético variable que se propaga a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.
- Puede ser representada como campos eléctricos y magnéticos, ortogonales entre sí, autopropagados en forma de onda transversal.



INTRODUCCIÓN A RF

Definiciones básicas

- ◆ **Transmisor (Tx):** Dispositivo capaz de generar radiofrecuencias y, mediante una antena, emitir ondas de radio.
- ◆ **Receptor (Rx):** Dispositivo que, mediante una antena, recibe las ondas de radio y, demodulación mediante, la entrega en forma de una señal útil.
- ◆ **Transceiver:** Transmisor y receptor a la vez.
- ◆ **Modulación:** Variación de una (o más) señal portadora con una señal modulante, la que posee la información útil a ser transmitida.

INTRODUCCIÓN A RF

Definiciones básicas

- ◆ Medio de transmisión: Material que es capaz de transportar ondas de radio (aire, cobre, etc...)
- ◆ Longitud de onda: Distancia en la que se repite un ciclo completo de la onda.
 - Es función directa de la velocidad de propagación en un medio dado.
 - Es función inversa de la frecuencia de la onda.
 - $\lambda := \frac{v}{f}$
 - En WiFi:
 - 2.4 GHz: $\lambda = 12,25$ cm
 - 5 GHz: $\lambda = 5$ cm

INTRODUCCIÓN A RF

Decibel

- Unidad logarítmica para expresar la relación entre dos valores de una magnitud física.
- Regla simple:
 - +3 dB: Doble de potencia.
 - -3 dB: Mitad de potencia.
 - -10 dB: 10% de la potencia.



INTRODUCCIÓN A RF

Decibel

- Si se expresa alguna letra luego del dB, esa relación se establece frente a una referencia previa, por lo que el valor puede interpretarse como absoluto.
- Ej: dBm=Relación frente a una referencia de 1mW

Potencia [dBm]	Potencia [mW]
33	2000
30	1000
10	10
0	1
-10	0,1



Excelente

> -50 dBm



Buena

-50 a -60 dBm



Aceptable

-50 a -70 dBm



Pobre

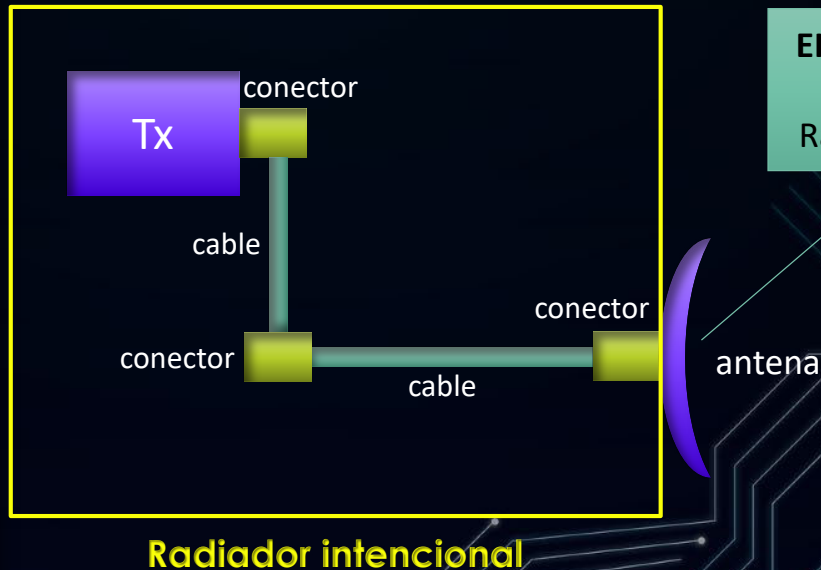
< -70 dBm

**NIVELES
TÍPICOS**

INTRODUCCIÓN A RF

Radiador intencional & EIRP

- La potencia del “radiador intencional” es la que se mide en el **punto de conexión** a la antena.
- En la práctica, sin embargo, el valor que se usa es el EIRP.
- El **EIRP** es la potencia efectivamente irradiada luego de las **atenuaciones** en el cableado o guía de onda y la **ganancia** de la antena frente al radiador isotrópico (dBi).



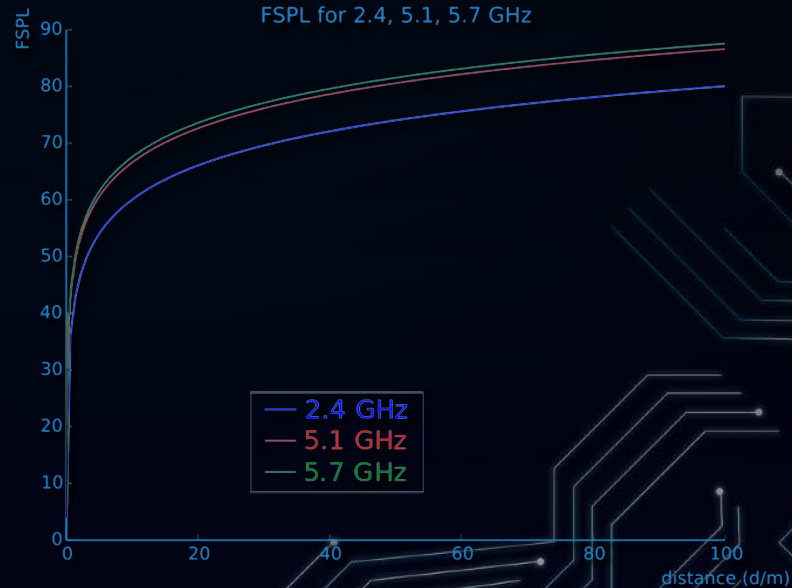
EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power

Radiador intencional

INTRODUCCIÓN A RF

Atenuación en el espacio libre

- Es la **pérdida del nivel de señal** en el espacio libre (aire) conforme aumenta la distancia desde la fuente transmisora.
- Se **expresa** habitualmente en **dB**.
- Es **función de la distancia** y de la **frecuencia**.



AE EN
WIFI

INTRODUCCIÓN A RF

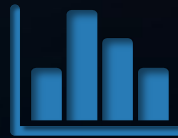
Atenuación en el espacio libre

Fórmula



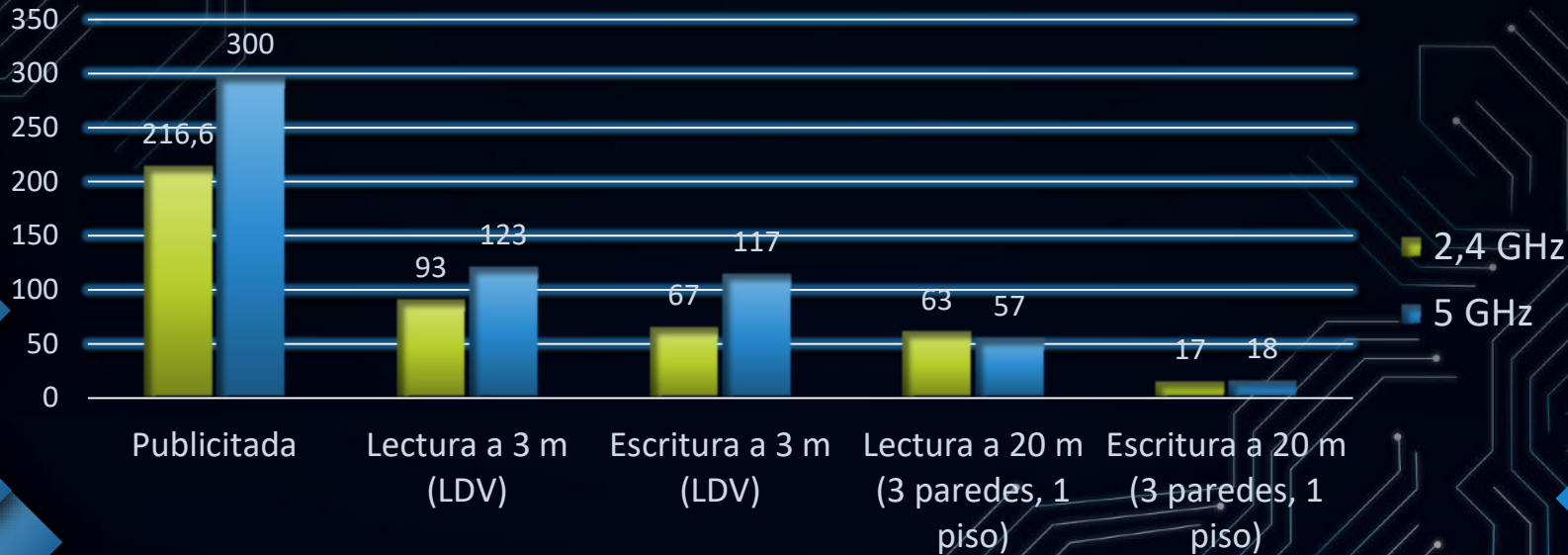
- AEL (FSPL)[dB]:
 - $20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) + 32,45$
(con d en km y f en MHz)
 - $20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) - 27,55$
(con d en m y f en MHz)

ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE



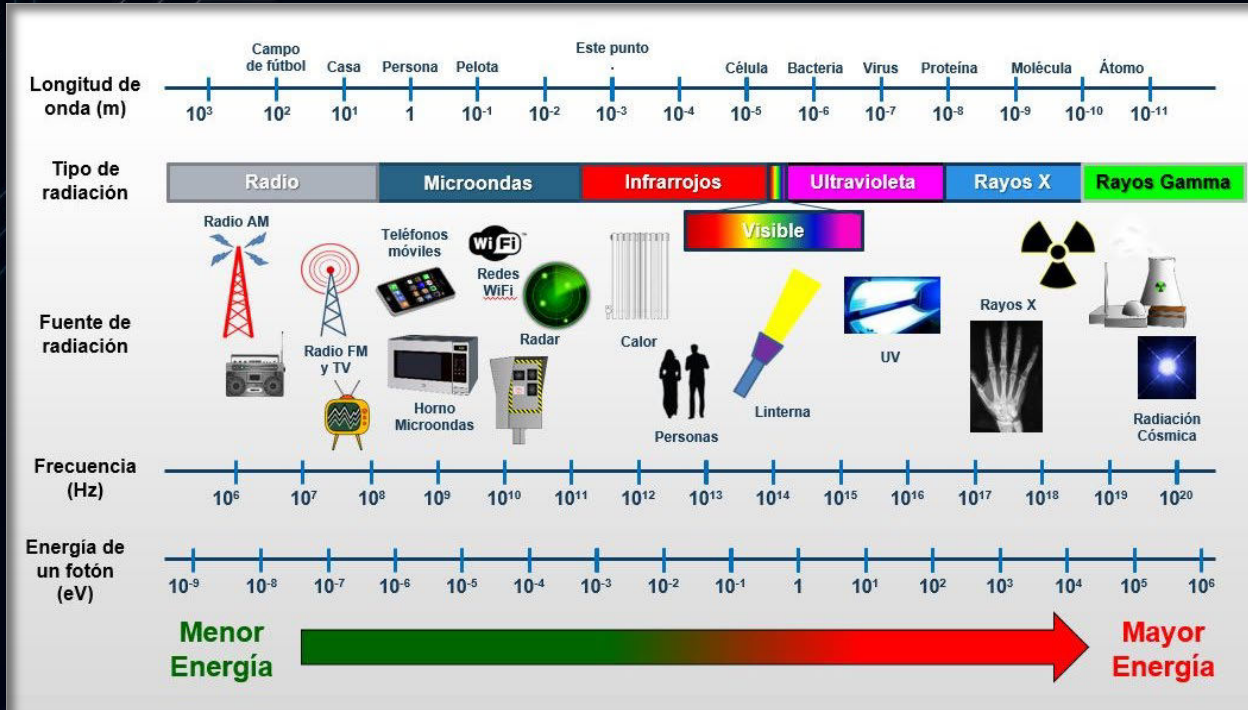
802.11n a 2.4 GHz vs. 5 GHz en el mundo real

Velocidad promedio [Mbps]



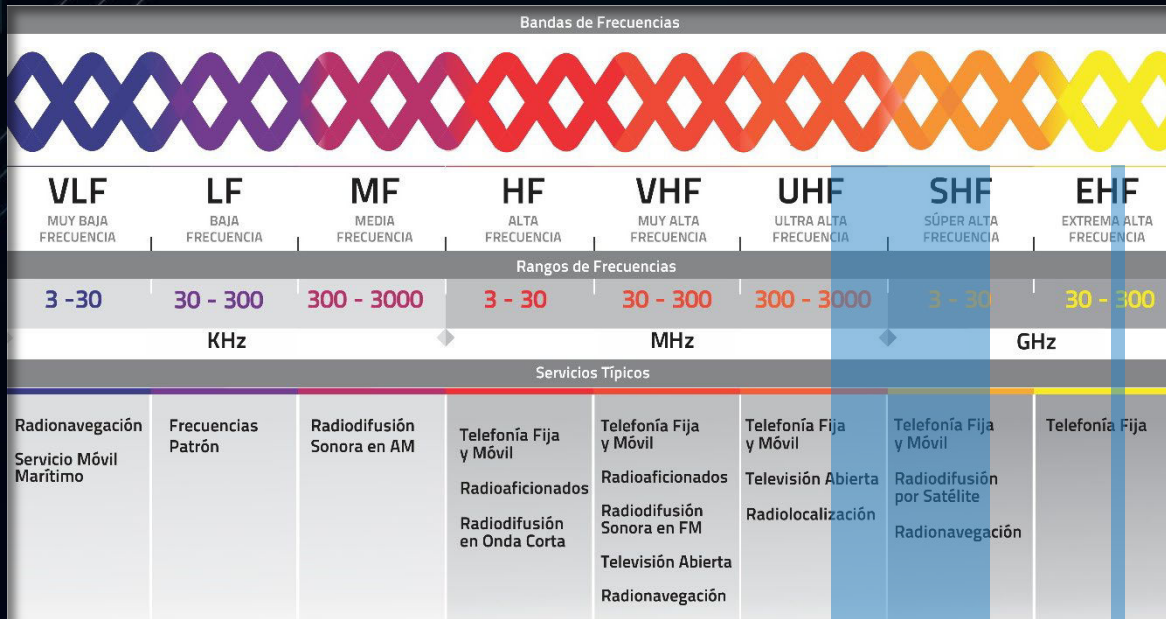
INTRODUCCIÓN A RF

Espectro electromagnético



INTRODUCCIÓN A RF

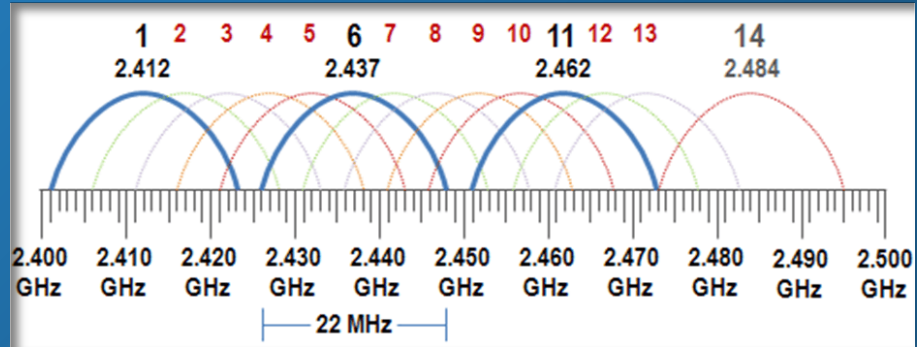
WiFi en el espectro electromagnético



ASIGNACIÓN DE CANALES

2,4 GHz (20/22 Mhz)

Canal	Frec. [MHz]	Dominios Reguladores				
		América (-A)	EMEA (-E)	Israel (-I)	China (-C)	Japón (-J)
1	2412	x	x	—		x
2	2417	x	x	—	x	x
3	2422	x	x	x	x	x
4	2427	x	x	x	x	x
5	2432	x	x	x	x	x
6	2437	x	x	x	x	x
7	2442	x	x	x	x	x
8	2447	x	x	x	x	x
9	2452	x	x	x	x	x
10	2457	x	x	—	x	x
11	2462	x	x	—	x	x
12	2467	—	x	—	—	x
13	2472	—	x	—	—	x
14	2484	—	—	—	—	x

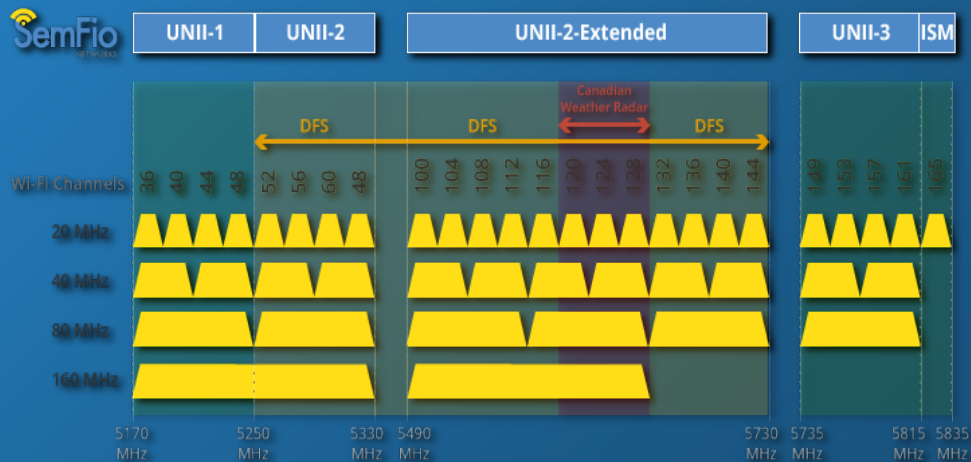


CANALES EN
2,4 GHz

ASIGNACIÓN DE CANALES

5 GHz

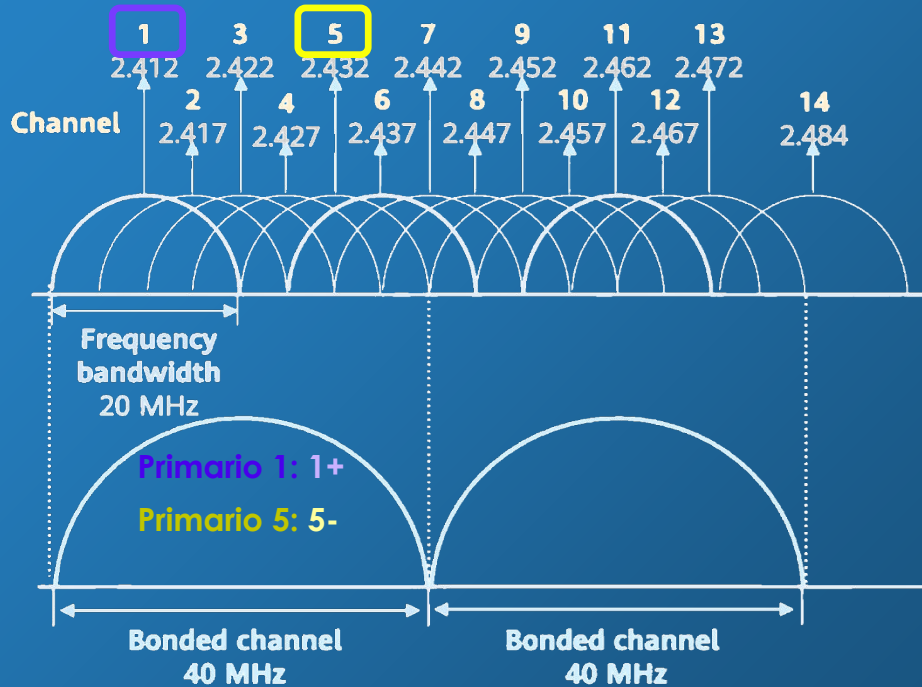
Canal	Frec. [MHz]	Dominios Reguladores			
		América (-A)	EMEA (-E)	Israel (-I)	Japón (-J)
34	5170	—	—	—	—
36	5180	x	x	x	—
38	5190	—	—	—	—
40	5200	x	x	x	—
42	5210	—	—	—	—
44	5220	x	x	x	—
46	5230	—	—	—	—
48	5240	x	x	x	—
52	5260	x	—	—	x
56	5280	x	—	—	x
60	5300	x	—	—	x
64	5320	x	—	—	x
149	5745	—	—	—	—
153	5765	—	—	—	—
157	5785	—	—	—	—
161	5805	—	—	—	—



CANALES EN
5 GHz

AGRUPACIÓN DE CANALES (CHANNEL BONDING)

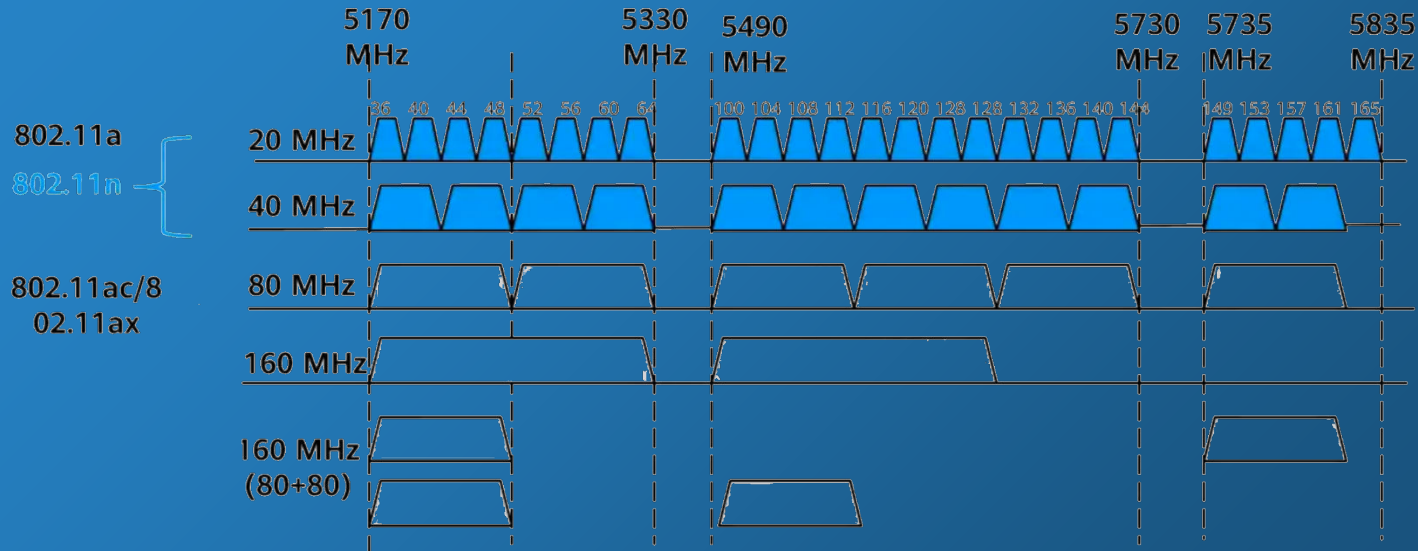
Ampliando la capacidad



BONDING EN
2.4 GHz

AGRUPACIÓN DE CANALES (CHANNEL BONDING)

Ampliando la capacidad

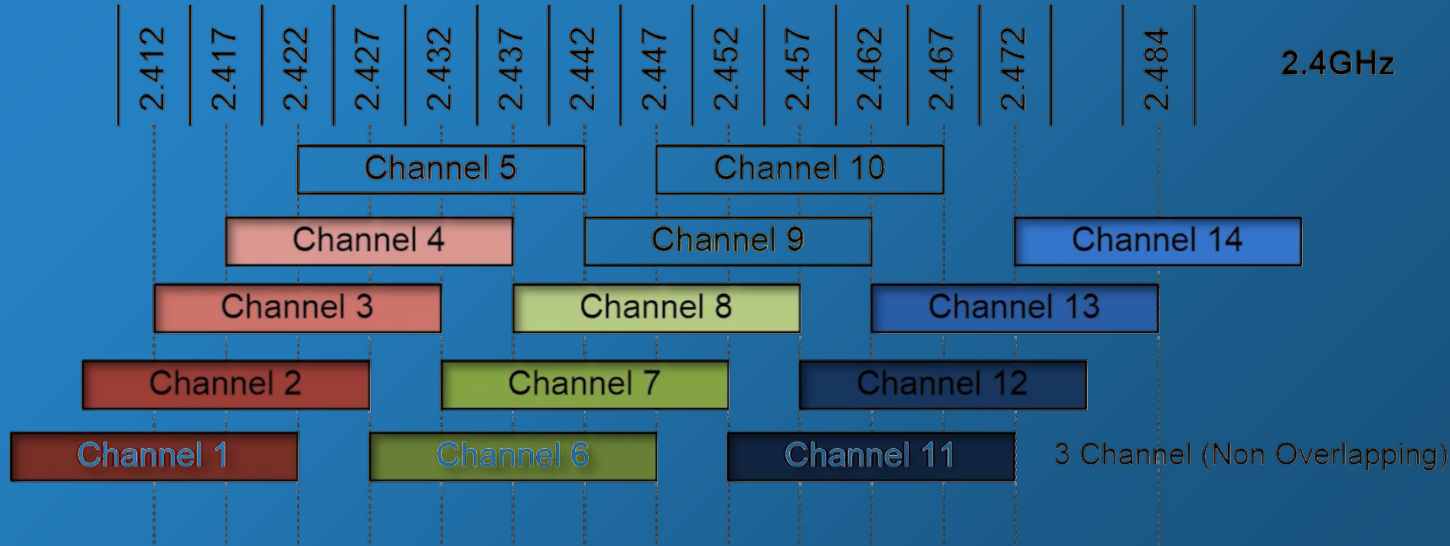


BONDING EN
5 GHz

INTERFERENCIA & SELECCIÓN AUTOMÁTICA DEL CANAL

SOLAPAMIENTO DE CANALES

Banda de 2.4 GHz



CANALES EN
2.4 GHz

INTERFERENCIA

Las tres causas principales - Co-Canal

- Sobre un mismo canal intentan comunicarse distintos dispositivos.
- Cada STA y AP compite por el tiempo en el aire.
- Al compartir en el tiempo el mismo recurso, la disponibilidad para cada uno disminuye.
- Se vuelve un problema a medida que aumentan los dispositivos sobre un mismo canal.



CO-CANAL

INTERFERENCIA

Las tres causas principales – Fuentes no WiFi

La banda de 2,4 GHz es la más saturada.

- Al operar en **bandas no licenciadas**, de las que otras tecnologías hacen uso, es posible que el espectro esté "sucio".
- Estas fuentes externas **aumentan el piso de ruido**, por ende baja la SNR, por ende es necesario usar una **modulación más robusta**, por ende.... **baja la transferencia**.

Detectores de movimiento



Teléfonos inalámbricos



Cámaras analógicas



Bluetooth



Hornos microondas

Auriculares

Micrófonos analógicos

Mouse

SubWoofers

ZigBee

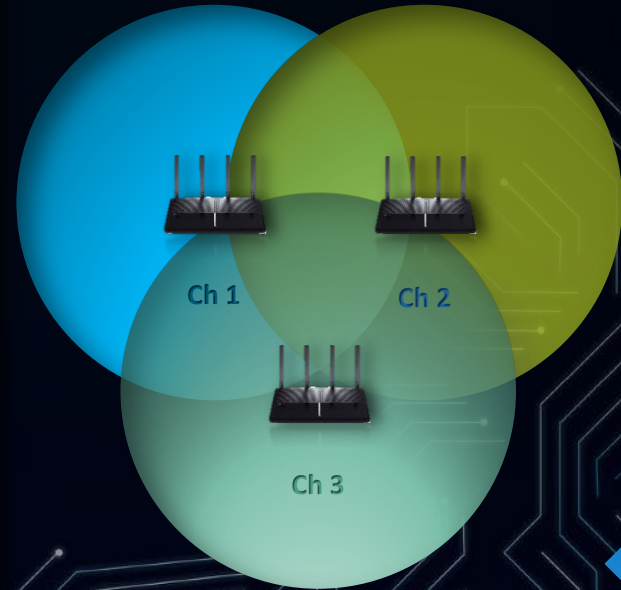
Xbox 360

INTERFERENCIA NO WI-FI

INTERFERENCIA

Las tres causas principales – Canal Adyacente

- Dado que la asignación de canales contempla solapamiento de los mismos, de encontrarse en una misma área APs utilizando canales adyacentes, se interferirán entre ellos.
- En la banda de 2.4 GHz, solo se pueden usar (excepto Japón), 3 canales sin solapamiento (1,6 & 11). Esto viene del viejo ancho de 22 MHz (no de 20 MHz).
- Se vuelve un problema a medida que aumentan los APs en una misma área.



CANAL
ADYACENTE

INTERFERENCIA

Canal adyacente en 2,4 GHz



CANALES EN
2,4 GHz

INTERFERENCIA

Canal adyacente en 5 GHz

149



CANALES EN
5 GHz

REDES WLAN
& REDES
CELULARES
INDOOR

Clase 5

SELECCIÓN AUTOMÁTICA DEL CANAL

Implementaciones - Lógica

- ♦ La lógica y algoritmos para ACS (**A**utomatic **C**hannel **S**election) no forma parte del estándar del IEEE, ni es requerimiento de la WFA.
- ♦ Es parte de la “fortaleza” de cada fabricante, donde cada uno implementa su propia lógica.

SELECCIÓN AUTOMÁTICA DEL CANAL

Implementaciones - Factores para la elección

- ◆ Canal menos congestionado.
- ◆ Limitar la selección a canales sin solapamiento (1, 6 & 11).
- ◆ Nivel de ruido en cada canal (debido a interferencias externas).
- ◆ Preferir los canales centrales a los que están en el límite de la banda.
- ◆ Escaneo solo al iniciar o periódico.
- ◆ Tiempo de escaneo (a mayor tiempo de escaneo, mayor tiempo de encendido o indisponibilidad)
- ◆ En el caso de utilizar el controlador, este puede asignar los canales de cada AP en función de como se afecten unos a otros.

SELECCIÓN AUTOMÁTICA DEL CANAL

OpenWRT



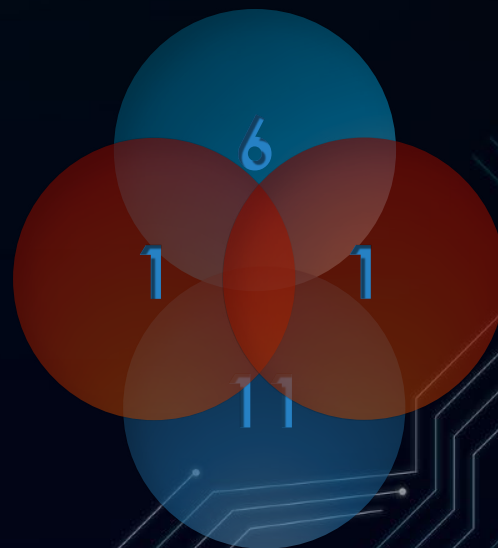
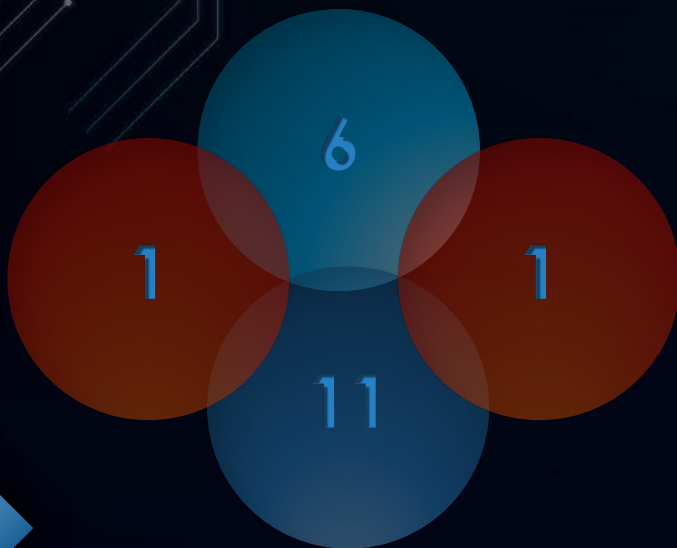
- ◆ En *OpenWRT*, la definición del algoritmo está abierta y es configurable.
- ◆ **Scan time:** Típico 100 msecs.
- ◆ **Cantidad:** 1 a 100 scans.
- ◆ Se puede especificar la “afinidad” (porcentual) para tomar un determinado canal.
- ◆ **# Defaults:**
 - `#acs_num_scans=5`
 - `#acs_chan_bias=1:0.8 6:0.8 11:0.8`

COLORES DE BSS

OBSS

Overlapping Basic Service Set

Los APs de canal 1 están tan cerca que sus coberturas **se solapan**

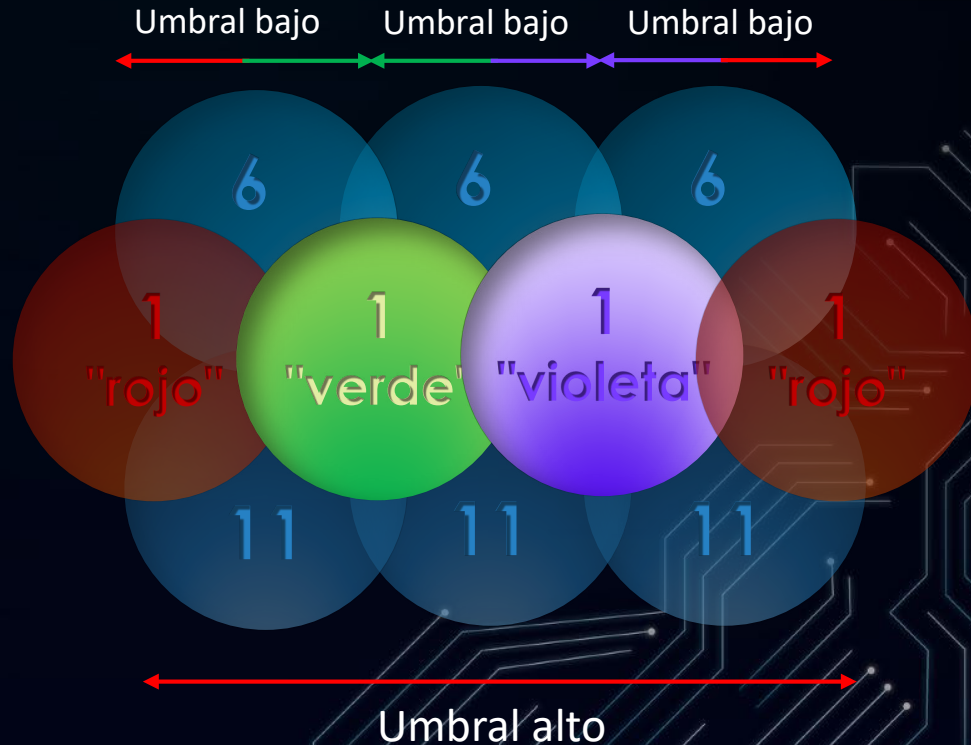


SOLAPAMIENTO
DE CANALES

COLOREADO DE BSS

Nuevo en 802.11ax: Canal + Color

- ◆ Cuando el canal es el **mismo**, pero el color es **distinto**, se aplican umbrales de interferencia **menos** estrictos, ayudando a **mitigar** la interferencia **Co-canal**.
- ◆ Si un AP **detecta** interferencia con su mismo color (colisión de colores), puede **cambiar** su color para mitigarla.



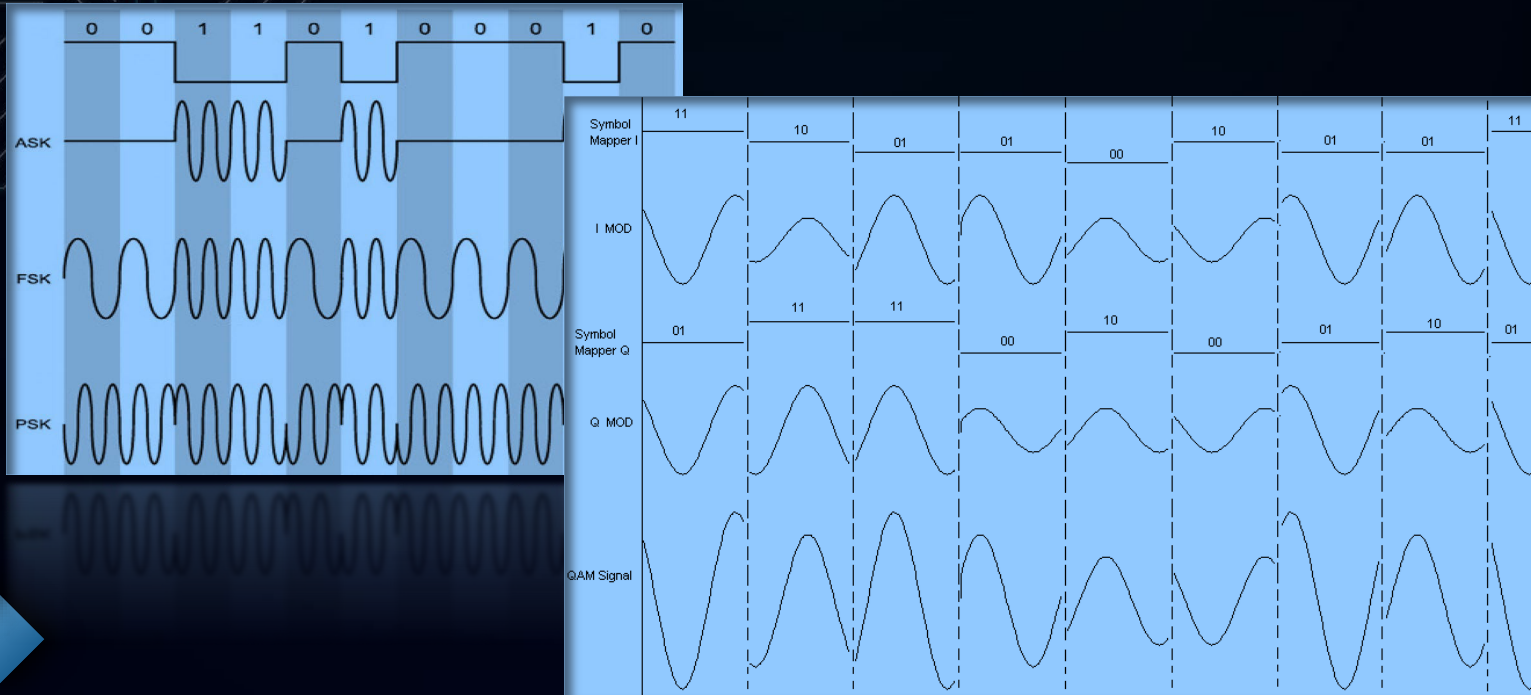
COLOREADO
DE CANALES

OFDM

ORTHOGONAL
FREQUENCY
DIVISION
MULTIPLEXING

MODULACIÓN OFDM

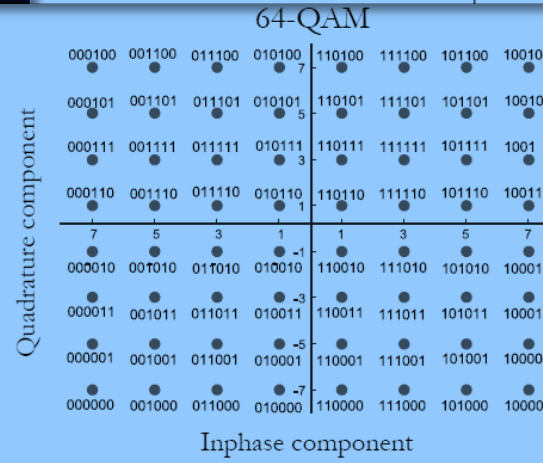
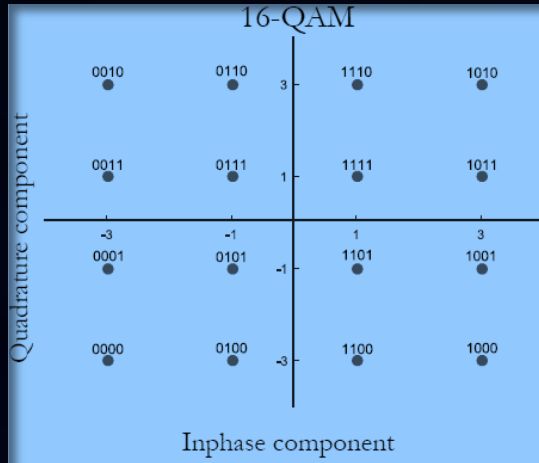
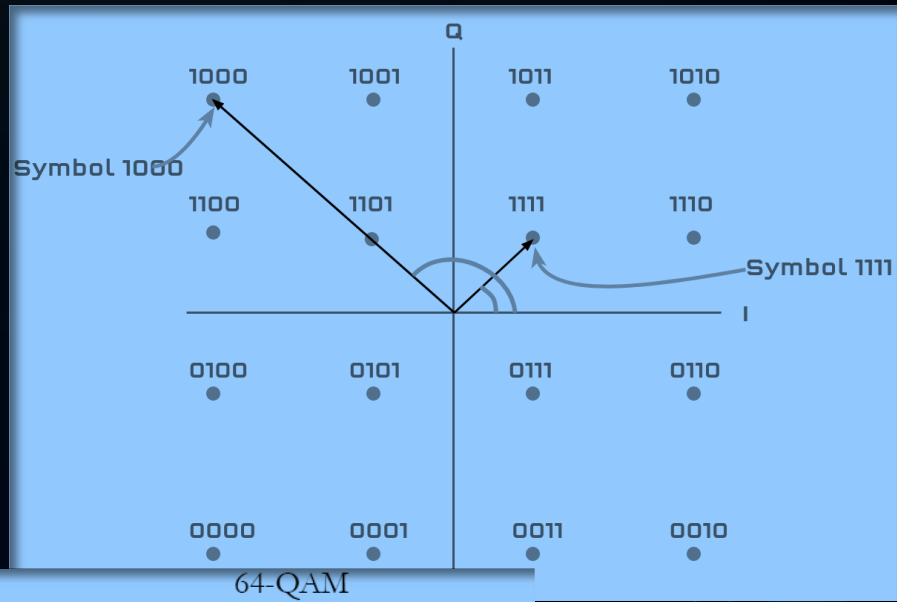
Tipos de modulación digital



DE ASK A
QAM

MODULACIÓN OFDM

Tipos de modulación digital



DE 16 QAM A 1024 QAM

MODULACIÓN OFDM

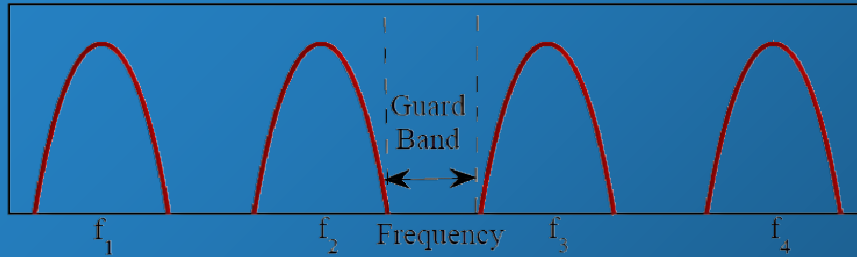
Dividiendo en Frecuencias

Los huevos en distintas canastas...

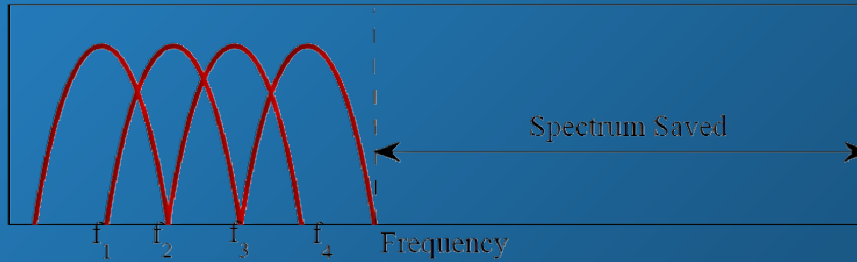


MODULACIÓN OFDM

FDM vs. OFDM



(a) Conventional FDM.

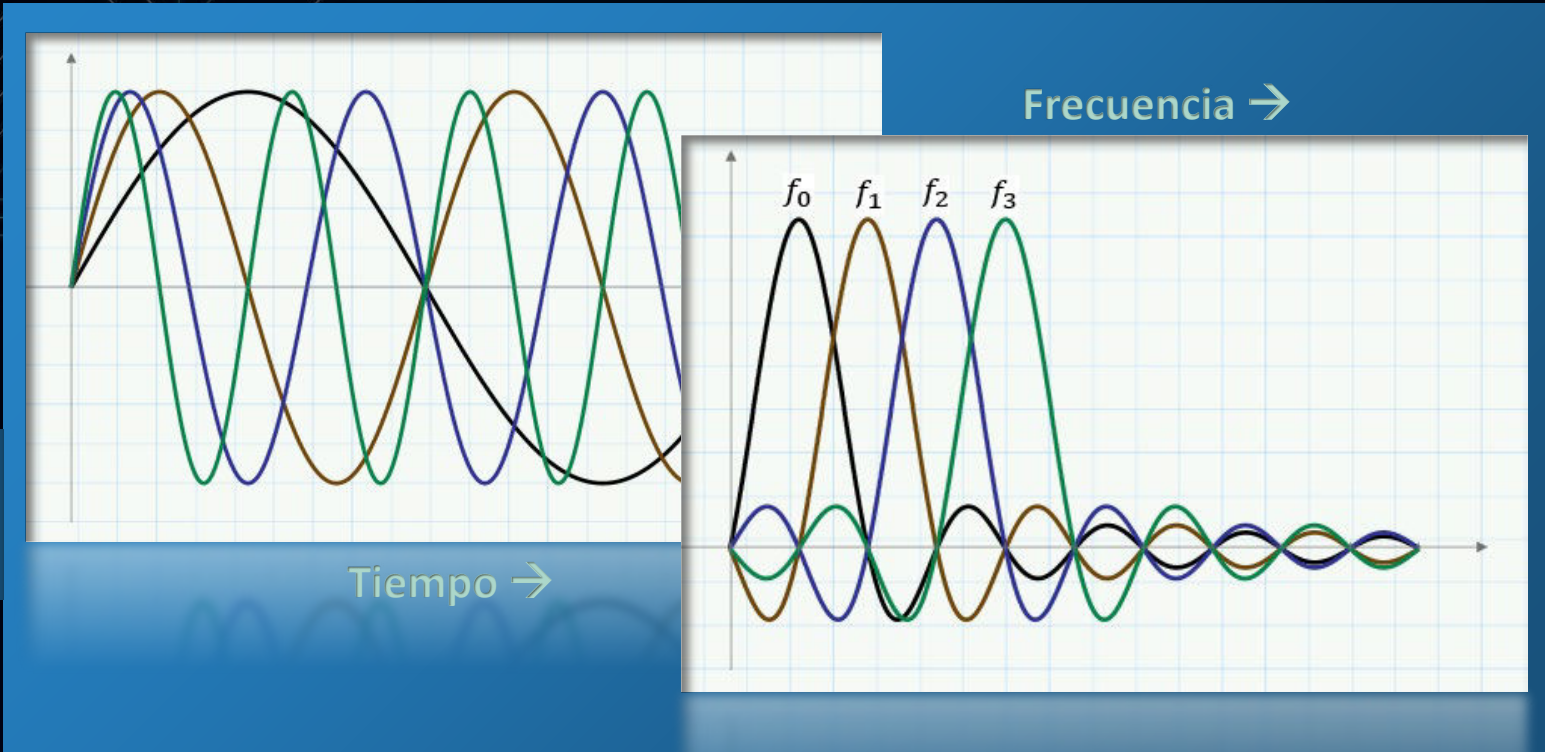


(b) Orthogonal FDM.

AHORRO DE
ESPECTRO

MODULACIÓN OFDM

Subportadoras ortogonales



AHORRO DE
ESPECTRO

MODULACIÓN OFDM

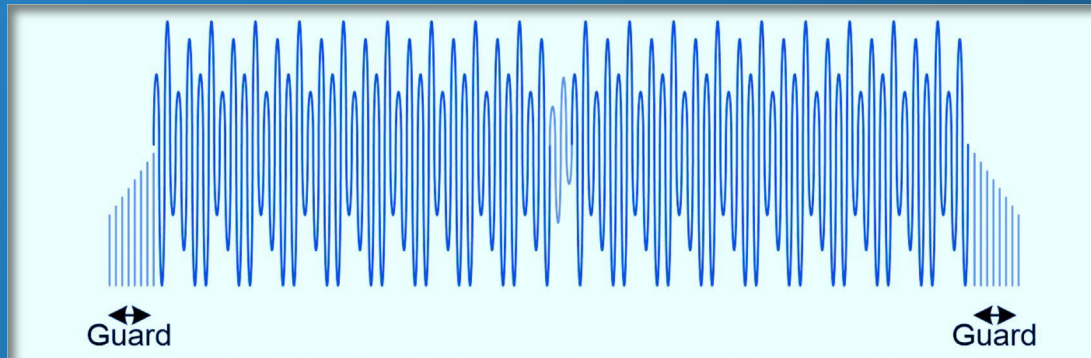
Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- ♦ La banda de radio se divide en n subcanales (ej: 64) y la información se envía fraccionada a través de los mismos (como carriles en una autopista).
- ♦ El Tx codifica los flujos de bits en las n subportadoras usando BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) o nQAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), siendo n igual a 16, 64, 256, etc...
- ♦ Parte de la información transmitida es redundante, por lo que el Rx no necesita recibir correctamente la totalidad de las subportadoras para reconstruir el mensaje.
- ♦ OFDM se utiliza en WiFi (**a/g/n/ac**), TDT (DVB-T & ISDB-T) y downlink de LTE, entre otras tecnologías.

MODULACIÓN OFDM

Subportadoras

20 MHz – 52 Subportadoras (tonos)

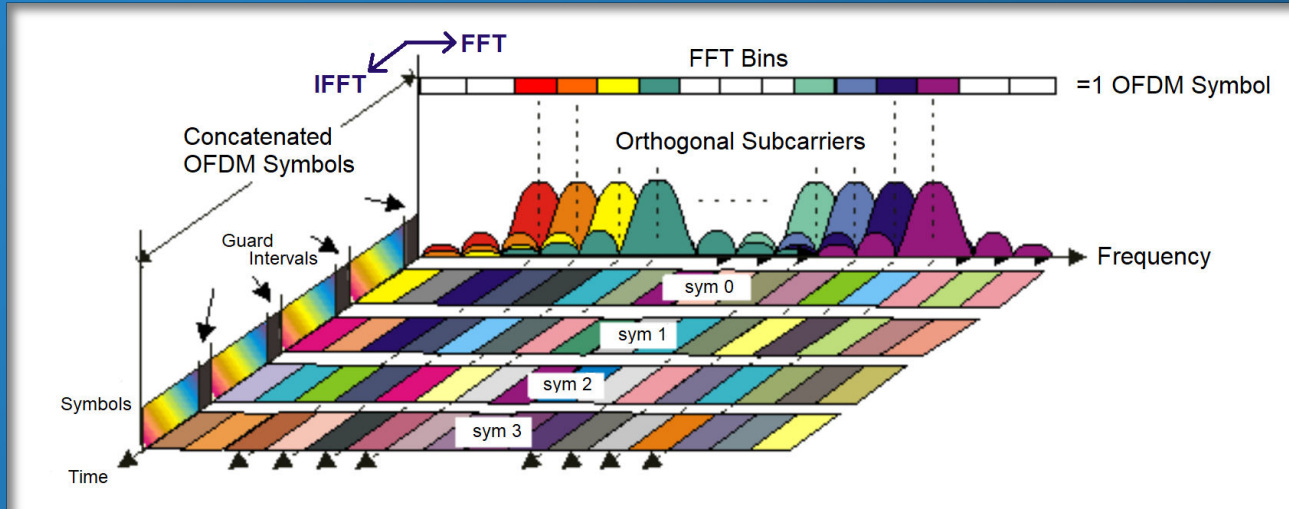


Todas las subportadoras se utilizan para una **única** estación en un momento dado

MODULACIÓN OFDM

Subportadoras

Ancho de banda del canal



MODULACIÓN OFDM



Ventajas

- Alta eficiencia espectral comparada con otros esquemas de modulación, cómo Spread Spectrum.
- Se adapta fácilmente a condiciones complejas de propagación.
- Robusta frente a interferencias.
- No se requiere que los receptores de los subcanales estén sintonizados (más económico).



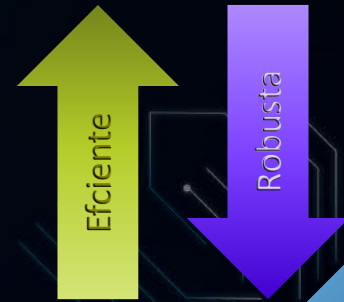
Desventajas

- Sensible al efecto Doppler.
- Ineficiente energéticamente (más consumo → duración de la batería).
- Requiere de un intervalo de guarda (temporal) para prevenir interferencias, lo que disminuye la eficiencia.

MODULACIÓN ADAPTATIVA & BIT RATE

Eficiente vs. Robusta

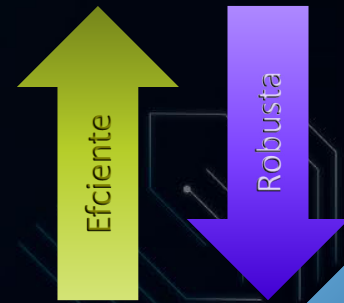
- ◆ Cuando más eficiente sea una modulación (mayor eficiencia espectral), menos inmune será a factores no deseados.
- ◆ Cambiando en tiempo real el tipo y niveles de modulación, como la redundancia en la información (niveles de corrección de errores), un mismo sistema puede adaptarse dinámicamente a las condiciones externas.
- ◆ Estas condiciones pueden ser, entre otras tantas, atenuación, interferencia, nivel de ruido (SNR) rebotes no deseados de la señal, etc...



MODULACIÓN ADAPTATIVA & BIT RATE

Eficiente vs. Robusta

- ◆ De esta forma, se puede mantener una comunicación en condiciones más adversas, a costa de la una baja en la tasa de transferencia.
- ◆ WiFi, a diferencia de Ethernet, no opera a una velocidad constante.
- ◆ Por ejemplo: 802.11n puede alcanzar un throughput (teórico) de 288.8 Mbps con modulación de 64-QAM y FEC de 5/6, y bajar a tan solo 7.2 Mbps con BPSK y FEC 1/2.



MODULACIÓN Y ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN

Índice MCS	Modulac.	Coding	Data rate (Mbit/s)							
			20 MHz		40 MHz		80 MHz		160 MHz	
			1600 ns GI	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI
0	BPSK	1/2	8	8.6	16	17.2	34	36.0	68	72
1	QPSK	1/2	16	17.2	33	34.4	68	72.1	136	144
2	QPSK	3/4	24	25.8	49	51.6	102	108.1	204	216
3	16-QAM	1/2	33	34.4	65	68.8	136	144.1	272	282
4	16-QAM	3/4	49	51.6	98	103.2	204	216.2	408	432
5	64-QAM	2/3	65	68.8	130	137.6	272	288.2	544	576
6	64-QAM	3/4	73	77.4	146	154.9	306	324.4	613	649
7	64-QAM	5/6	81	86.0	163	172.1	340	360.3	681	721
8	256-QAM	3/4	98	103.2	195	206.5	408	432.4	817	865
9	256-QAM	5/6	108	114.7	217	229.4	453	480.4	907	961
10	1024-QAM	3/4	122	129.0	244	258.1	510	540.4	1021	1081
11	1024-QAM	5/6	135	143.4	271	286.8	567	600.5	1134	1201

EJEMPLO EN
WIFI 6

MIMO

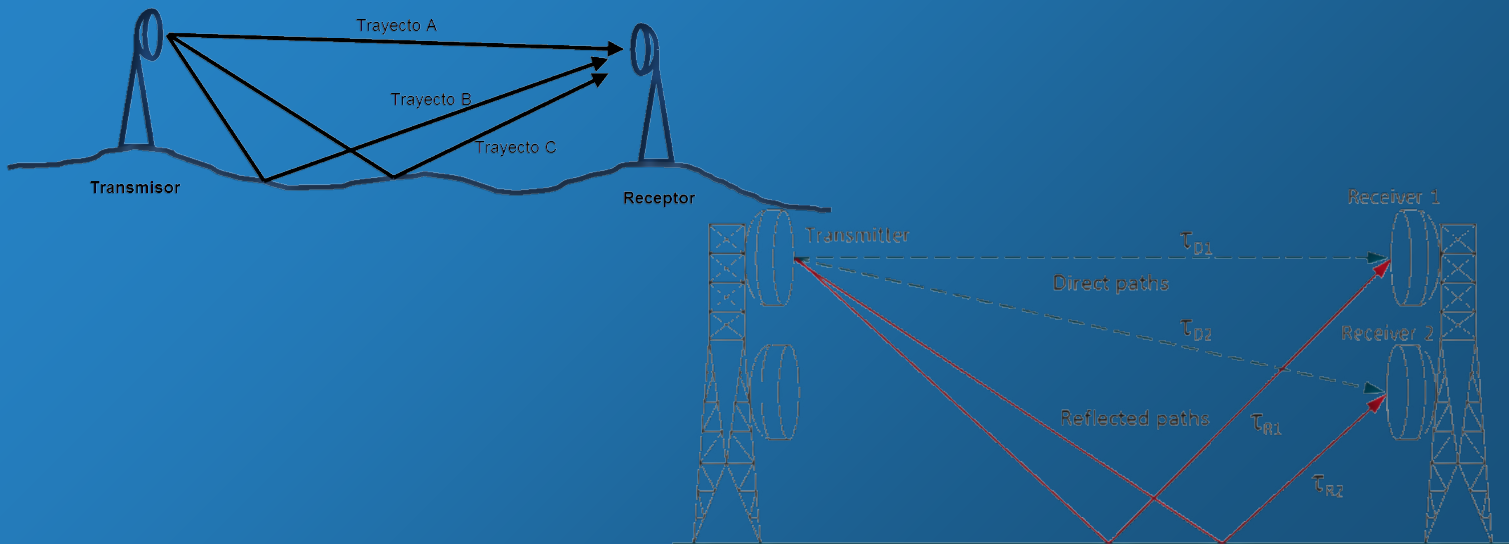
**MULTIPLE IN
MULTIPLE OUT**

MIMO

Multiple In - Multiple Out

- ◆ Se incorporó a WiFi a partir de IEEE 802.11n (SU-MIMO) y 802.11ac Wave 2 (MU-MIMO) y 802.11ax (UL MU-MIMO).
 - ◆ Se basa en los rebotes (reflexiones) de las ondas de radio al tomar contacto con las distintas superficies en el área entre Tx y Rx.
 - ◆ Utiliza distintas antenas (diversidad de espacio) para captar esos rebotes.
- MIMO: Multiple In - Multiple Out.**
- ◆ Normalmente, los rebotes son no deseados (pueden cancelar la señal si llegan a contrafase), pero MIMO saca provecho de estas.
 - ◆ Esto permite usar una técnica conocida como “**beamforming**”.

Reflexiones de la señal

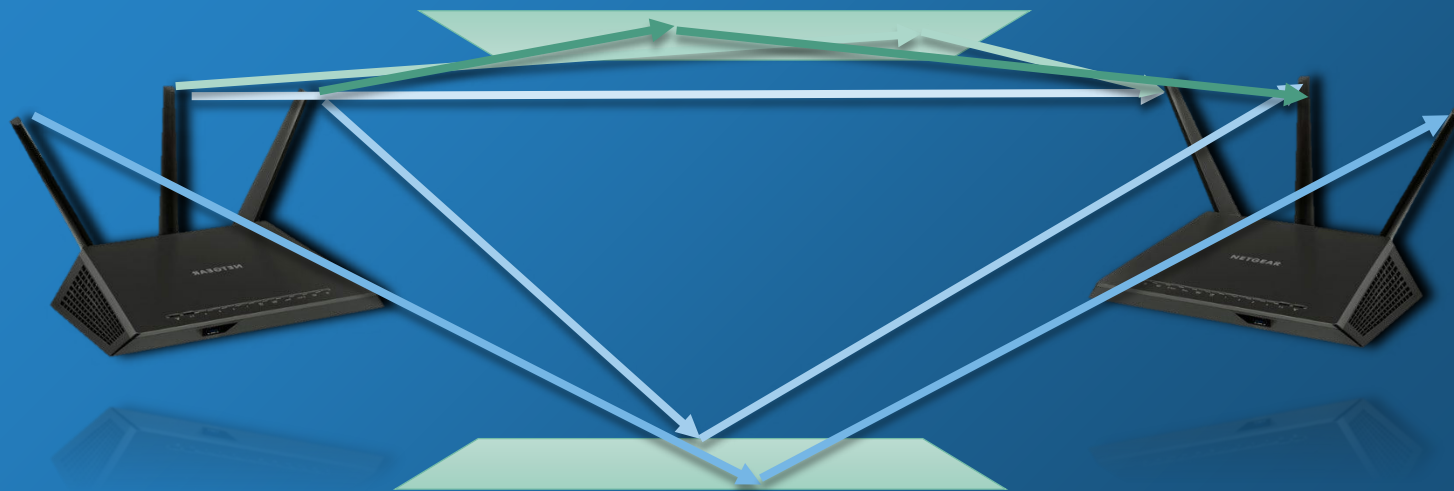


MIMO

Multipath

173

Reflexiones de la señal



MIMO
3 X 3

MIMO

Multiple In - Multiple Out

- ◆ Al tener más caminos para llegar, aumenta la confiabilidad, por ende disminuyen los reintentos, por ende sube el throughput.
- ◆ Dependiendo del dispositivo, existen distintas combinaciones de antenas (Ej. 2T2R, 3T3R).
- ◆ Por cada antena, envía un flujo distinto (ej. “Three-Stream”).
- ◆ Para usar MIMO no se requiere que tanto AP como STA tengan distintas antenas, pero la performance y **eficiencia** variará en función de cada combinación.
 - Ej: Un AP 8x8 que da servicio a una STA 2x2 tiene una eficiencia de tan **solo** 25%.
 - Y si el AP de 8x8 usa un canal de 160 MHz, pero la STA solo soporta 2x2 a 20 MHz, la eficiencia **cae** al 6,25 %.

MIMO

Access Points



MIMO

Multi User MIMO

- ◆ En SU-MIMO, los flujos de datos únicamente son transmitidos y recibidos por un único dispositivo a la vez.
- ◆ Pero que el destino sea único, permite concentrar más el “haz” del beamforming, logrando más alcance.
- ◆ En MU-MIMO, múltiples dispositivos pueden recibir de manera simultánea diferentes flujos de datos.
- ◆ Esto se logra utilizando distintos **flujos** a distintos **dispositivos**, pero cada flujo pueda dar servicio a un **único** dispositivo a la vez.
- ◆ Se aumenta así la velocidad y el rendimiento de la red.
- ◆ En .11ac, no está disponible en la banda de 2.4 GHz, se requiere .11ax para soporte de MU-MIMO en ambas bandas.
- ◆ En .11ac **solo** se soporta en el Downlink (DL MU-MIMO), se requiere .11ax para soporte también en Uplink (UL MU-MIMO).

MIMO

SISO (Single In – Single Out)

802.11a/g - 20 MHz, 54 Mbps

54 Mbps/AP

54 Mbps



MIMO

SU-MIMO

802.11n - SU-MIMO – 3x3, 40 MHz, 150Mbps/stream

450 Mbps/AP

3 x 150Mbps



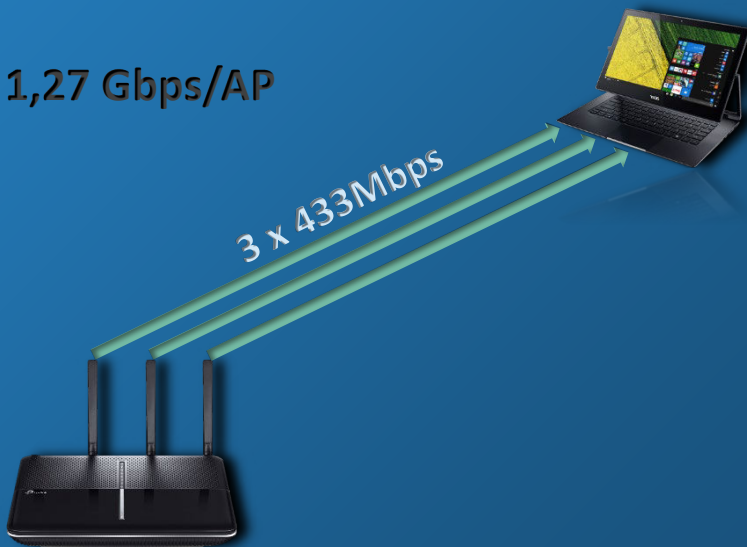
MIMO

SU-MIMO

802.11ac - SU-MIMO – 3x3, 80 MHz, 433Mbps/stream

1,27 Gbps/AP

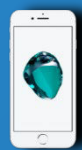
3 x 433Mbps



MIMO

MU con un stream por dispositivo

802.11ac - MU-MIMO – 4x4, 80 MHz, 433Mbps/stream



1,69 Gbps/AP



433Mbps

433Mbps



433Mbps

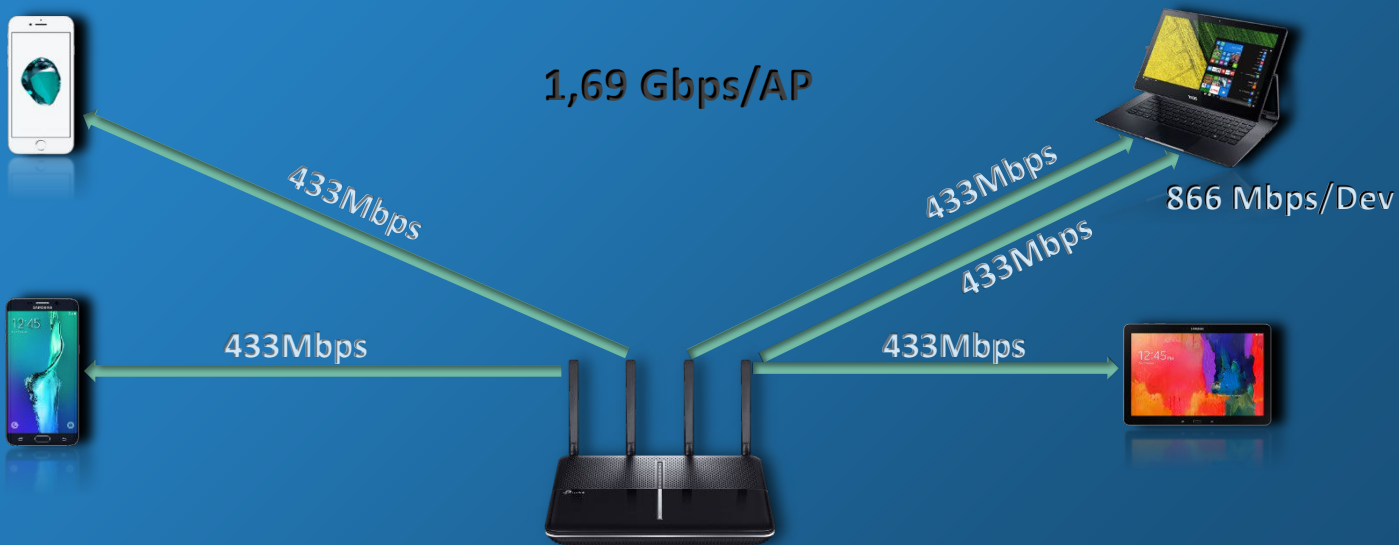
433Mbps



MIMO

MU con más de un stream por dispositivo

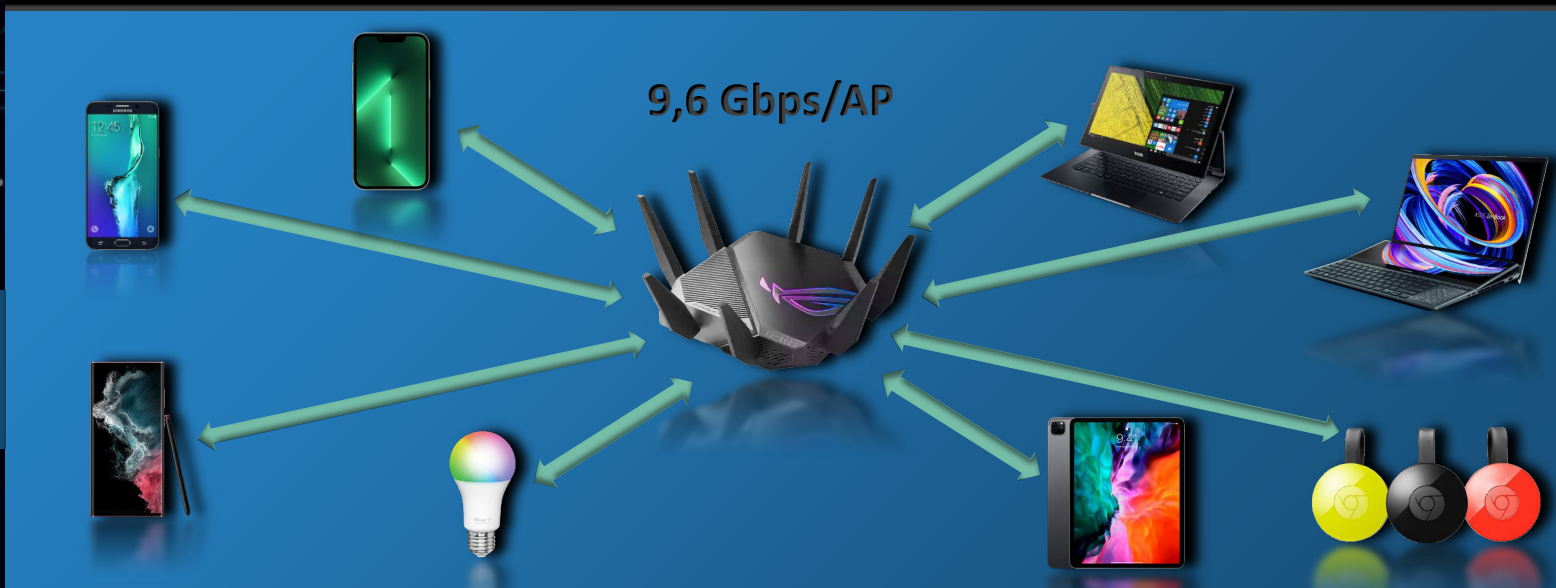
802.11ac - MU-MIMO – 4x4, 80 MHz, 433Mbps/stream



MIMO

En .ax, se soporta mimo en Downlink y **Uplink**

802.11ax - MU-MIMO – 8x8, 1600 MHz, 1201 Mbps/stream





No todo lo que brilla es oro...

- En la práctica, se requiere diversidad espacial entre los dispositivos para alcanzar la performance óptima.



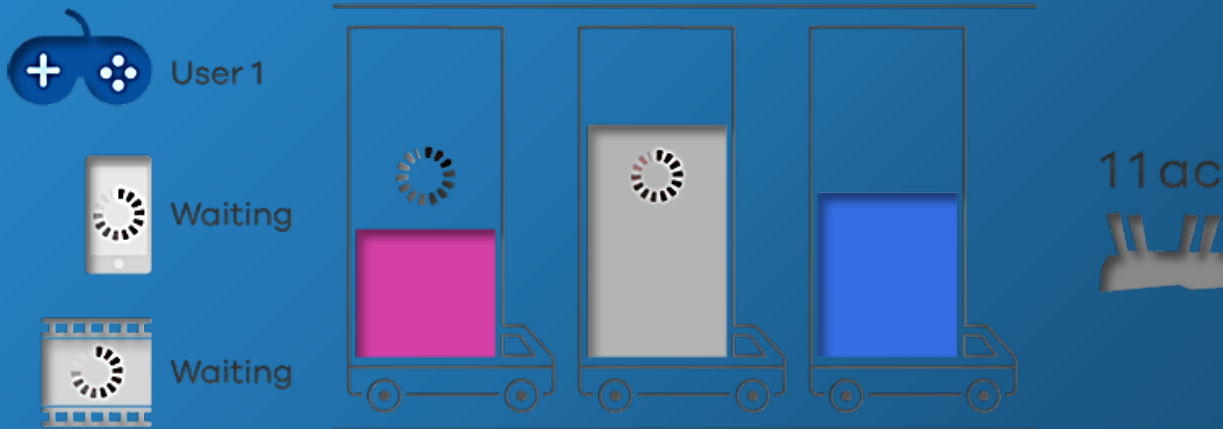
ACÁ NO APORTA
MIMO...

OFDMA

ORTHOGONAL
FREQUENCY
DIVISION MULTIPLE
ACCESS

OFDMA

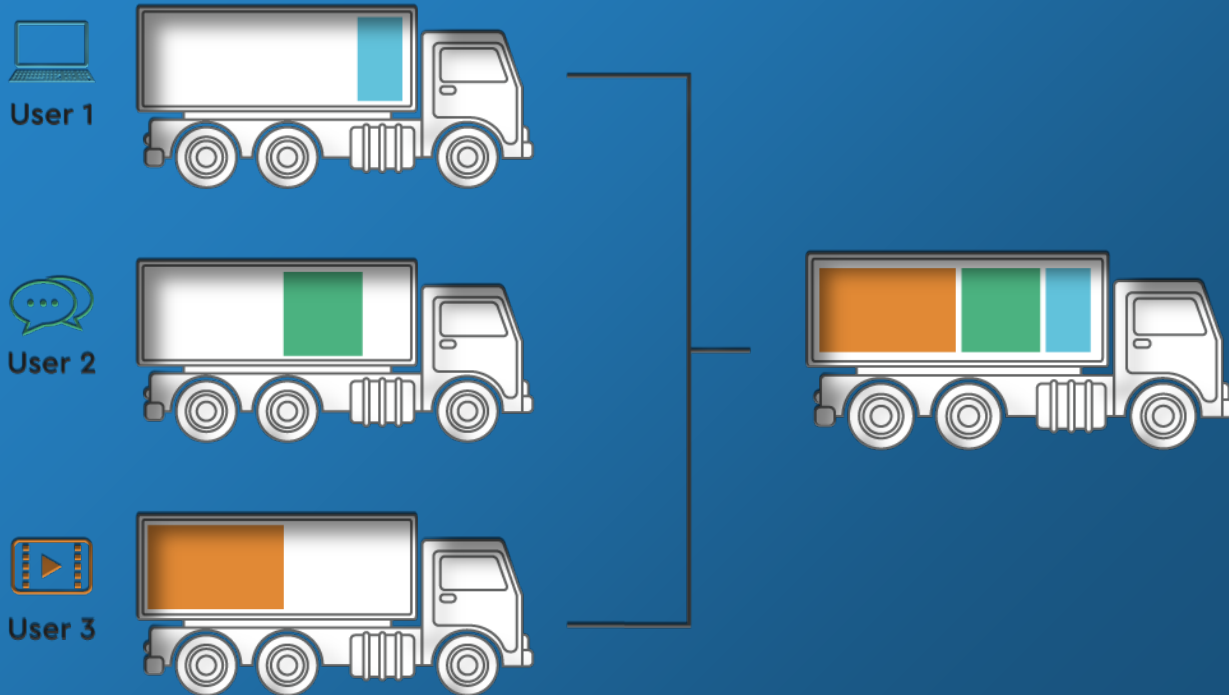
OFDM: 1 sola STA a la vez usa todo el BW del canal



USO
INEFICIENTE

OFDMA

De la fuerza bruta a la eficiencia



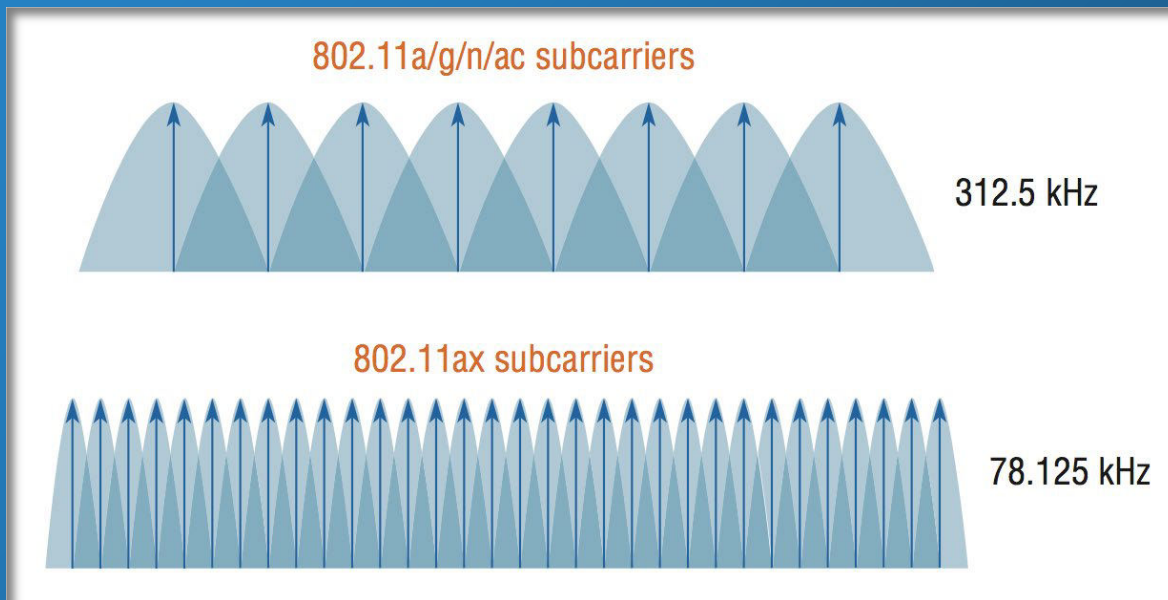
WIFI 5 Vs.
WIFI 6

OFDMA

Nuevo en 802.11ax

- ◆ Es un esquema de acceso **múltiple** ya **utilizado** en las redes móviles 4G y 5G.
- ◆ Ya **no** se asigna **todo** el ancho de banda a la vez a **una sola** STA.
- ◆ Se **subdivide** el canal en RUs (*Resource Units*).
- ◆ Cada RU puede ser asignado a una STA en particular.
- ◆ El **AP** ahora tiene **control** sobre las STA cuando estas le quieren enviar datos y cuanto BW pueden utilizar.
- ◆ Muy útil para **IoT**, ya que requieren muy poco BW ("*Connected Homes*", *industria*, etc...)
- ◆ El canal puede **dividirse** en RUs de **distinto** tamaño (BW).
- ◆ El ancho de cada subportadora es, de por sí 4 veces más angosto que en 802.11ac.

Ancho de las subportadoras

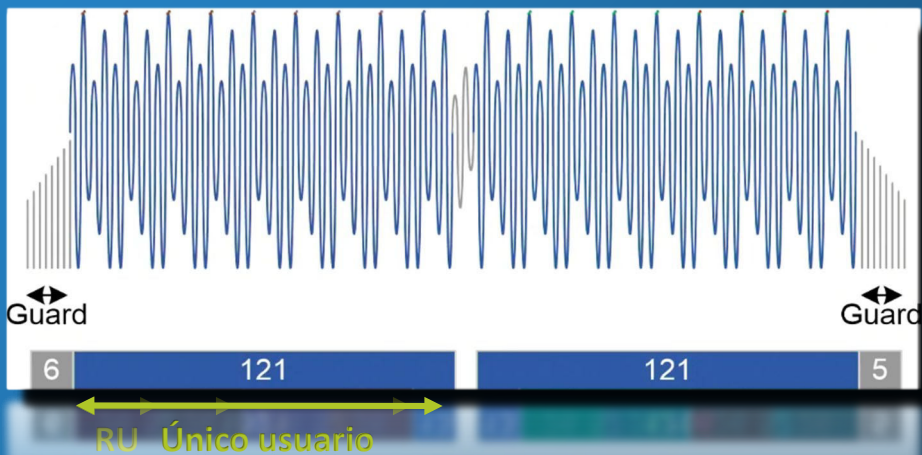


WIFI5 vs.
WIFI 6

OFDMA

Resource Units

20 MHz – Espacio de subportadoras de 78,125 kHz



OFDMA

Cantidad de dispositivos simultáneos

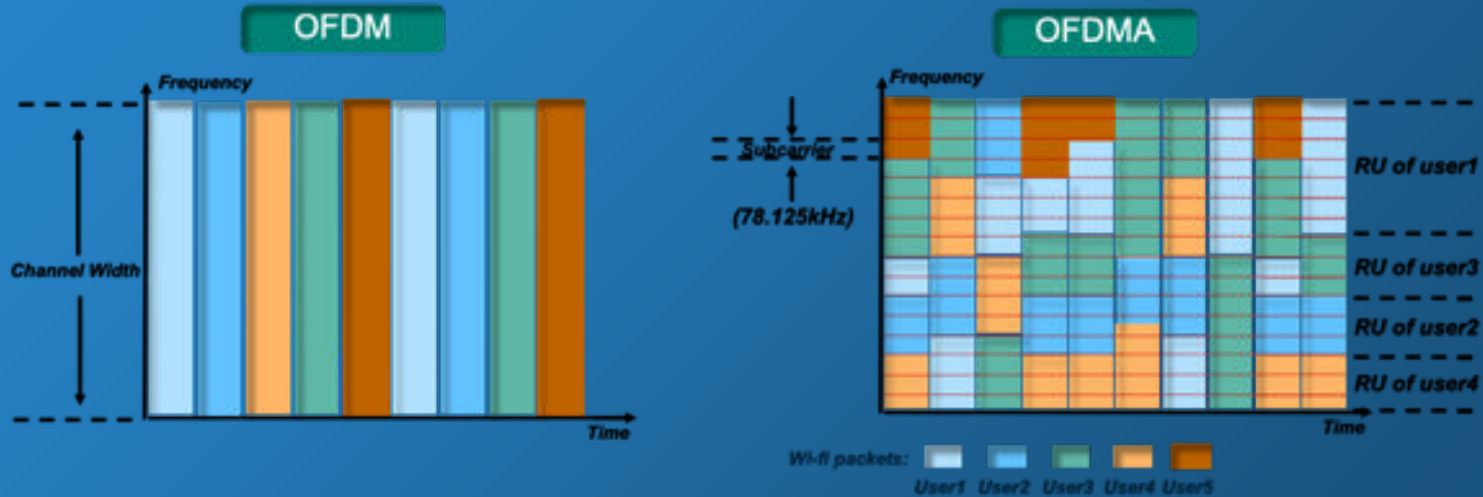
RUs por canal	Ancho del canal			
	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz
26	9	18	37	74
52	4	8	16	32
106	2	4	8	16
242	1	2	4	8
484	—	1	2	4
996	—	—	1	2
1992	—	—	—	1

- Dependiendo de la cantidad de RUs en las que se **subdivide** un canal, se puede incrementar la cantidad de dispositivos por canal • el bit rate entregado a cada dispositivo (inversamente proporcionales).
- A su vez, con Channel bonding, se puede incrementar aún más esta cantidad (a costa de menos canales por área de cobertura)
- De esta forma, combinando los RUs con el ancho del canal, un único AP puede dar servicio, de manera **simultánea**, desde 1 hasta 74 STA a la vez.

STAs vs.
RUs y BW

OFDMA

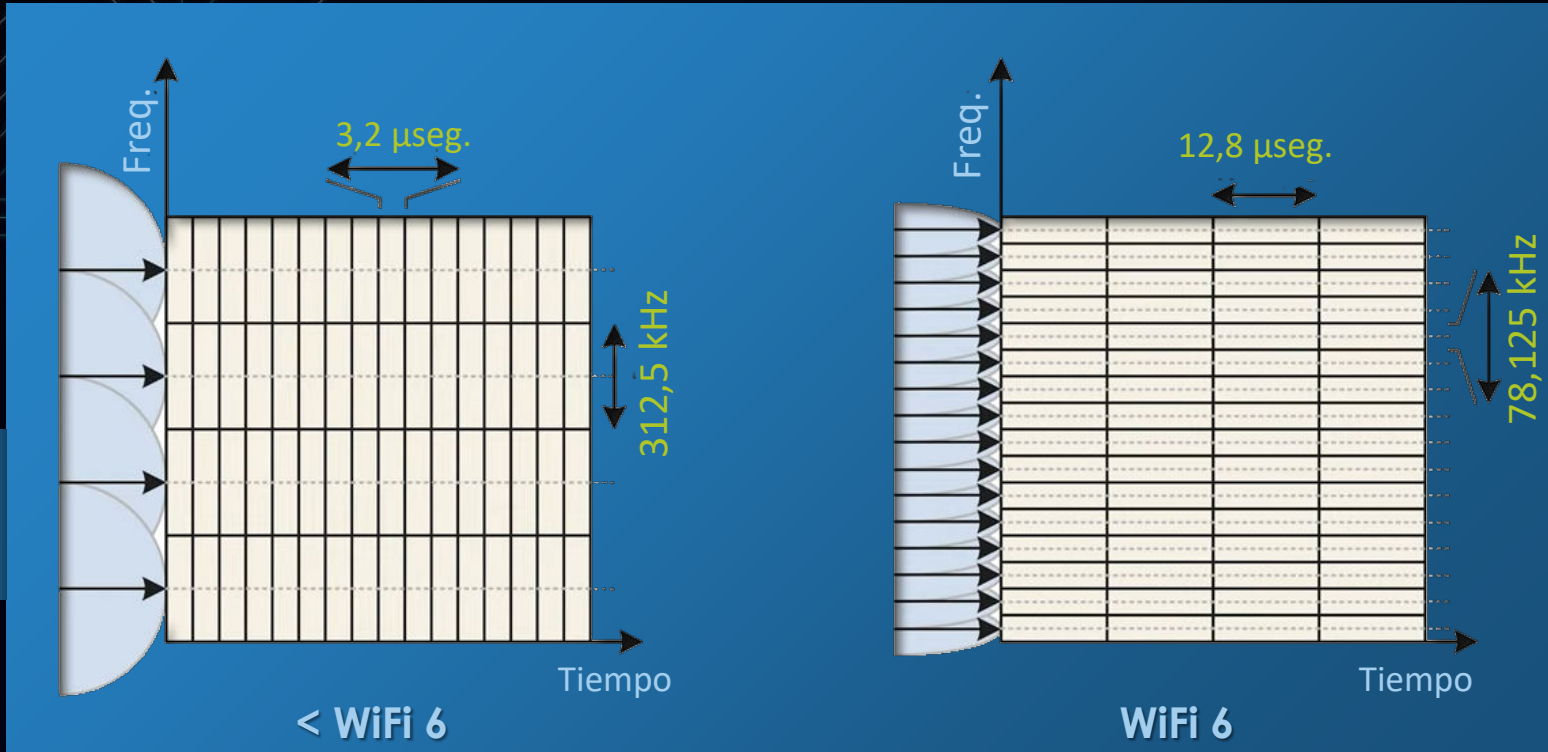
Acceso múltiple en WiFi 5 vs WiFi 6



OFDM VS.
OFDMA

OFDMA

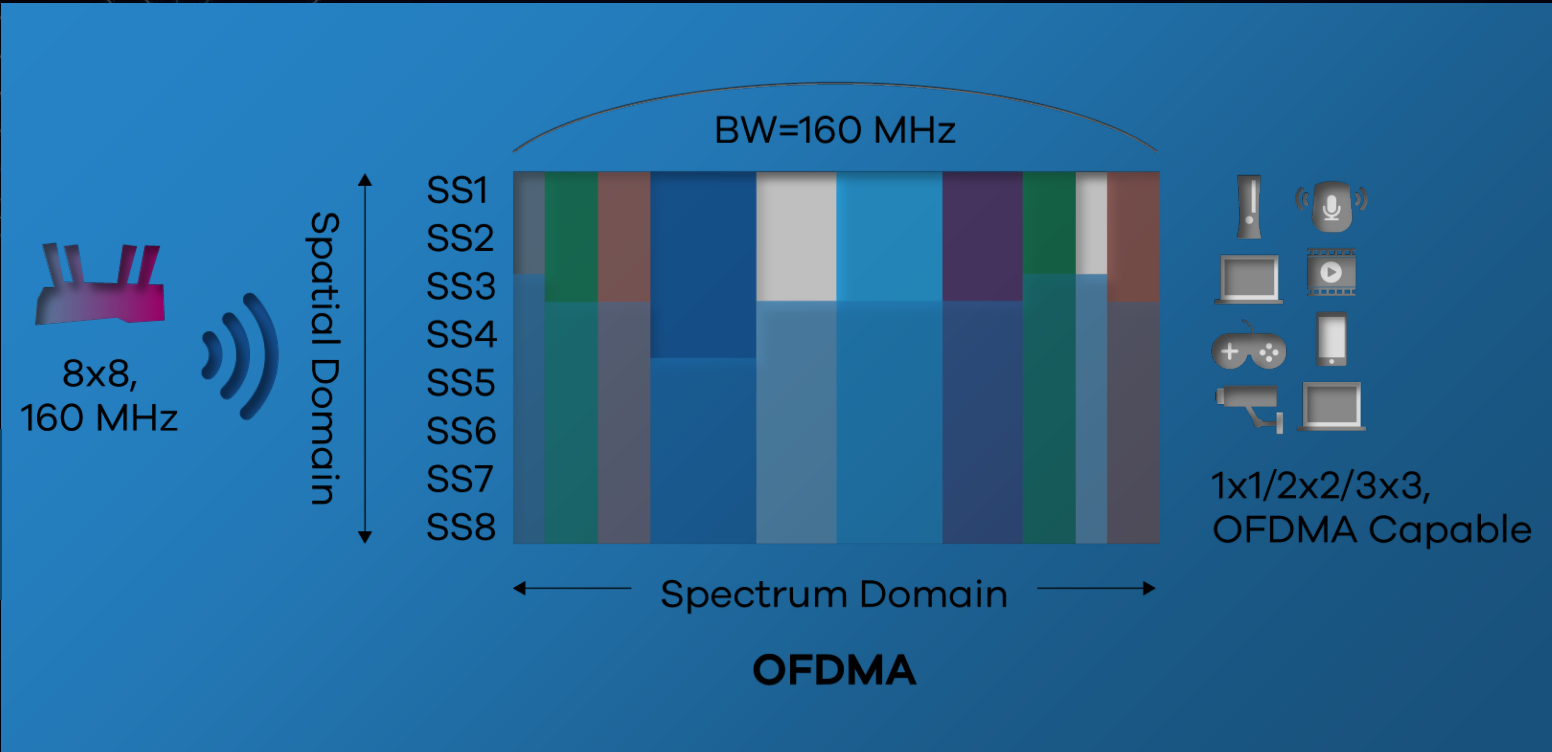
Menos BW durante más tiempo → Más inmunidad



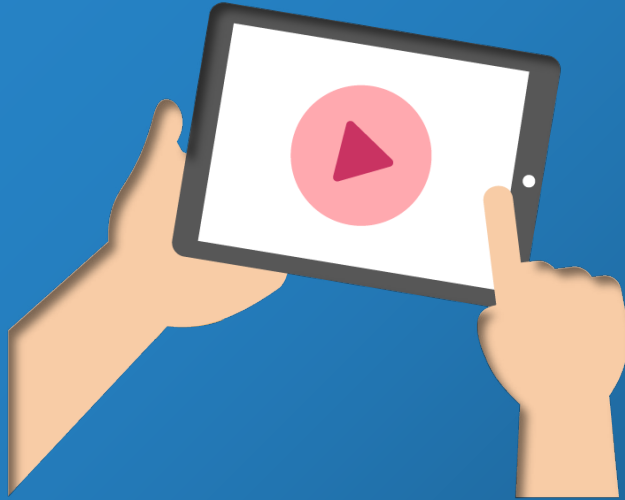
WIFI5 vs.
WIFI6

MIMO + OFDMA

Múltiple acceso en el espacio y el espectro



MIMO vs OFDMA



MU-MIMO

Aplicaciones de alta velocidad



OFDMA

Aplicaciones de baja velocidad o mixtas

REDES WLAN

& REDES
CELULARES
INDOOR

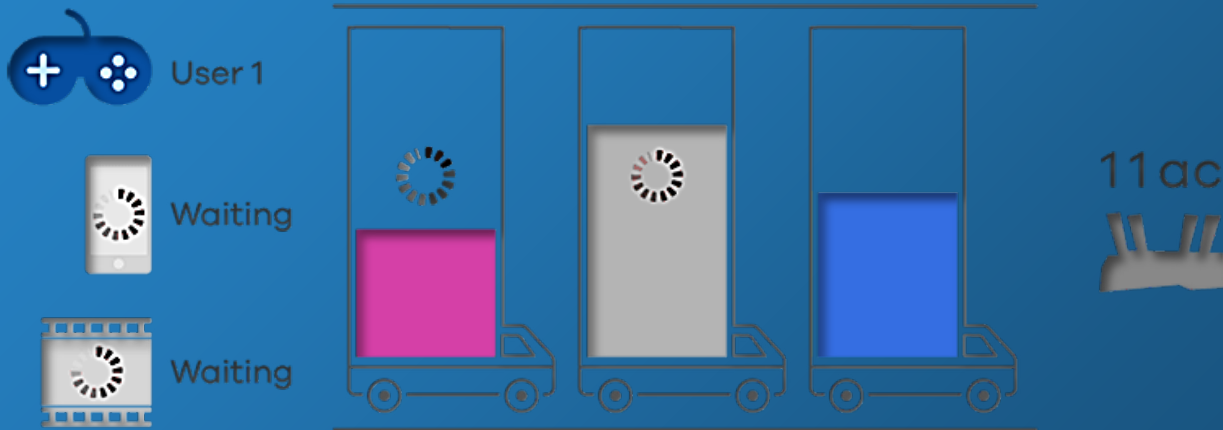
Clase 6

OFDMA

ORTHOGONAL
FREQUENCY
DIVISION MULTIPLE
ACCESS

OFDMA

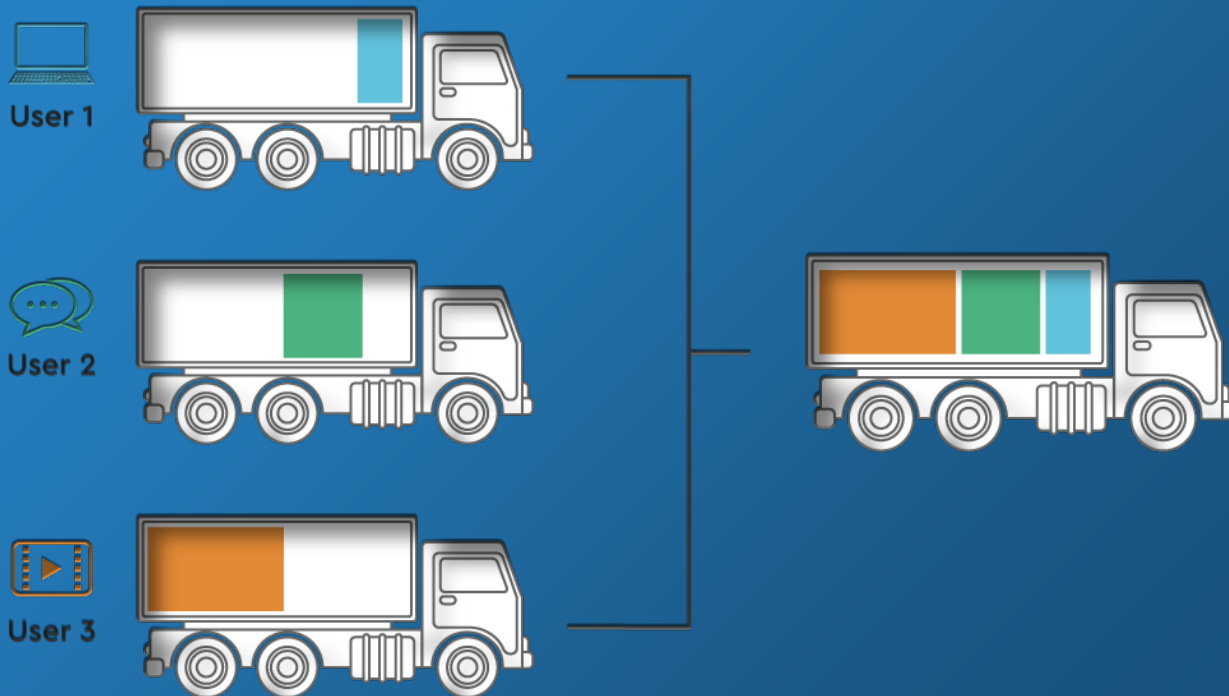
OFDM: 1 sola STA a la vez usa todo el BW del canal



USO
INEFICIENTE

OFDMA

De la fuerza bruta a la eficiencia



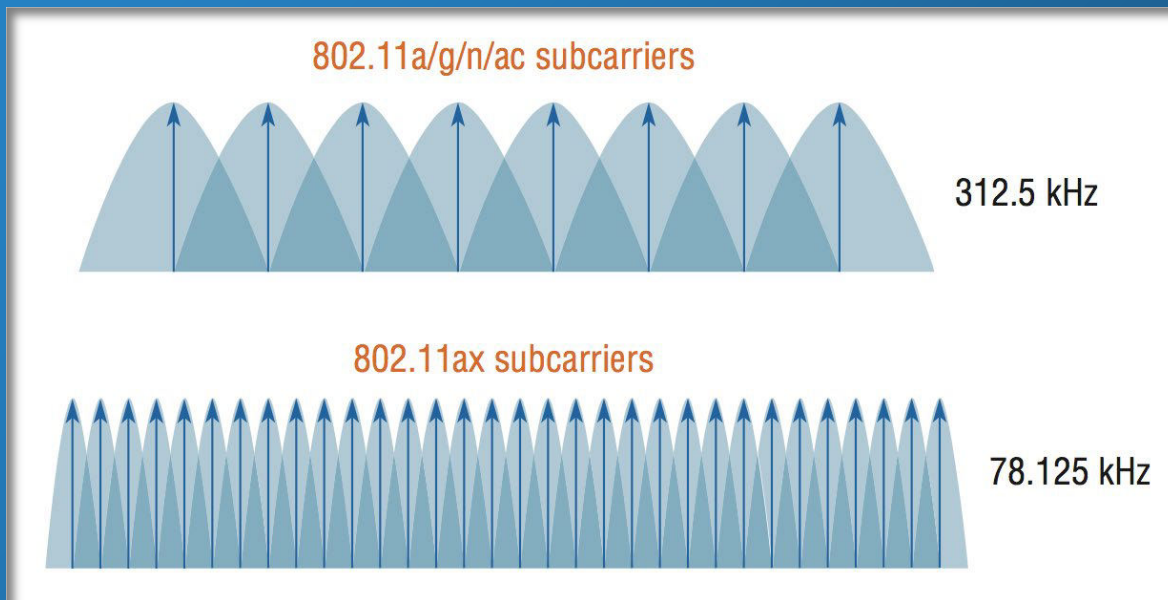
WIFI 5 Vs.
WIFI 6

OFDMA

Nuevo en 802.11ax

- ◆ Es un esquema de acceso **múltiple** ya **utilizado** en las redes móviles 4G y 5G.
- ◆ Ya **no** se asigna **todo** el ancho de banda a la vez a **una sola** STA.
- ◆ Se **subdivide** el canal en RUs (*Resource Units*).
- ◆ Cada RU puede ser asignado a una STA en particular.
- ◆ El **AP** ahora tiene **control** sobre las STA cuando estas le quieren enviar datos y cuanto BW pueden utilizar.
- ◆ Muy útil para **IoT**, ya que requieren muy poco BW ("*Connected Homes*", *industria*, etc...)
- ◆ El canal puede **dividirse** en RUs de **distinto** tamaño (BW).
- ◆ El ancho de cada subportadora es, de por sí 4 veces más angosto que en 802.11ac.

Ancho de las subportadoras

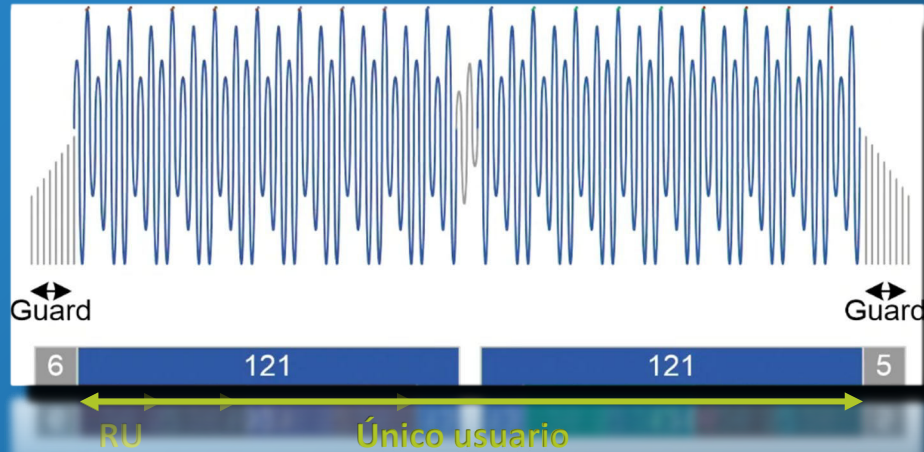


WIFI5 vs.
WIFI 6

OFDMA

Resource Units

20 MHz – Espacio de subportadoras de 78,125 kHz



OFDMA

Cantidad de dispositivos simultáneos

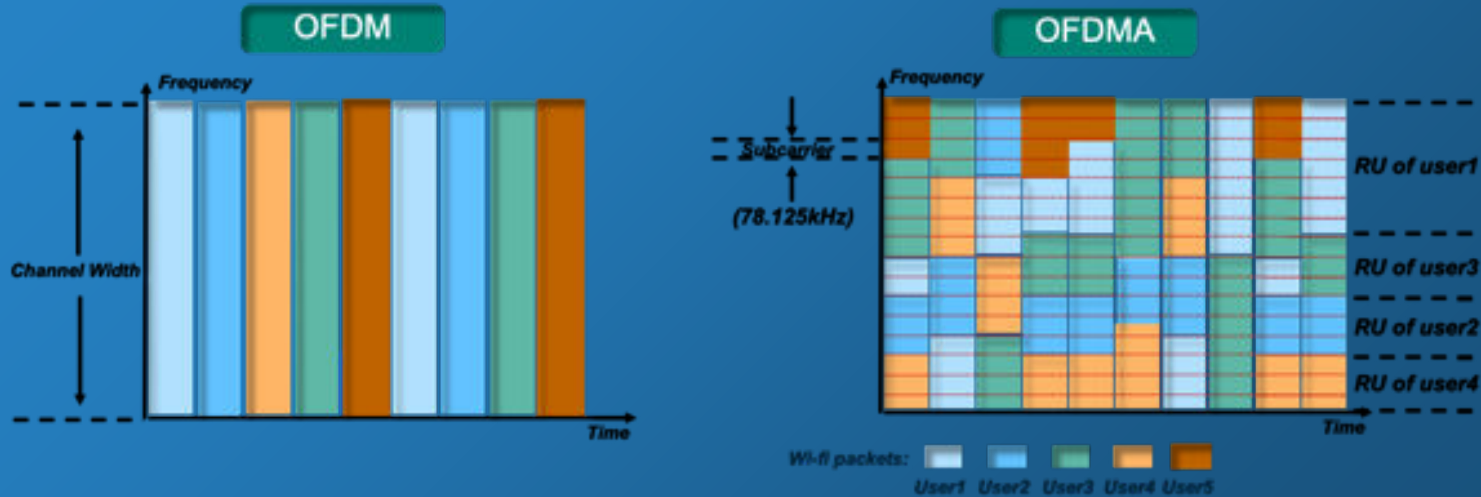
RUs por canal	Ancho del canal			
	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz
26	9	18	37	74
52	4	8	16	32
106	2	4	8	16
242	1	2	4	8
484	—	1	2	4
996	—	—	1	2
1992	—	—	—	1

- Dependiendo de la cantidad de RUs en las que se **subdivide** un canal, se puede incrementar la cantidad de dispositivos por canal • el bit rate entregado a cada dispositivo (inversamente proporcionales).
- A su vez, con Channel bonding, se puede incrementar aún más esta cantidad (a costa de menos canales por área de cobertura)
- De esta forma, combinando los RUs con el ancho del canal, un único AP puede dar servicio, de manera **simultánea**, desde 1 hasta 74 STA a la vez.

STAs vs.
RUs y BW

OFDMA

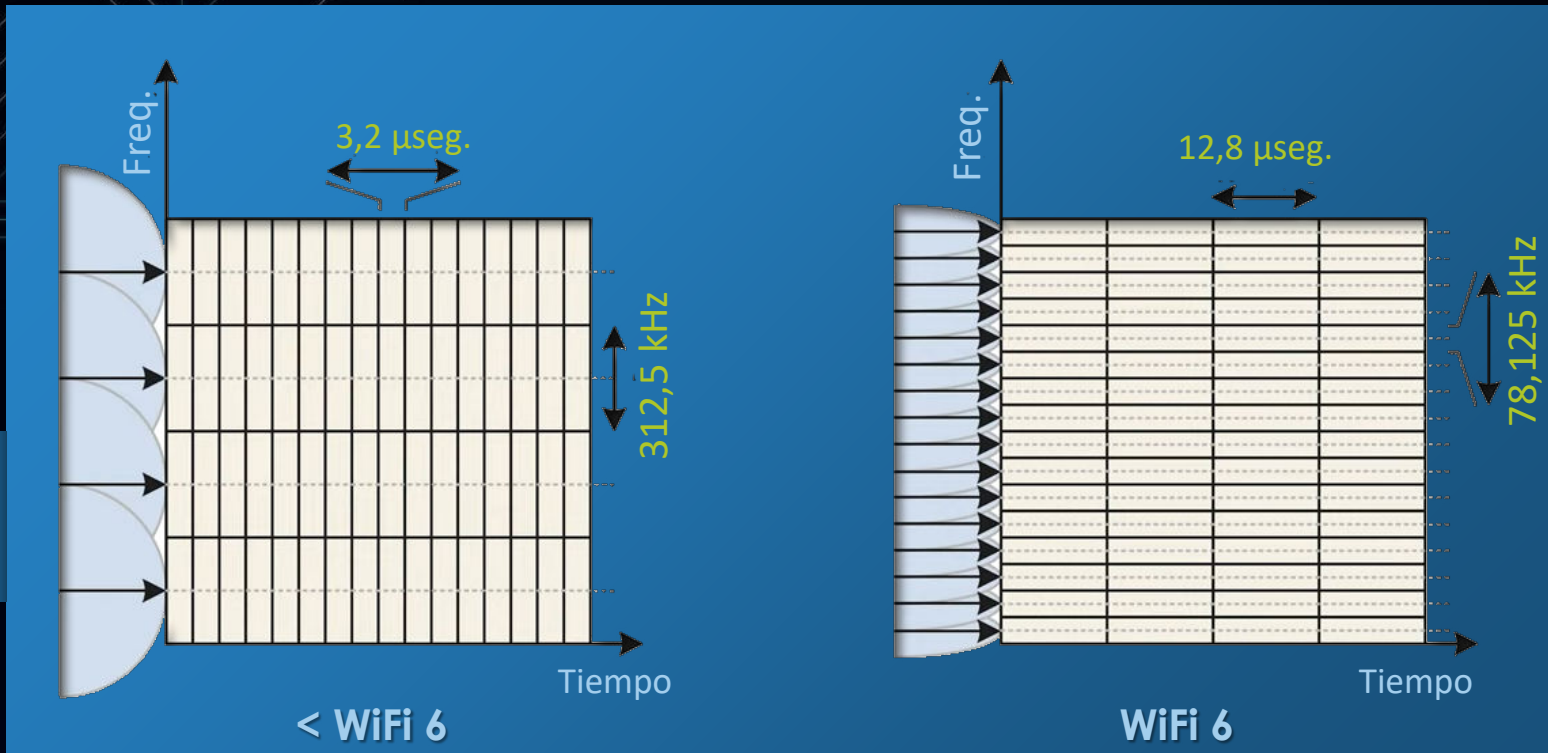
Acceso múltiple en WiFi 5 vs WiFi 6



OFDM VS.
OFDMA

OFDMA

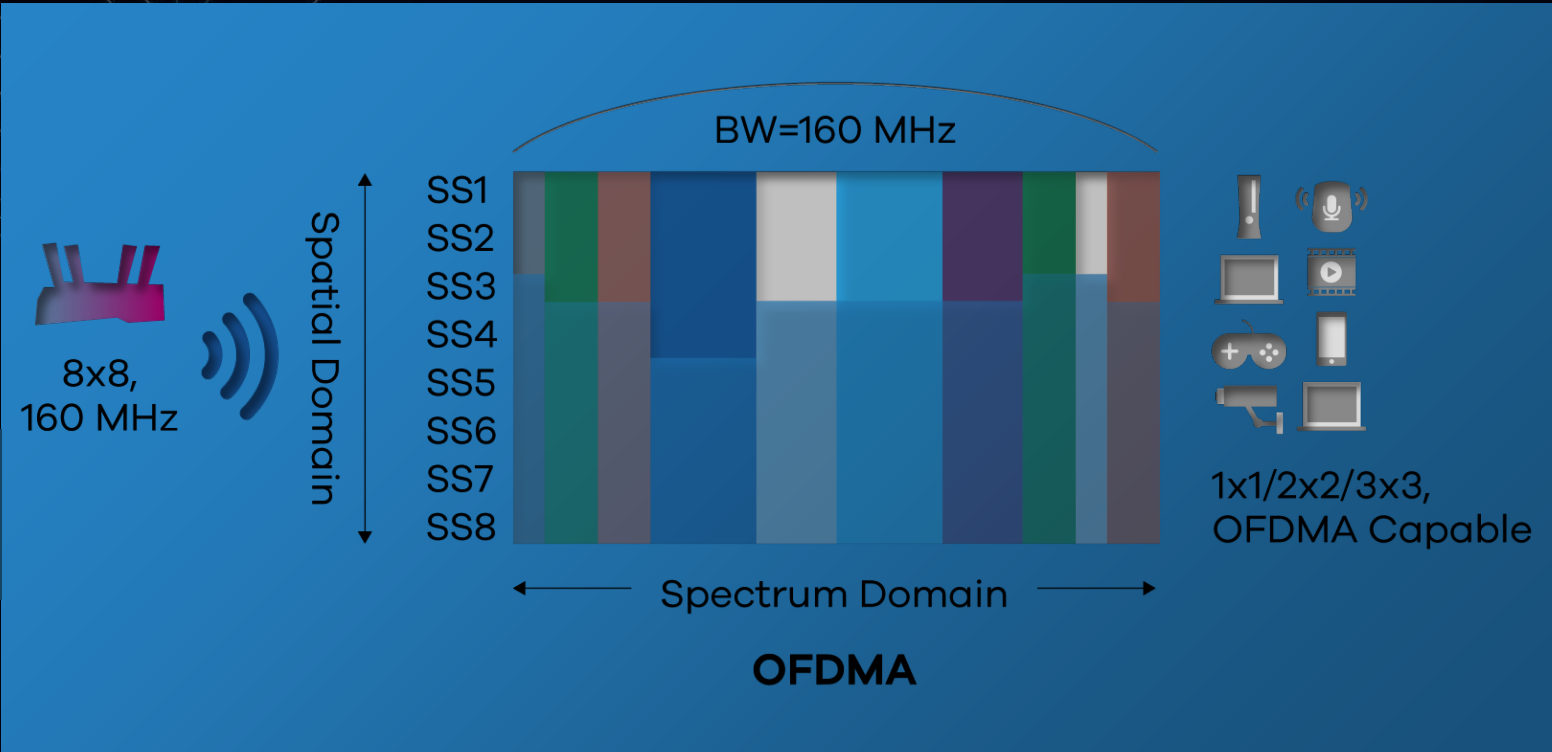
Menos BW durante más tiempo → Más inmunidad

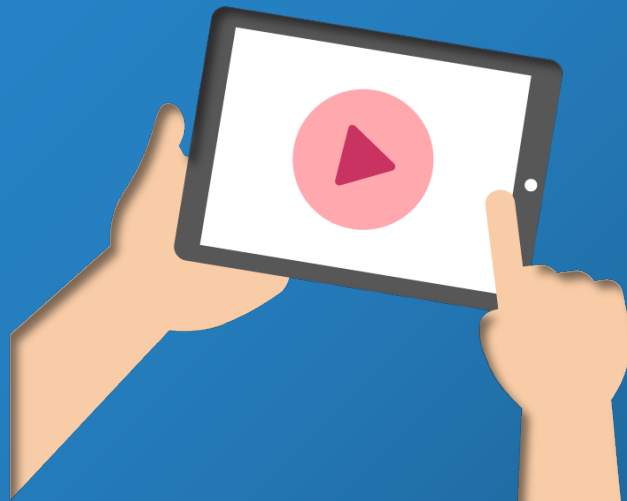


WiFi 6 vs.
WiFi 6E

MIMO + OFDMA

Múltiple acceso en el espacio y el espectro





MU-MIMO

Aplicaciones de alta velocidad



OFDMA

Aplicaciones de baja velocidad o mixtas

REPASO DE WIFI

◆ Infraestructura

- La estación se comunica con otras redes (LAN, Internet...) mediante un AP.
- Es la modalidad más usada.
- Múltiples APs pueden compartir el SSID → En ese caso el cliente se conecta a la red con SSID y elige el “mejor AP”.

◆ Ad Hoc

- Las estaciones se comunican directamente entre sí en modalidad peer-to-peer.

CANTIDAD DE RADIOS DE UN AP



2,4 GHz
o 5 GHz

Único

Todas las STA deben estar en
la misma banda



2,4 GHz



5 GHz

Dual

Permite cobertura completa
de dispositivos en cualquier
banda



5 GHz

5 GHz



2,4 GHz

Triple

Escenarios con conectividad
inalámbrica entre APs

PRINCIPALES ESTÁNDARES DE IEEE 802.11

Gen.	Estándar	Fecha	Banda [GHz]	Vel. (Teórica) [Mbps]	Veloc. (Real) [Mbps]	Modulación	Introduce
-	802.11	1997	2,4	2	1	DSSS FHSS	
-	802.11a	1999	5	54	22	OFDM	64 QAM
-	802.11b	1999	2,4	11	6	HR-DSSS	
-	802.11g	2003	2,4	54	22	OFDM HR-DSSS	
WiFi 4	802.11n	2009	2,4 5	600/450	350	HR-DSSS HT-OFDM	SU-MIMO (4x4) 40MHz - WPA
-	802.11ad	2012	60	6,7 Gbps			Alta velocidad
WiFi 5	802.11ac	2013 (wave 1) 2015 (wave 2)	5	3,74 Gbps (wave 1) / 6,9 Gbps (wave 2)	1300/1750	VHT-OFDM	80 & 160 MHz MU-MIMO (8x8) (Wave 2) - 256 QAM
WiFi HaLow	802.11ah	2017	0.9	347	78	OFDM	Largo alcance
WiFi 6	802.11ax	2019	2,4 5	1,15 Gbps (2,4) 9,6 Gbps (5)	6,25 Gbps / 9,6 Gbps (?)	OFDMA	1024-QAM MU-MIMO en uplink
WiFi 6e		2020	6				OFDMA

DESDE 1997
A 2022....

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11e – QOS & 802.11u – Offload

◆ 802.11e

- Calidad de servicio.
- Considera dos variantes, pero solo se implementó la más básica, que no asegura la prioridad en todos los casos.

◆ 802.11u

- Tiene como objeto permitir la conexión automática de un cliente WiFi (estación) a una red, sin intervención del usuario.
- Utilizando IEEE 802.21 (handover transparente entre distintos tipos de redes), habilita el WiFi Offload de las redes móviles.
- En ese caso, autentica usando la SIM del móvil, de modo transparente y seguro.
- En el beacon frame (“faro” con anuncios periódicos) se envían los datos del operador móvil (dato oculto al usuario).

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11ad – **Wireless Gigabit Alliance** & 802.11ah – **Wi-Fi HaLow**

◆ 802.11ad

- Utiliza la banda no licenciada de 60 GHz.
- La velocidad (teórica...) es de 6,7 Gbps.
- Incluye la extensión WiGig Display Extension, que permite la transmisión de vídeo en tiempo real (HDMI & DisplayPort).
- No ha tenido gran aceptación hasta ahora...

◆ 802.11ah

- Utiliza la banda no licenciada de **900 MHz**.
- La velocidad máxima es de **347 Mbps**.
- Pone el foco en el **ahorro** energético (compitiendo con Bluetooth), inaugurando el mismo mecanismo (TWT) que luego se usaría en .11ax.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11r – **Roaming** & 802.11k – Administración de los recursos de **radio**

◆ 802.11r

- Antes de WPA2, la conexión era más rápida (e insegura...). La seguridad aumentó el tiempo de conexión y, por ende, el tiempo sin servicio al cambiar de AP.
- Este tiempo puede no afectar sesiones de datos, pero resulta **crítico** para comunicaciones en tiempo real (VoIP, V2oIP) y muy importante para servicios de streaming.

◆ 802.11k

- Le permite a un cliente encontrar el mejor AP disponible.
- Operación:
 - El AP determina que el cliente se aleja.
 - Le informa al cliente que se prepare para conmutar a otro AP.
 - El cliente solicita una lista de los APs cercanos.
 - El AP envía un reporte del sitio.
 - Con este reporte, el cliente se conecta al mejor AP.

ENMIENDAS Y EXTENSIONES

802.11v – **Administración** del cliente & Wi-Fi CERTIFIED Voice Program

◆ 802.11v

- En condiciones normales, el AP no tiene control alguno sobre el cliente.
- .11.v permite intercambiar con los clientes información del entorno de RF y de la topología de la red

◆ **Wi-Fi CERTIFIED Voice Program**

- Programa de certificación de la WFA que define los requerimientos de calidad **corporativa** para:
 - Voz
 - Movilidad
 - Seguridad
 - Eficiencia energética.
- Utiliza los estándares .11r/k/v, aunque el .v no es imprescindible.
- Publica la lista de los dispositivos certificados.

WI-FI 6

Principales características

- ◆ Un **mismo** canal puede ser compartido entre distintas estaciones **simultáneamente**.
- ◆ Se aumenta la posibilidad de **re-uso** de una misma frecuencia en una misma área (Coloreo de BSS).
- ◆ Se mejora la **eficiencia** energética de la STA permitiéndole a las mismas “dormir” cuando no necesitan estar activas (Target WakeUp Time).
- ◆ Se aumenta la **eficiencia** de la modulación (256 QAM → 1024 QAM) → Aumenta la velocidad de transferencia.
- ◆ El acceso simultáneo con múltiples flujos (MIMO) se soporta también desde la STA al AP (uplink).

SOPORTE 802.11AX

Solamente en dispositivos muy recientes

- **ASUS RT-AX88U:**
"WiFi 6 (802.11ax) (2.4GHz) : up to 1148 Mbps - (5GHz) : up to 4804 Mbps"
- **Lenovo Yoga C940:** "Hasta 2X2 AX / Y hasta Wifi 6 (opcional, no disponible en todos los modelos)"
- **Iphone 11:**
802.11ax Wi Fi 6 con MIMO 2x2
- **Samsung Galaxy S10:**
Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac/ax (2.4/5GHz), VHT80 MU-MIMO, 1024QAM - **Up to 1.2Gbps** Download / Up to 1.2Gbps Upload



NO TODO SE
CUMPLE...

La primera adición de banda en 2 décadas

- En WiFi 6e se incorpora la banda de 6 GHz.
- No es una modificación del standard en sí.
- Es la adición de espectro no licenciando por parte de las autoridades regulatorias (FCC, ENACOM, etc...)

WIFI 6E

Incremento del ancho de banda disponible

Unlicensed Spectrum and Channel Allocations



2.4 GHz Channels **80 MHz**

ISM Band 2407 + 5 X Ch. Number Wavelength 12.5cm - 4.9" to 12.0cm - 4.7"

Channel	1	6	11
Center Freq	2.412	2.437	2.462

5 GHz Channels **500 MHz**

Frequency 5000 + 5 X Ch. Number Wavelength 5.8cm - 2.3" to 5.1cm - 2.0"

Radio Band	DFS Channels										DFS Channels										Qty							
	U-NII-1					U-NII-2a					U-NII-2c (Extended)					U-NII-3												
Center Freq	5.180	5.200	5.220	5.240	5.260	5.300	5.320	5.340	5.360	5.380	5.420	5.440	5.460	5.480	5.500	5.540	5.560	5.580	5.600	5.620	5.700	5.720	5.740	5.760	5.780	5.800	5.820	25
20 MHz	36	40	44	48		52	56	60	64	68	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160	165	11
40 MHz	38	46		54		102	106	110		118	126		134	142		146	150	154	158		162		166		170		174	6
80 MHz	42		58			106				122			138	142		154					166				172		178	4
160 MHz	50									114			122								155				163		171	2

6 GHz Channels **1,200 MHz**

FCC - USA 5950 + 5 X Ch. Number Wavelength 5.1cm - 2.0" to 4.2cm - 1.6"

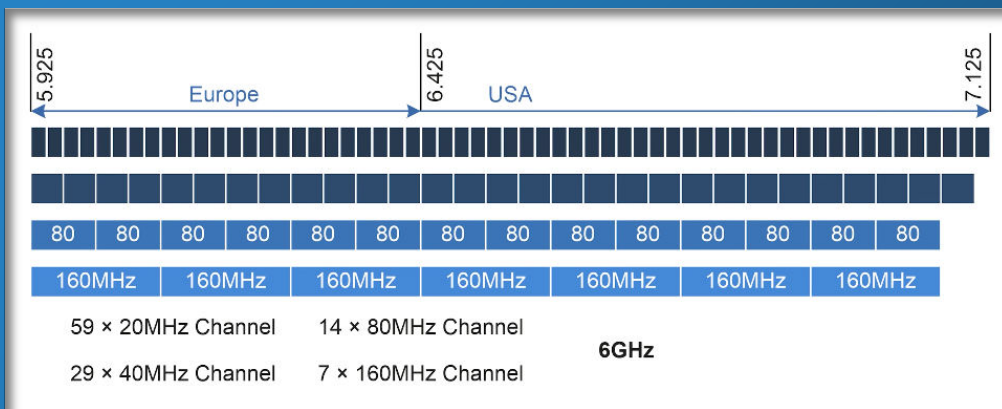
Low Power Indoor 5dBm/MHz - Net EIRP 18dBm

Radio Band	U-NII-5															U-NII-6															U-NII-7															U-NII-8															Qty																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Center Freq	5.905	5.925	5.945	5.965	5.985	6.005	6.025	6.045	6.065	6.085	6.105	6.125	6.145	6.165	6.185	6.205	6.225	6.245	6.265	6.285	6.305	6.325	6.345	6.365	6.385	6.405	6.425	6.445	6.465	6.485	6.505	6.525	6.545	6.565	6.585	6.605	6.625	6.645	6.665	6.685	6.705	6.725	6.745	6.765	6.785	6.805	6.825	6.845	6.865	6.885	6.905	6.925	6.945	6.965	6.985	7.005	7.025	7.045	7.065		7.085	7.105	7.125	7.145	7.165	7.185	7.205	7.225	7.245	7.265	7.285	7.305	7.325	7.345	7.365	7.385	7.405	7.425	7.445	7.465	7.485	7.505	7.525	7.545	7.565	7.585	7.605	7.625	7.645	7.665	7.685	7.705	7.725	7.745	7.765	7.785	7.805	7.825	7.845	7.865	7.885	7.905	7.925	7.945	7.965	7.985	8.005	8.025	8.045	8.065	8.085	8.105	8.125	8.145	8.165	8.185	8.205	8.225	8.245	8.265	8.285	8.305	8.325	8.345	8.365	8.385	8.405	8.425	8.445	8.465	8.485	8.505	8.525	8.545	8.565	8.585	8.605	8.625	8.645	8.665	8.685	8.705	8.725	8.745	8.765	8.785	8.805	8.825	8.845	8.865	8.885	8.905	8.925	8.945	8.965	8.985	9.005	9.025	9.045	9.065	9.085	9.105	9.125	9.145	9.165	9.185	9.205	9.225	9.245	9.265	9.285	9.305	9.325	9.345	9.365	9.385	9.405	9.425	9.445	9.465	9.485	9.505	9.525	9.545	9.565	9.585	9.605	9.625	9.645	9.665	9.685	9.705	9.725	9.745	9.765	9.785	9.805	9.825	9.845	9.865	9.885	9.905	9.925	9.945	9.965	9.985	10.005	10.025	10.045	10.065	10.085	10.105	10.125	10.145	10.165	10.185	10.205	10.225	10.245	10.265	10.285	10.305	10.325	10.345	10.365	10.385	10.405	10.425	10.445	10.465	10.485	10.505	10.525	10.545	10.565	10.585	10.605	10.625	10.645	10.665	10.685	10.705	10.725	10.745	10.765	10.785	10.805	10.825	10.845	10.865	10.885	10.905	10.925	10.945	10.965	10.985	11.005	11.025	11.045	11.065	11.085	11.105	11.125	11.145	11.165	11.185	11.205	11.225	11.245	11.265	11.285	11.305	11.325	11.345	11.365	11.385	11.405	11.425	11.445	11.465	11.485	11.505	11.525	11.545	11.565	11.585	11.605	11.625	11.645	11.665	11.685	11.705	11.725	11.745	11.765	11.785	11.805	11.825	11.845	11.865	11.885	11.905	11.925	11.945	11.965	11.985	12.005	12.025	12.045	12.065	12.085	12.105	12.125	12.145	12.165	12.185	12.205	12.225	12.245	12.265	12.285	12.305	12.325	12.345	12.365	12.385	12.405	12.425	12.445	12.465	12.485	12.505	12.525	12.545	12.565	12.585	12.605	12.625	12.645	12.665	12.685	12.705	12.725	12.745	12.765	12.785	12.805	12.825	12.845	12.865	12.885	12.905	12.925	12.945	12.965	12.985	13.005	13.025	13.045	13.065	13.085	13.105	13.125	13.145	13.165	13.185	13.205	13.225	13.245	13.265	13.285	13.305	13.325	13.345	13.365	13.385	13.405	13.425	13.445	13.465	13.485	13.505	13.525	13.545	13.565	13.585	13.605	13.625	13.645	13.665	13.685	13.705	13.725	13.745	13.765	13.785	13.805	13.825	13.845	13.865	13.885	13.905	13.925	13.945	13.965	13.985	14.005	14.025	14.045	14.065	14.085	14.105	14.125	14.145	14.165	14.185	14.205	14.225	14.245	14.265	14.285	14.305	14.325	14.345	14.365	14.385	14.405	14.425	14.445	14.465	14.485	14.505	14.525	14.545	14.565	14.585	14.605	14.625	14.645	14.665	14.685	14.705	14.725	14.745	14.765	14.785	14.805	14.825	14.845	14.865	14.885	14.905	14.925	14.945	14.965	14.985	15.005	15.025	15.045	15.065	15.085	15.105	15.125	15.145	15.165	15.185	15.205	15.225	15.245	15.265	15.285	15.305	15.325	15.345	15.365	15.385	15.405	15.425	15.445	15.465	15.485	15.505	15.525	15.545	15.565	15.585	15.605	15.625	15.645	15.665	15.685	15.705	15.725	15.745	15.765	15.785	15.805	15.825	15.845	15.865	15.885	15.905	15.925	15.945	15.965	15.985	16.005	16.025	16.045	16.065	16.085	16.105	16.125	16.145	16.165	16.185	16.205	16.225	16.245	16.265	16.285	16.305	16.325	16.345	16.365	16.385	16.405	16.425	16.445	16.465	16.485	16.505	16.525	16.545	16.565	16.585	16.605	16.625	16.645	16.665	16.685	16.705	16.725	16.745	16.765	16.785	16.805	16.825	16.845	16.865	16.885	16.905	16.925	16.945	16.965	16.985	17.005	17.025	17.045	17.065	17.085	17.105	17.125	17.145	17.165	17.185	17.205	17.225	17.245	17.265	17.285	17.305	17.325	17.345	17.365	17.385	17.405	17.425	17.445	17.465	17.485	17.505	17.525	17.545	17.565	17.585	17.605	17.625	17.645	17.665	17.685	17.705	17.725	17.745	17.765	17.785	17.805	17.825	17.845	17.865	17.885	17.905	17.925	17.945	17.965	17.985	18.005	18.025	18.045	18.065	18.085	18.105	18.125	18.145	18.165	18.185	18.205	18.225	18.245	18.265	18.285	18.305	18.325	18.345	18.365	18.385	18.405	18.425	18.445	18.465	18.485	18.505	18.525	18.545	18.565	18.585	18.605	18.625	18.645	18.665	18.685	18.705	18.725	18.745	18.765	18.785	18.805	18.825	18.845	18.865	18.885	18.905	18.925	18.945	18.965	18.985	19.005	19.025	19.045	19.065	19.085	19.105	19.125	19.145	19.165	19.185	19.205	19.225	19.245	19.265	19.285	19.305	19.325	19.345	19.365	19.385	19.405	19.425	19.445	19.465	19.485	19.505	19.525	19.545	19.565	19.585	19.605	19.625	19.645	19.665	19.685	19.705	19.725	19.745	19.765	19.785	19.805	19.825	19.845	19.865	19.885	19.905	19.925	19.945	19.965	19.985	20.005	20.025	20.045	20.065	20.085	20.105	20.125	20.145	20.165	20.185	20.205	20.225	20.245	20.265	20.285	20.305	20.325	20.345	20.365	20.385	20.405	20.425	20.445	20.465	20.485	20.505	20.525	20.545	20.565	20.585	20.605	20.625	20.645	20.665	20.685	20.705	20.725	20.745	20.765	20.785	20.805	20.825	20.845	20.865	20.885	20.905	20.925	20.945	20.965	20.985	21.005	21.025	21.045	21.065	21.085	21.105	21.125	21.145	21.165	21.185	21.205	21.225	21.245	21.265	21.285	21.305	21.325	21.345	21.365	21.385	21.405	21.425	21.445	21.465	21.485	21.505	21.525	21.545	21.565	21.585	21.605	21.625	21.645	21.665	21.685	21.705	21.725	21.745	21.765	21.785	21.805	21.825	21.845	21.865	21.885	21.905	21.925	21.945	21.965	21.985	22.005	22.025	22.045	22.065	22.085	22.105	22.125	22.145	22.165	22.185	22.205	22.225	22.245	22.265	22.285	22.305	22.325	22.345	22.365	22.385	22.405	22.425	22.445	22.465	22.485	22.505	22.525	22.545	22.565	22.585	22.605	22.625	22.645	22.665	22.685	22.705	22.725	22.745	22.765	22.785	22.805	22.825	22.845	22.865	22.885	22.905	22.925	22.945	22.965	22.985	23.005	23.025	23.045	23.065	23.085	23.105	23.125	23.145	23.165	23.185	23.205	23.225	23.245	23.265	23.285	23.305	23.325	23.345	23.365	23.385	23.405	23.425	23.445	23.465	23.485	23.505	23.525	23.545	23.565	23.585	23.605	23.625	23.645	23.665	23.685	23.705	23.725	23.745	23.765	23.785	23.805	23.825	23.845	23.865	23.885	23.905	23.925	23.945	23.965	23.985	24.005	24.025	24.045	24.065	24.085	24.105	24.125	24.145	24.165	24.185	24.205	24.225	24.245	24.265	24.285	24.305	24.325	24.345	24.365	24.385	24.405	24.425	24.445	24.465	24.485	24.505	24.525	24.545	24.565	24.585	24.605	24.625	24.645	24.665	24.685	24.705	24.725	24.745	24.765	24.785	24.805	24.825	24.845	24.865	24.885	24.905	24.925	24.945	24.965

WIFI 6E

Asignación de canales dependiendo de la región

Canales en la banda de 6 GHz



Asignación de banda **no licenciada de 6GHz** en Argentina

Top 5 de hoy | Argentina | Espectro

jueves 05 de agosto de 2021

Enacom reevalúa su primera propuesta sobre WiFi 6 y ahora analiza atribuir 1.200 MHz

En diciembre de 2020 se sometió a consulta pública la atribución de 5.925-6.425 MHz para WiFi 6, es decir, **solo 500 Mhz** (Resolución 102/2020). Sin embargo, frente a la inclinación de **varios países de la región por la atribución de 1.200 MHz** (Perú, Chile, Colombia, Brasil, Costa Rica), el regulador analiza como parte de su trabajo en un futuro plan de espectro alinearse con la tendencia en América latina.

El coordinador de Asuntos Técnicos de Enacom, Sergio D'Uva, explicó a **Convergencialatina** que inicialmente se planteó liberar 500 MHz y aguardar a la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2023 (CMR-23) de la UIT para decidir sobre los restantes 700 MHz en la banda de 6 GHz.

"Ante los avances en otros países, estamos evaluando la decisión. Nos tomó por sorpresa la definición de Perú", admitió. A fin de abril, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del país andino modificó el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, habilitando TV White Spaces (TVWS), HAPS, la identificación de 1.200 MHz para WiFi 6 y 1.200 MHz para un próximo concurso en 26 GHz, y la operación en Banda E (71 - 76 y 81 - 86 GHz), entre otros cambios.

En relación a la consulta pública sobre reglamentación de WiFi 6, lanzada por la Secretaría de Innovación Pública y finalizada en febrero con 29 respuestas, aún está pendiente la difusión del informe sobre los comentarios recibidos.

Fuente: Convergencialatina | Artículo original

UL

Estar

NAP

Hi

SO

en

Estar

NA

po

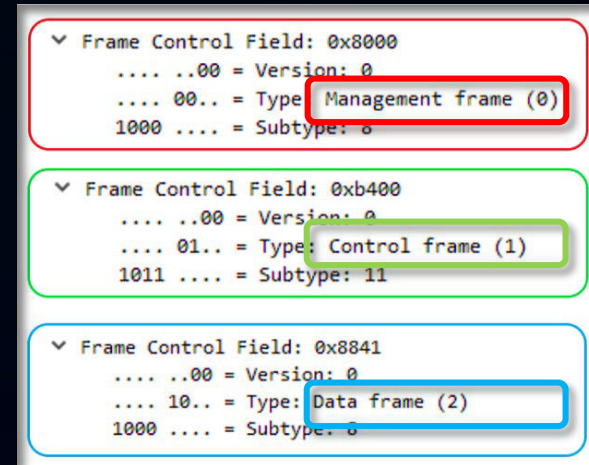
ado

Per

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Tipos de tramas

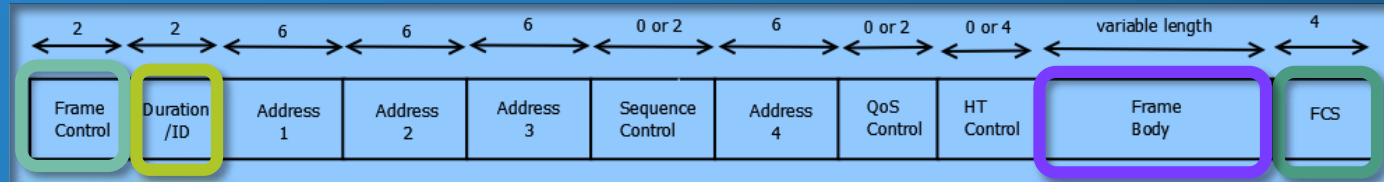
- *Medium Access Control (MAC)* → Capa 2.
- Tres tipos de trama:
 - **Management**: Sirven para establecer y mantener la **conexión** entre una estación y un AP.
 - **Control**: Controla el medio (RTS/CTS), ACKs, etc...
 - **Data**: Transportan los datos de usuario en sí. El encabezado (subtipo) especifica si la trama transporta o no **datos**:
 - 0: lleva datos de usuario
 - >0: tramas nulas (ej: Administración de energía) y QoS



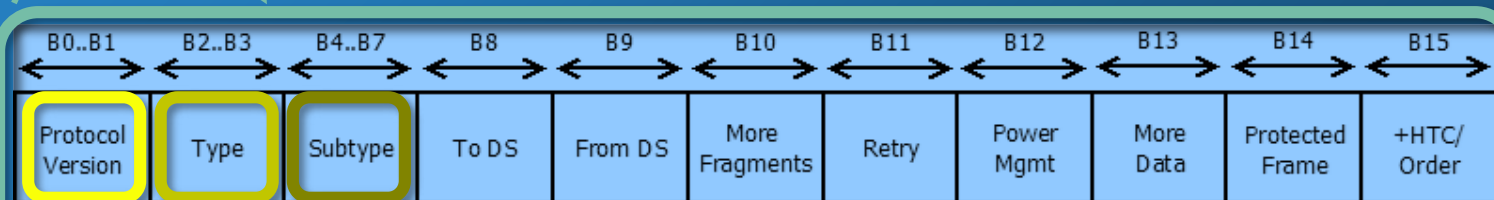
CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Tipos de tramas

Trama MAC en 802.11



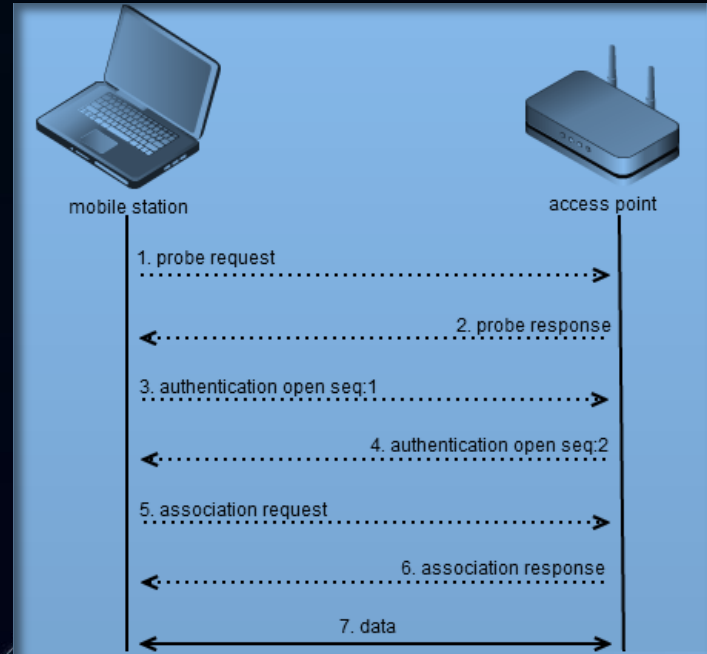
Frame control



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Proceso de conexión

- ◆ 1 - Descubrimiento
 - **Pasivo:** El AP emite una trama Beacon con sus datos
 - **Activo:** La estación transmite un "Probe request frame" y El AP manda entonces un Probe-response
- ◆ 2 - Autenticación
 - La STA pide autenticarse y el AP le da un OK.
 - Busca al "mejor" (nivel de señal, parámetros de calidad, etc...)
- ◆ 3 - Asociación:
 - La respuesta podría no ser exitosa
- ◆ 4 - Luego de esto, STA y AP están conectados (*Connected State*).
- ◆ A pesar de esto, la STA seguirá buscando mejores APs.



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

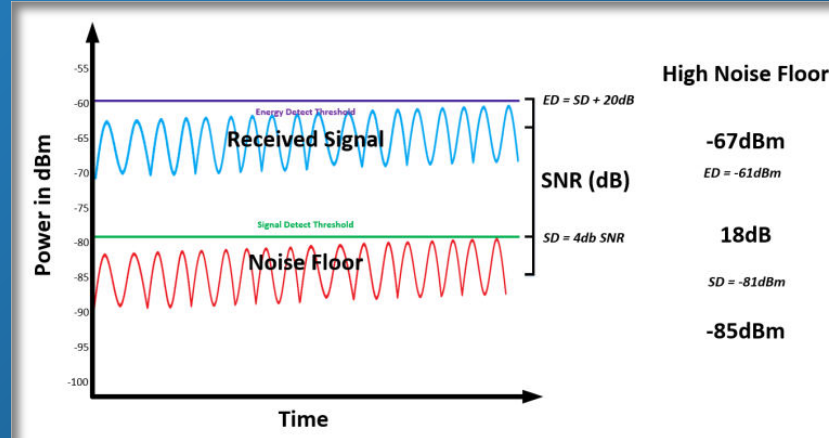
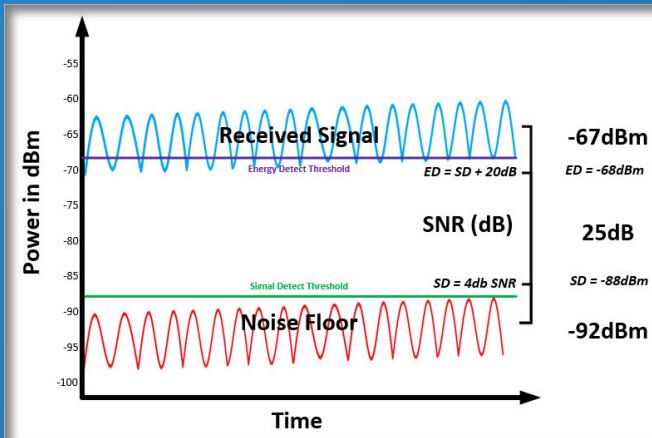
Distributed Coordination Function (**DCF**)

- ◆ Al usar una única frecuencia para enviar y recibir datos, WiFi duplexa usando **TDD** (Half-duplex).
- ◆ No hay un mecanismo de verificación de error físico como en una red Ethernet (*Collision Detection*).
- ◆ Cada vez que un dispositivo WiFi transmite información, lo siguiente que tiene que pasar es recibir un "reconocimiento" (ACK).
- ◆ Se requiere entonces un mecanismo que **coordine** esa duplexación.
- ◆ **DCF** (*Distributed coordination function*): Especifica que una STA solo puede transmitir cuando el **canal está libre**.
- ◆ Define cuatro componentes para "asegurar" que los dispositivos compartan el medio de manera "equitativa":
 - Detección **física** de la portadora.
 - Detección **virtual** de la portadora.
 - Interframe Spaces (**IFS**).
 - **Random** Back-off timers.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Detección física de la portadora

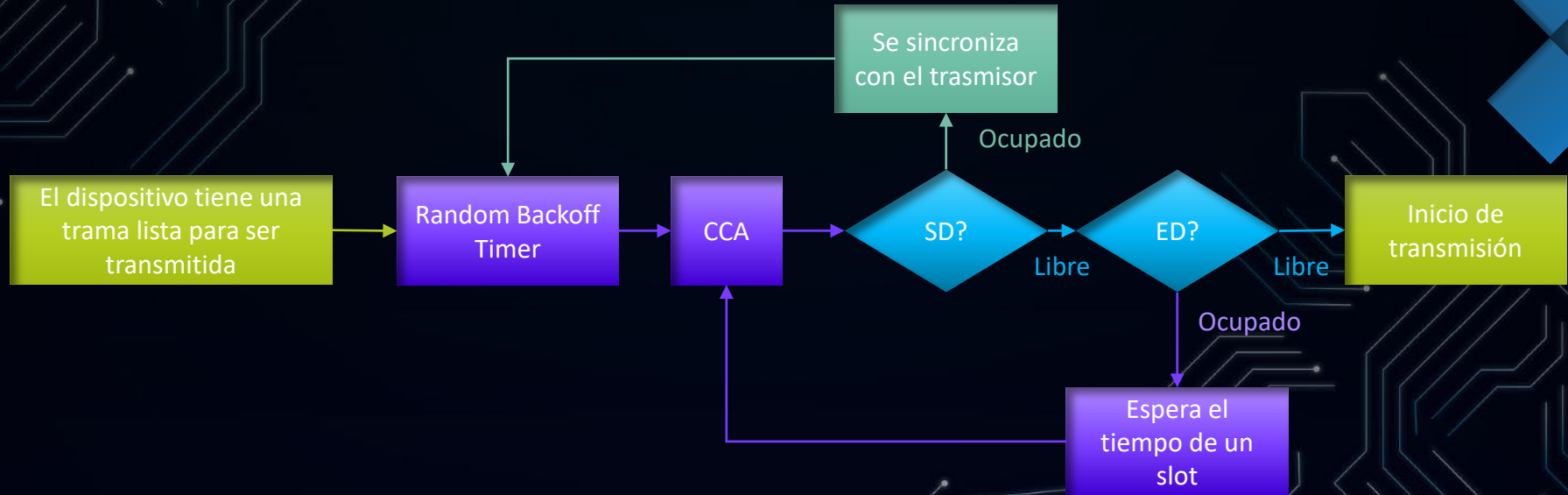
Detección de interferencias en escenarios ruidosos



ALTO PISO DE
RUIDO

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

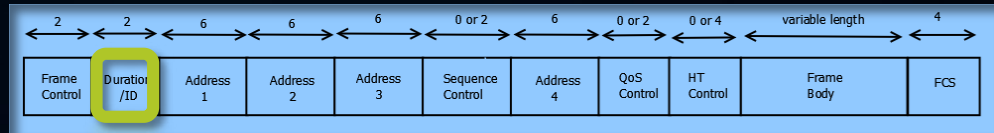
Versión simplificada del CCA



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Detección **virtual** de la portadora

- ◆ Cada vez que se realiza una transmisión, se incluye en la trama un valor de duración:



- ◆ No es solamente el tiempo de la trama de datos en sí, sino el total del proceso, incluyendo el ACK del envío.
- ◆ Al sincronizarse con la trama que se "escucha" y leerse el valor de duración, se setea un timer: Network Allocation Vector (**NAV**).
- ◆ No se intentará acceder al medio hasta que expire el NAV.
- ◆ Las tramas de ACK y Beacon setean la duración =0, indicando que, luego de su cierre, el medio queda disponible para ser accedido.

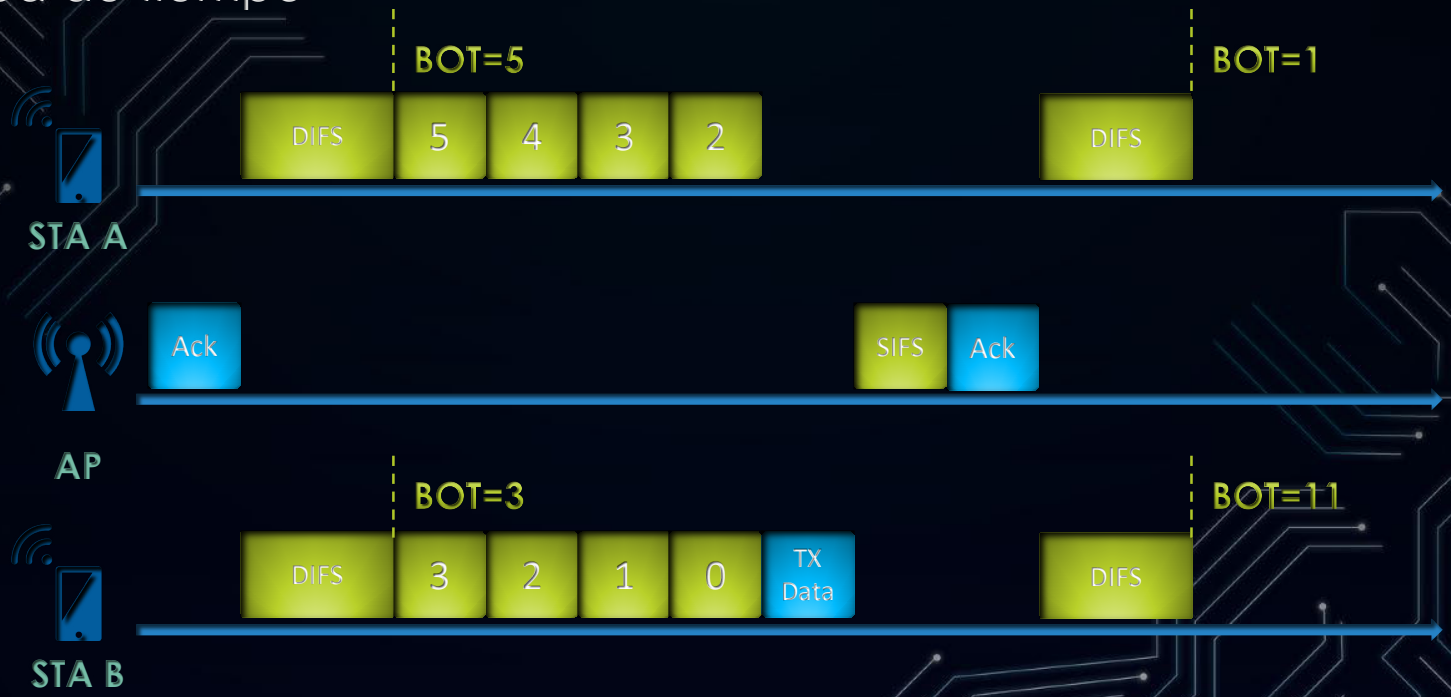
CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Espacio entre tramas (IFS)

- ◆ Se denomina así al "tiempo de aire muerto" que transcurre entre transmisión y transmisión.
- ◆ Se necesitan para evitar que los dispositivos se interfieran entre sí y priorizar ciertas transmisiones.
 - **SIFS** (*Short IFS*): Cuando un terminal sabe que es su momento de transmitir.
 - **DIFS** (*DCF IFS*): Cuando un terminal quiere transmitir pero no sabe si es su turno.
 - **DIFS = SIFS + 2 * Tiempo_del_Slot**
 - *SIFS* = entre **10** y **16 μseg** dependiendo del standard y de la banda.
 - *Tiempo_del_Slot* = entre **9** y **20 μseg** dependiendo del standard y de la banda.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Línea de tiempo



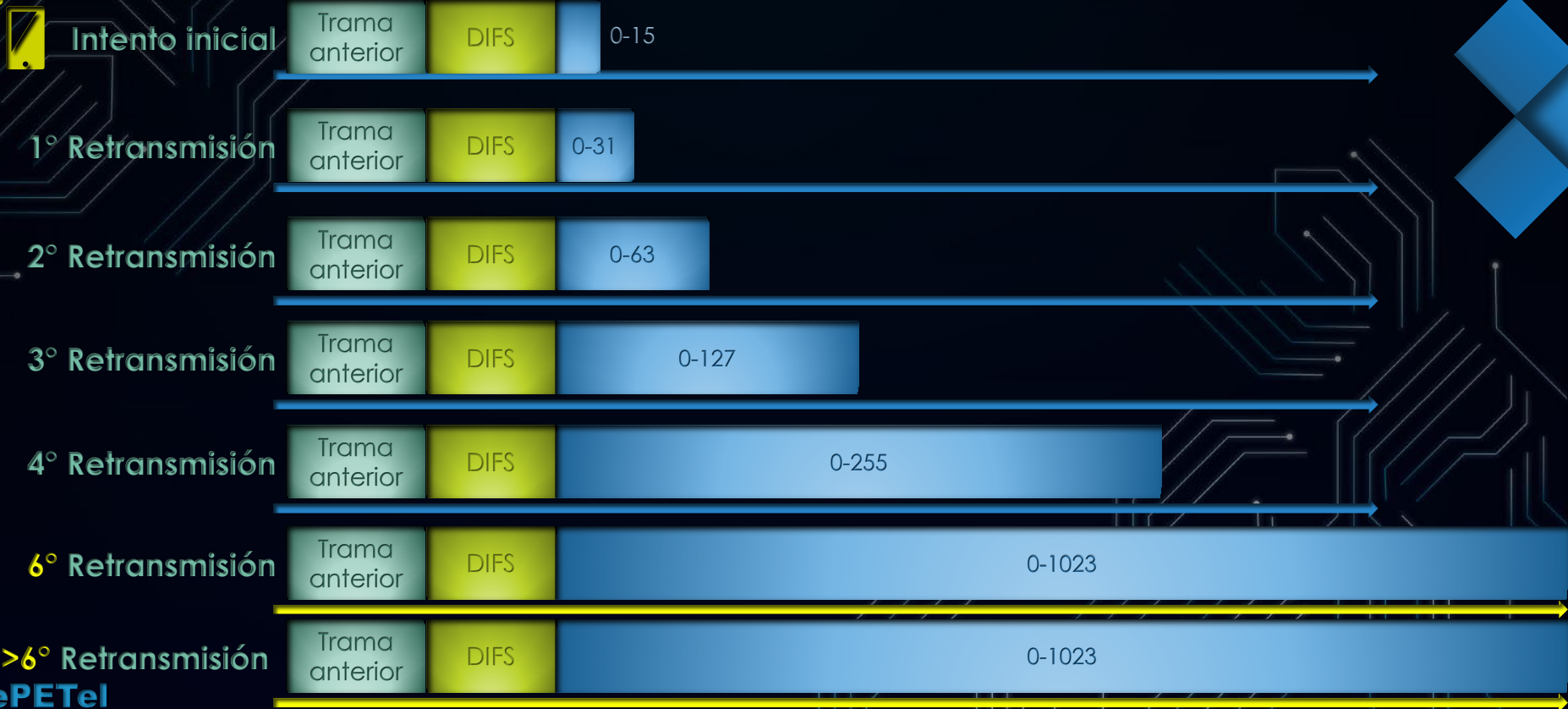
CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Línea de tiempo



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Contention Window

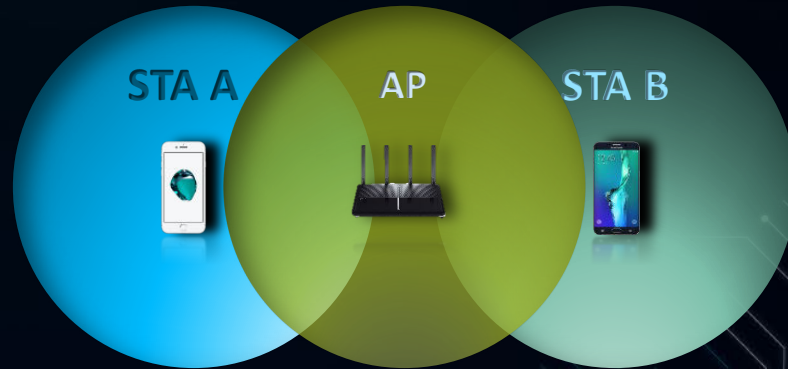


>6° Retransmisión

PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS OCULTOS

Factores que la causan

- Ocurre cuando una estación es vista desde el AP pero no desde las otras estaciones.
- Puede ser causado por distintos motivos
 - Distancia
 - Obstrucciones
 - Patrones de irradiación de las antenas.
- Se puede dar con facilidad en escenarios outdoor utilizando antenas direccionales.

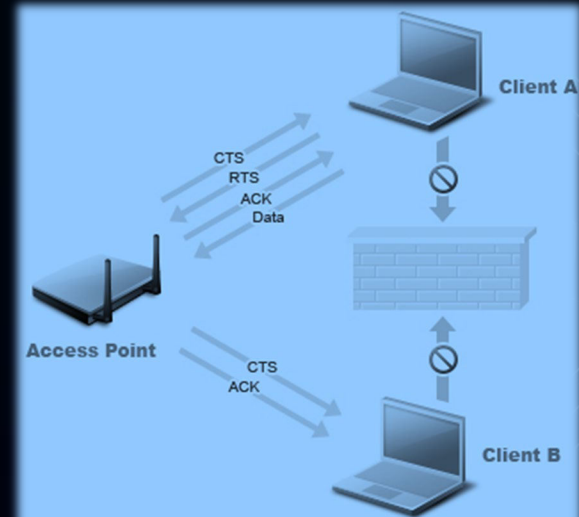


STA A NO VE
A STA B

PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS OCULTOS

Mitigar los nodos ocultos

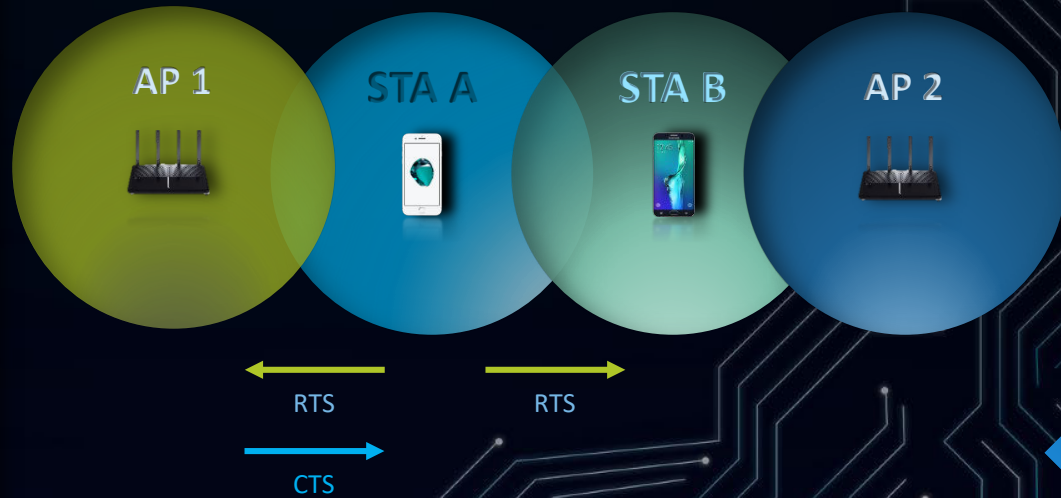
- En el caso de nodos fijos (Outdoor):
 - Usar antenas sectoriales u omnidireccionales.
 - Incrementar la potencia de las STA.
 - Remover obstáculos.
 - Mover el nodo.
- Para clientes móviles, es menos controlable.
 - Si bien el uso de RTS/CTS no es obligatorio para el funcionamiento del DCF, se implementa desde la STA al AP.
 - La STA que quiere hablar “levanta la mano” con un RTS.
 - Solo la que recibió un OK mediante el CTS puede transmitir.



PROBLEMÁTICA DE LOS NODOS EXPUESTOS

Factores que la causan

- Ocurre cuando dos estaciones conectadas a distintos APs se ven entre sí, pero no así los APs.
- En este caso, se generan RBT innecesarios, ya que STA B "escuchará" los mensajes RTS de STA A a AP 1 y no le "hablará" al AP 2 considerando que el canal está ocupado.



AP 1 NO VE
A AP 2

CALIDAD DE SERVICIO

Enhanced Distributed Channel Access

- ◆ No define si se manda primero el tráfico de tiempo real (video/voz) o el de menor prioridad. Tan solo aumenta las chances de que el tráfico más crítico acceda al medio.
- ◆ Introduce el AIFS (*Arbitrary IFS*). Es un IFS variable, cuya longitud cambia en función de la categoría del tráfico. (Voz, Video, Best Effort & Background)
- ◆ Define cuatro niveles de prioridad.
- ◆ En función del nivel, cambia la cantidad de bits usados en el BOT. Por lo tanto, a menos bits, mayor probabilidad de llegar a cero antes.
 - BOT Best Effort & Background: 0-15 (4 bits).
 - BOT Video: 0-7 (3 bits).
 - BOT Voz: 0-3 (2 bits).

CALIDAD DE SERVICIO

Enhanced Distributed Channel Access

- Mapea de forma directa con la clase de servicio de Ethernet (IEEE 802.1p).

Prioridad	802.1p			802.11e	
	Priority Code Point (PCP)	Acónimo	Tipo de tráfico	Access Category (AC)	Designación
La más baja	1	BK	Background	AC_BK	Background
	2	--	Spare	AC_BK	Background
	0	BE	Best Effort	AC_BE	Best Effort
	3	EE	Excellent Effort	AC_BE	Best Effort
	4	CL	Controlled Load	AC_VI	Video
	5	VI	Video	AC_VI	Video
	6	VO	Voice	AC_VO	Voice
La más alta	7	NC	Network Control	AC_VO	Voice

802.1P
A 802.11E

CALIDAD DE SERVICIO

Híbrido Coordinated Channel Access

- ◆ El AP dirige a los demás, usando un *Controlled Access Phase (CAP)*.
- ◆ Una STA puede solicitar parámetros de transmisión específicos (jitter, data rate, etc...).
- ◆ Fue propuesto en el estándar, pero **no se implementó** en sistemas reales.
- ◆ Incluso, si bien HCCA es parte del estándar, no es obligatorio su soporte.

CALIDAD DE SERVICIO

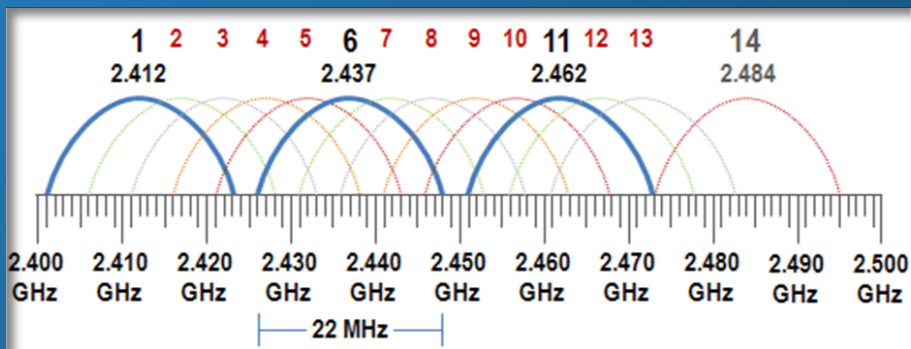
WMM (Wireless MultiMedia)

- ◆ Es un subconjunto de la 802.11e definido por la WFA.
- ◆ Solo especifica como obligatorias algunas de las funcionalidades de 802.11e.
- ◆ Los APs pueden (o no) soportarlo, siendo configurable su soporte. Algunos permiten definir además si se envían o no ACKs en este caso.

ASIGNACIÓN DE CANALES

2,4 GHz (20/22 Mhz)

Canal	Frec. [MHz]	Dominios Reguladores				
		América (-A)	EMEA (-E)	Israel (-I)	China (-C)	Japón (-J)
1	2412	x	x	—		x
2	2417	x	x	—	x	x
3	2422	x	x	x	x	x
4	2427	x	x	x	x	x
5	2432	x	x	x	x	x
6	2437	x	x	x	x	x
7	2442	x	x	x	x	x
8	2447	x	x	x	x	x
9	2452	x	x	x	x	x
10	2457	x	x	—	x	x
11	2462	x	x	—	x	x
12	2467	—	x	—	—	x
13	2472	—	x	—	—	x
14	2484	—	—	—	—	x

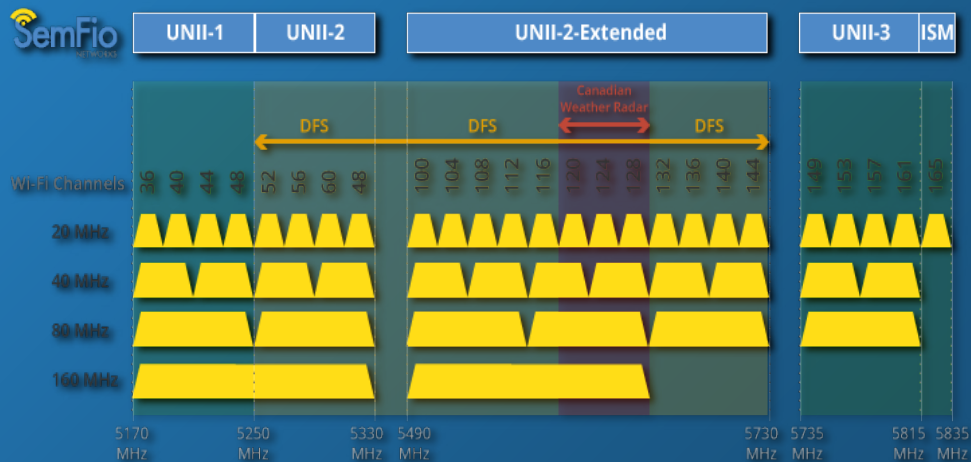


CANALES EN
2,4 GHz

ASIGNACIÓN DE CANALES

5 GHz

Canal	Frec. [MHz]	Dominios Reguladores			
		América (-A)	EMEA (-E)	Israel (-I)	Japón (-J)
34	5170	—	—	—	—
36	5180	x	x	x	—
38	5190	—	—	—	—
40	5200	x	x	x	—
42	5210	—	—	—	—
44	5220	x	x	x	—
46	5230	—	—	—	—
48	5240	x	x	x	—
52	5260	x	—	—	x
56	5280	x	—	—	x
60	5300	x	—	—	x
64	5320	x	—	—	x
149	5745	—	—	—	—
153	5765	—	—	—	—
157	5785	—	—	—	—
161	5805	—	—	—	—

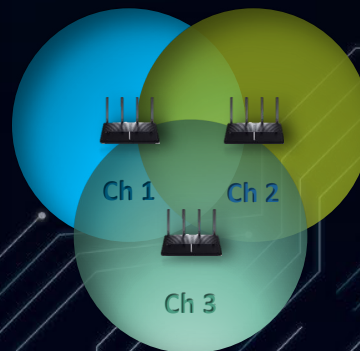


CANALES EN
5 GHz

INTERFERENCIA

Las tres causas principales

- Co-Canal
 - Cada STA y AP compite por el tiempo en el aire.
 - Se vuelve un problema a medida que aumentan los dispositivos sobre un mismo canal.
- Fuentes no WiFi
 - Aumentan el piso de ruido, por ende baja la SNR, por ende es necesario usar una modulación más robusta, por ende.... baja la transferencia.
- Canal Adyacente
 - Se vuelve un problema a medida que aumentan los APs en una misma área.



INTERFERENCIA

Canal adyacente en 2,4 GHz

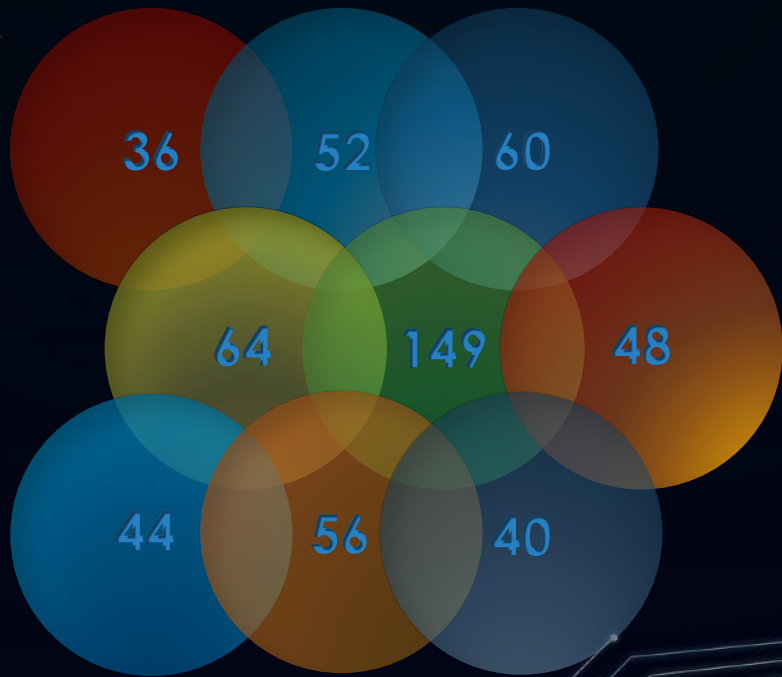


CANALES EN
2,4 GHz

INTERFERENCIA

Canal adyacente en 5 GHz

233



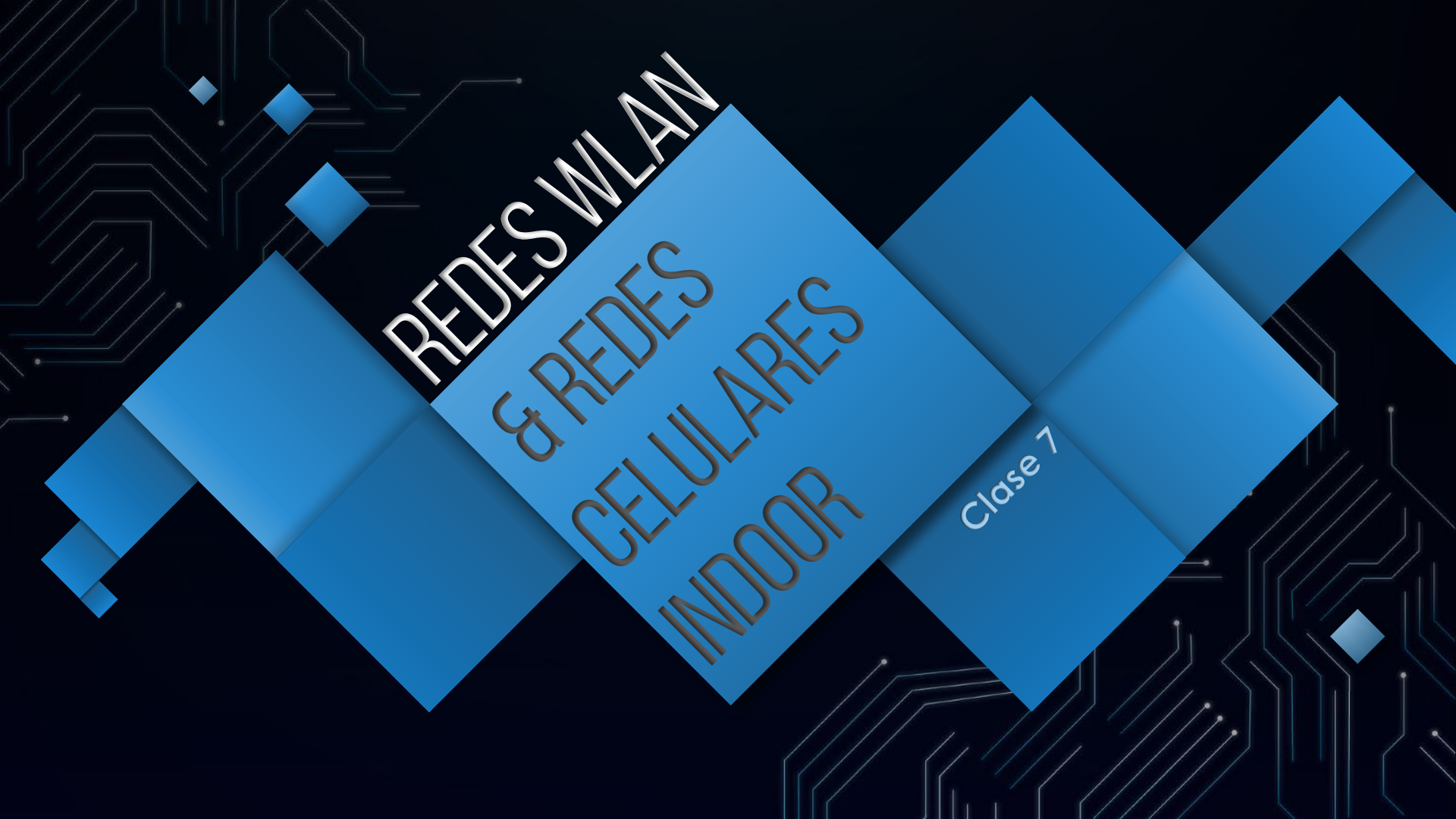
CANALES EN 5 GHz

SELECCIÓN AUTOMÁTICA DEL CANAL

234

Implementaciones

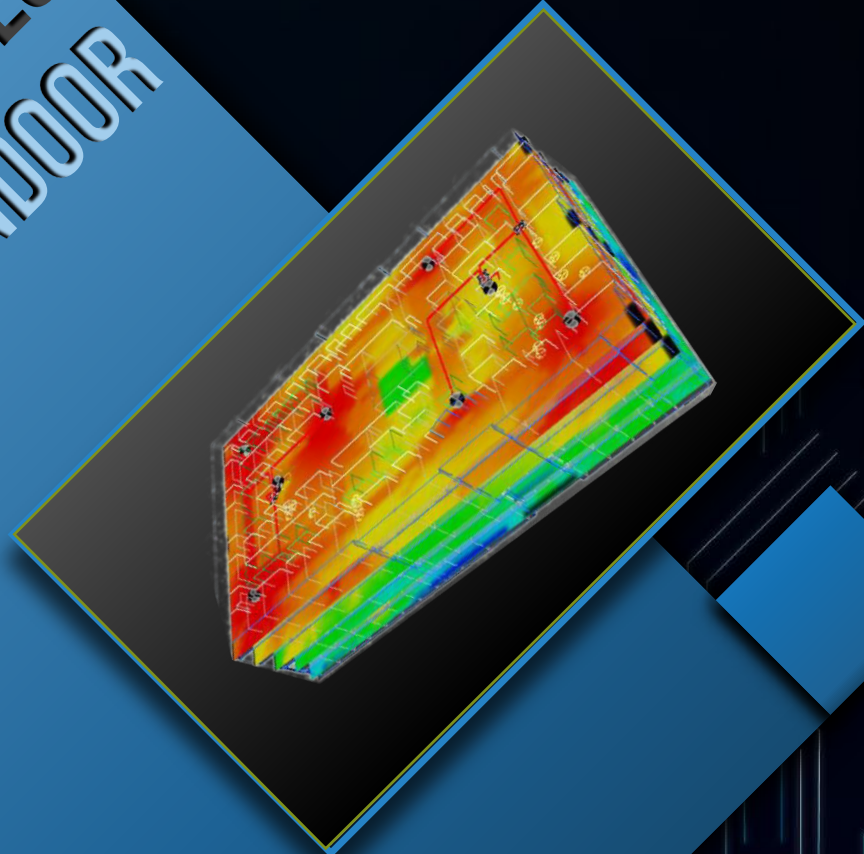
- ◆ La lógica y algoritmos para ACS (**A**utomatic **C**hannel **S**election) no forma parte del estándar del IEEE, ni es requerimiento de la WFA.
- ◆ Factores para la elección
 - Canal menos congestionado.
 - Limitar la selección a canales sin solapamiento (1, 6 & 11).
 - Nivel de ruido en cada canal (debido a interferencias externas).
 - Preferir los canales centrales a los que están en el límite de la banda.
 - Escaneo solo al iniciar o periódico.
 - Tiempo de escaneo (a mayor tiempo de escaneo, mayor tiempo de encendido o indisponibilidad)
- ◆ En el caso de utilizar el controlador, este puede asignar los canales de cada AP en función de como se afecten unos a otros.
- ◆ Se puede especificar la “afinidad” (porcentual) para tomar un determinado canal.



REDES WLAN
& REDES
CELULARES
INDOOR

Clase 7

REDES WIFI & CELULARES INDOOR



ANTENAS

ANTENAS

Ganancia

- ◆ La **ganancia** de una antena se calcula en relación al radiador **isotrópico**.
- ◆ Se expresa en **dBi**, como una relación frente al mismo.
- ◆ El valor expresado por los fabricantes refiere a la ganancia máxima en **una dirección** dada, no en todas.
- ◆ La ganancia en cada dirección dependerá de cada tipo de antena y modelo en particular.

Fórmula

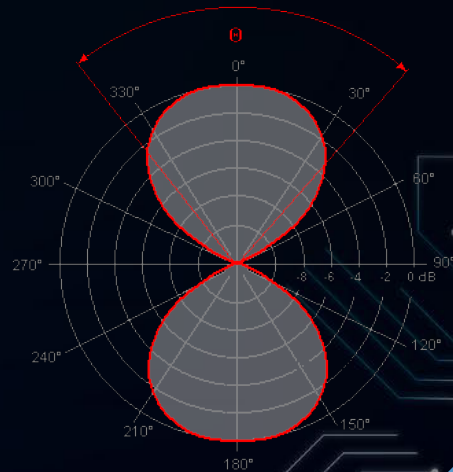


$$\text{Ganancia[dBi]} = 10 * \log \frac{P_{max}}{P_{iso}}$$

ANTENAS

Ancho del haz

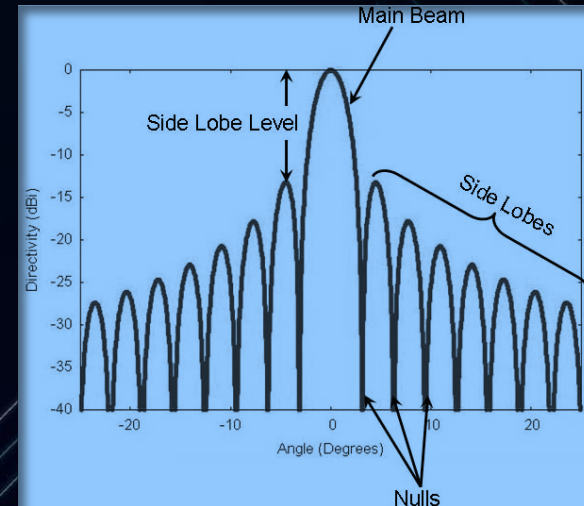
- ◆ Una antena **direccional** es aquella que emite o recibe un haz de radiación en una o más direcciones **específicas**.
- ◆ El **ancho** de este haz se define como el **ángulo** entre los puntos en los que la **potencia** emitida baja a la **mitad** (aproximadamente -3 dB).
- ◆ Esto se conoce como "Ángulo de potencia mitad".
- ◆ Un dipolo de media longitud de onda tienen un ancho del haz de 79° en un plano y 360° en el otro.



ANTENAS

Lóbulos

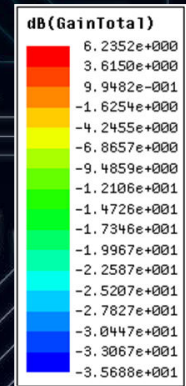
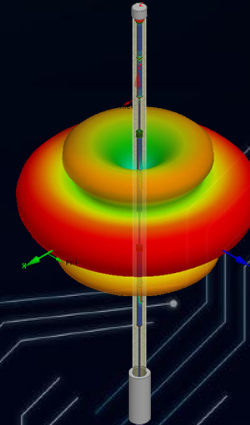
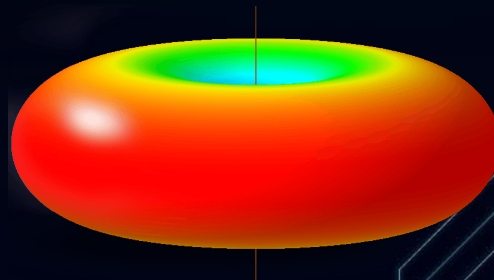
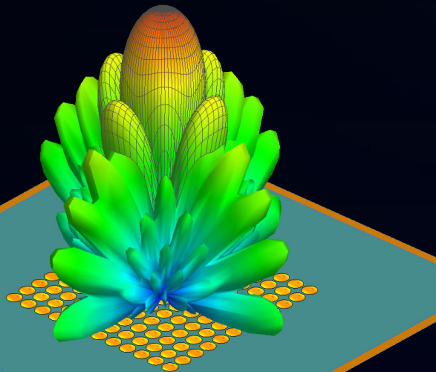
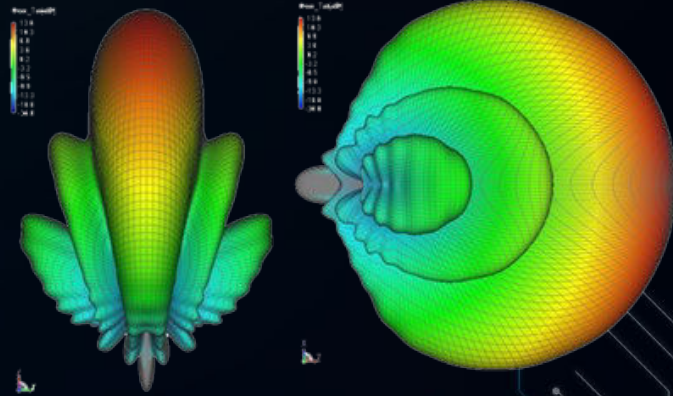
- ◆ Aunque la antena direccional ideal concentraría toda su energía en **una sola** dirección, en la práctica existen lóbulos **principales**, secundario, traseros ("espalda").
- ◆ Cada uno de estos lóbulos tiene una ganancia u ancho del haz dado.
- ◆ Cuando más reducido es el **ángulo** del lóbulo principal, mayor es la **ganancia** de la antena.
- ◆ La **relación frente-espalda**, expresa la ganancia que tiene una antena en la dirección intencional frente a la emitida en la dirección opuesta.



ANTENAS

Patrones de radiación

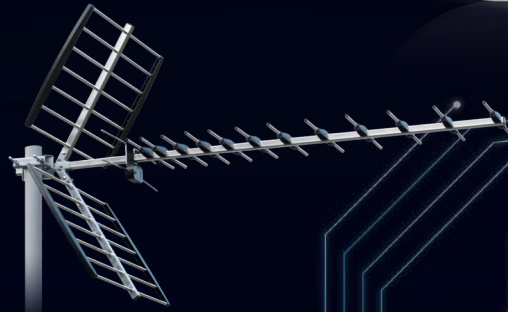
- ◆ Representan la ganancia que tiene una antena dada en cada dirección.
- ◆ Suelen ser representados en dos diagramas polares (Azimuth y Elevación o Zenith) pero también pueden representarse tridimensionalmente.



ANTENAS

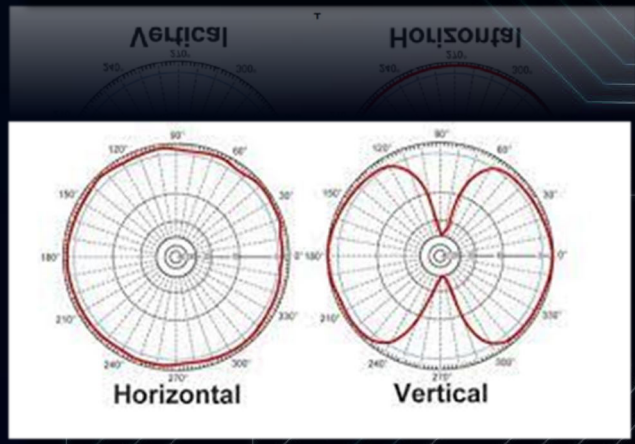
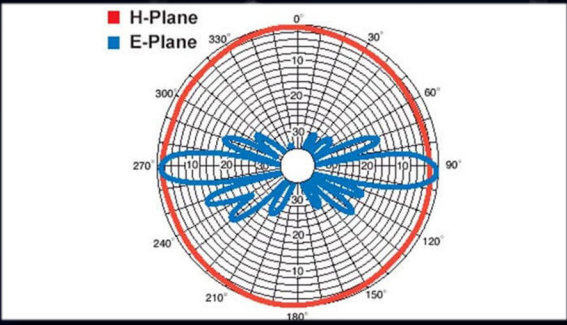
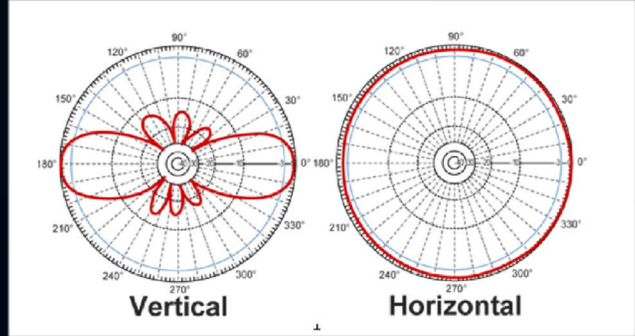
Tipos de antenas (algunos....)

- Omnidireccional
- Sectorial
- Yagi
- Parabólica
- PCB



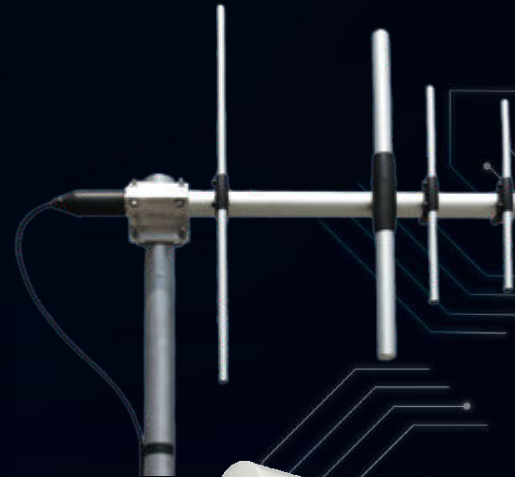
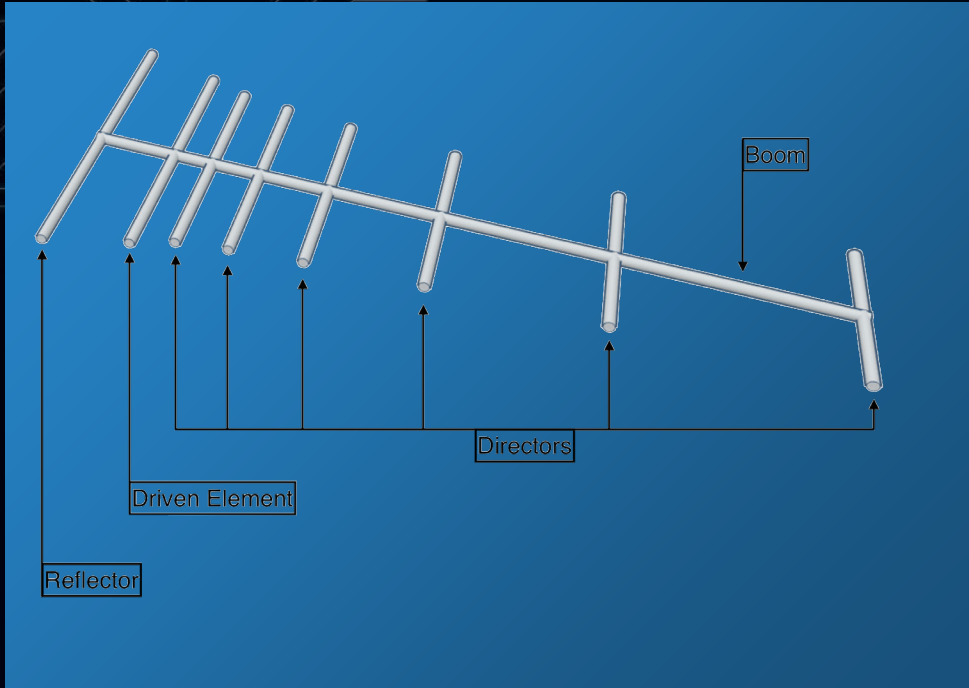
ANTENAS

Omni y "Rubber duck"



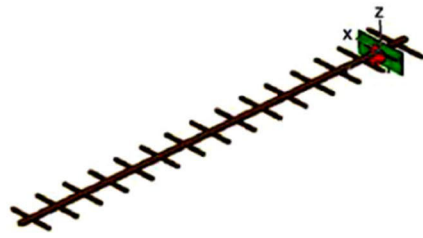
ANTENAS

Yagi UDA

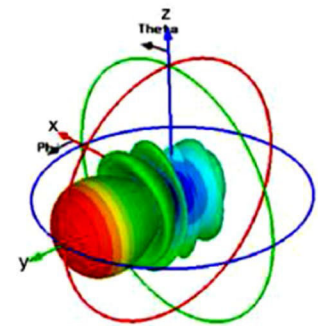


ANTENAS

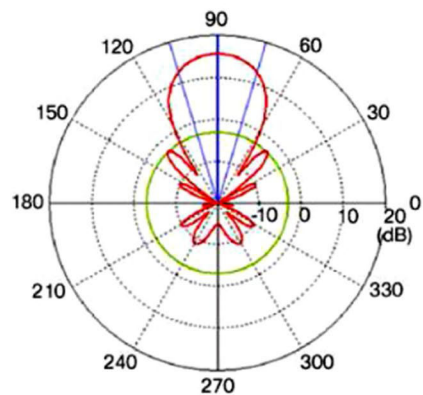
Yagi UDA



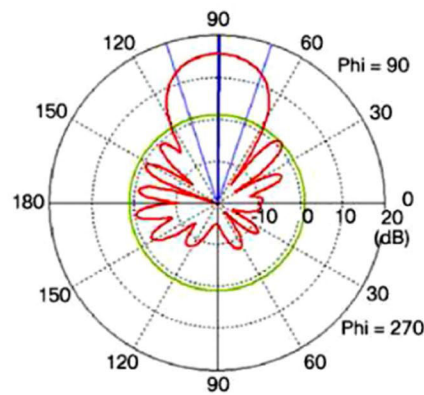
(a) Yagi Antenna Model



(b) Yagi Antenna 3D Radiation Pattern



(c) Yagi Antenna Azimuth Plane Pattern



(d) Yagi Antenna Elevation Plane Pattern

ANTENNAS

Antenas en PCB

2.4GHz/5GHz WIFI antenna

J3509D

Application Features:

1. Dual Band 2.4Ghz/5Ghz flex PCB antenna
2. Standalone Monopole Antenna without Ground Plane requirement
3. Adhesive Mount
4. Light Weighted Design
5. Omni-directional Radiation Pattern
6. High Efficiency

Electrical Specification

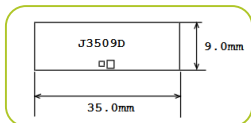
Frequency:	2.4 – 2.483 Ghz/4.8Ghz – 5.9Ghz
Nominal Impedance:	50 Ohms
Gain(typical):	1.0dBi @ 2.4GHz, 1.5dBi@5GHz
WSWR:	<1.5:1
Max Power:	40dBm
Polarization:	Horizontal
Directivity:	Omni-directional



2.4GHz/5GHz WIFI antenna

J3509D

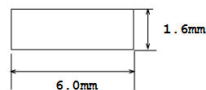
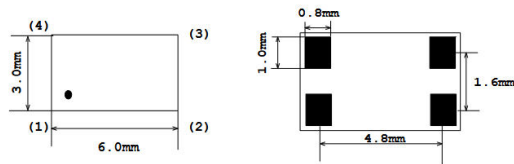
Mechanical Dimensions



2.4GHz/5GHz PCB antenna

J0605

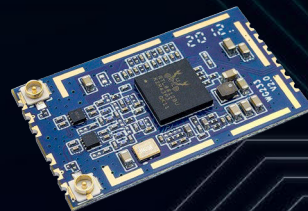
Mechanical Dimensions



PCB land pattern

Pin 1: N.C.
Pin 2: FEED
Pin 3: GND
Pin 4: N.C.

Layout Consideration:



Directional WiFi/WiMax Antenna WDB-2.3G-110



This WiFi/WiMax base station antennas is designed with stainless steel for maximum durability in outdoor environments.

It is a high gain, high sensitivity antenna with 90° Horizontal Beamwidth.

Specification

Frequency:	2300 – 2500
Nominal Impedance:	Bandwidth: 200 MHz
Gain:	50 Ohm
SWR:	11dBi
Horizontal Beamwidth (3dB):	< 1.5:1
Vertical Beamwidth (3dB):	54 degree
Polarization:	40 degree
F/B ratio:	Vertical
Max. Power:	> 15
Connector:	50 W
Lighting Protection:	N-female
	DC Ground

5GHz 12dBi Omni WiFi Antenna WDB-5.4G-120



The 5GHz 12dBi Omni WiFi antennas designed with durable UV and chemical resistant polymer and stainless steel for maximum durability in outdoor environments.

Specification

Frequency:	5470 – 5850 Mhz
Nominal Impedance:	50 Ohm
Gain:	12dBi
SWR:	< 2:1
Horizontal Beamwidth:	360 degree
Vertical Beamwidth:	7 degree
Polarization:	Vertical
Max. Power:	100 W

Mechanical Parameters

2.4GHz Dual-Polarized Panel Antenna WFB-2.4G-140



The 2.4GHz Dual-Polarized Panel Antenna antenna designed with durable UV and chemical resistant fiberglass for maximum durability in outdoor environments.

Specification

Frequency:	2400 – 2483 Mhz
Nominal Impedance:	50 Ohms
Type:	1/4 Wave
Gain:	14dBi
WSWR:	< 1.5:1
Horizontal Beamwidth:	30 degree
Vertical Beamwidth:	30 degree
Polarization:	Vertical/Horizontal

5 GHz Wlan Grid Parabolic Antenna WDB-5.4G-240 WDB-5.7G-240



This antenna is a high gain, high power and long distance and large F/B Ratio antenna. It is constructed with die-cast aluminium alloy for tough environment.

Specification

Frequency:	5470 – 5725/5725-5850 Mhz
Nominal Impedance:	50 Ohms
Gain:	24dBi
WSWR:	< 1.5:1
Horizontal Beamwidth:	12 degree
Vertical Beamwidth:	19 degree
F/B ratio:	> 20
Max Power:	100Watts
Polarization:	Vertical/Horizontal

DATA SHEET

ARUBA INDOOR/OUTDOOR MIMO ANTENNA

JW012A

AP-ANT-25A is a dual polarized antenna with nominal 90° H x 90° V beamwidths. This antenna is well suited for 2.4 and 5 GHz sector coverage for access.

FREQUENCY/MINIMUM GAIN

- 4.9-6.0 GHz/5 dBi
- 2.4-2.5 GHz/5 dBi

DIMENSIONS

- 200 mm x 200 mm x 32 mm (7.9" x 7.9" x 1.25")



VSWR

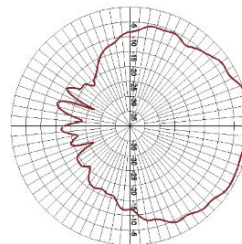
- 2:1 max

INSTALLATION HARDWARE

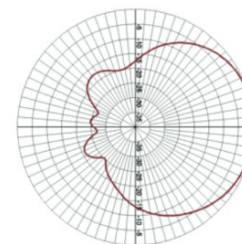
- Ships with 4 anchors

ANTENNA PATTERN PLOTS

Vertical patterns

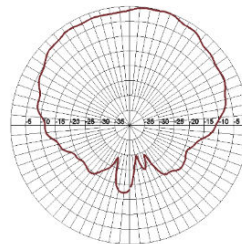


5 GHz

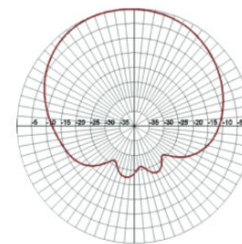


2.4 GHz

Horizontal patterns



5 GHz



2.4 GHz

ANTENAS

Especificaciones

DATA SHEET

ARUBA INDOOR/OUTDOOR MIMO ANTENNA

JW013A

AP-ANT-28 is a dual-polarized antenna with 60° H x 60° V beamwidths. This antenna is well suited for 2.4-GHz and 5-GHz sector coverage for Wi-Fi access.

FREQUENCY RANGE/PEAK GAIN

- 4.9-6.0 GHz/7.5 dBi
- 2.4-2.5 GHz/7.5 dBi

DIMENSIONS

- 197.5 mm x 197.5 mm x 34.5 mm (7.5" x 7.5" x 1.2")



VSWR

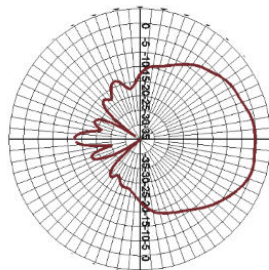
- 2:1 max

INSTALLATION HARDWARE

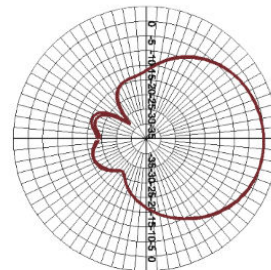
- Screws with wall anchors

ANTENNA PATTERN PLOTS

Vertical patterns

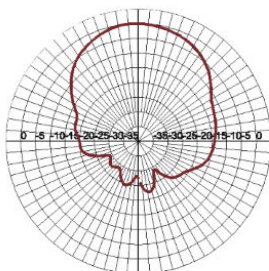


5 GHz

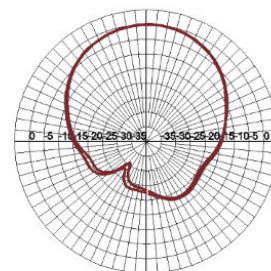


2.4 GHz

Horizontal patterns



5 GHz



2.4 GHz

enterprisec.com

ANTENAS

Especificaciones

AT-0505-DP01:

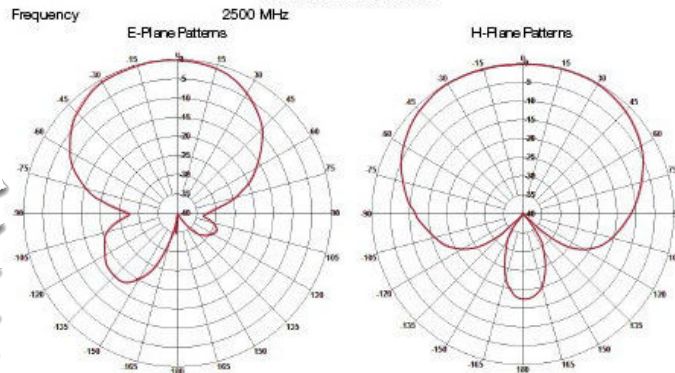


Indoor Antenna, panel, dual-band 2.4/5GHz, 5dBi, 2x2, dual-polarity RP-SMA (for 7372-E)

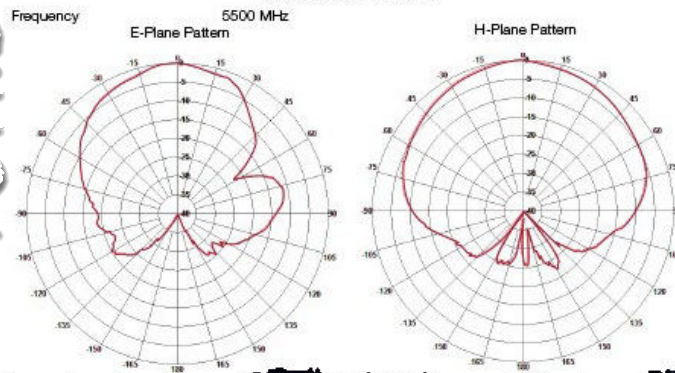
AT-0505-DP01 Specifications

Application	Mesh/Client Access
Polarization	Vertical & Horizontal
Antenna Gain	5dBi
Wi-Fi Band	2.4 GHz / 5 GHz
3dB Beamwidth H/V	120/60 degrees
Connector(s)	RP-SMA Male

Radiations Patterns



Radiations Patterns



INTRODUCCIÓN A BDA, DAS & DRS

OPCIONES PARA DESPLIEGUES IN-BUILDING

DAS, DRS & Small Cells

- ◆ Actualmente alrededor del 70%-80% del tráfico de las redes móviles se genera dentro de algún tipo de edificación.
- ◆ Al estar las macroceldas fuera (y normalmente distantes) de esas edificaciones, la atenuación por obstrucción se vuelve un problema grave.
- ◆ Las tres principales formas de resolver este problema son:
 - Distributed antenna systems (DAS)
 - Distributed radio systems (DRS)
 - Small cells

OPCIONES PARA DESPLIEGUES IN-BUILDING

DAS, DRS & Small Cells

- ◆ La elección de cada una depende de las características particulares de cada caso (no hay “una solución para todo escenario”).
- ◆ El mercado de estas tecnologías está en creciente ascenso:
 - Duplicó el volumen de 2014 a 2019.
 - La capacidad de un operador para entregar una adecuada cobertura indoor, se vuelve un factor determinante en la elección o cambio de operadores por parte de las grandes empresas.

OPCIONES PARA DESPLIEGUES IN-BUILDING

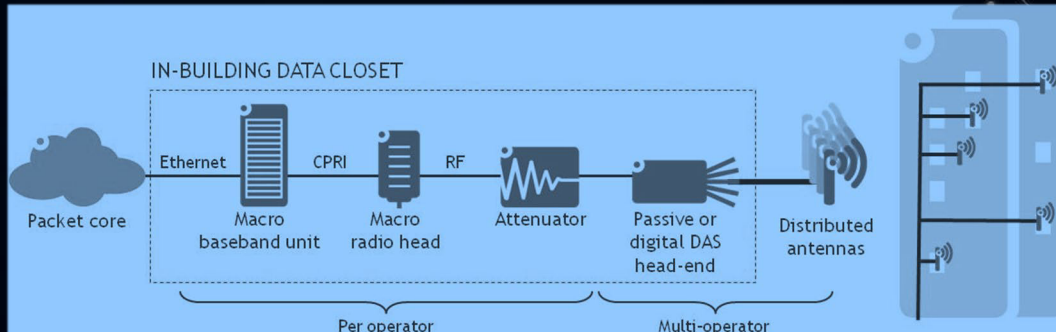
DAS, DRS & Small Cells

- ◆ La estructura básica para cada una es la misma:
 - Unidad de banda base
 - Unidad de radio
 - Antenas
- ◆ Estos bloques pueden estar centralizados, distribuidos o integrados dentro de los módulos.
- ◆ En definitiva, se trata de replicar la estructura de una red outdoor en un entorno indoor.

OPCIONES PARA DESPLIEGUES IN-BUILDING

Distributed Antenna Systems

- Estructura:
 - Banda base **centralizada**.
 - Radio **centralizado**.
 - Antenas **distribuidas** (RAUs: remote antenna units).
- La distribución dentro de la edificación se realiza mediante **cableado dedicado** que transporta RF en las bandas de emisión.

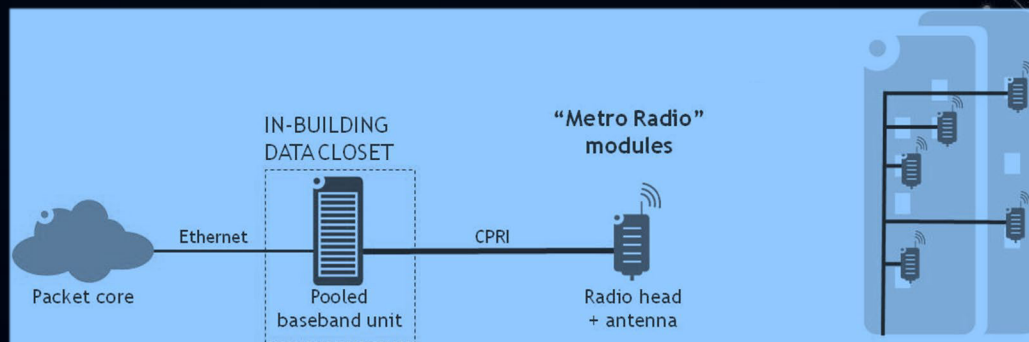


DAS

OPCIONES PARA DESPLIEGUES IN-BUILDING

Distributed Radio Systems

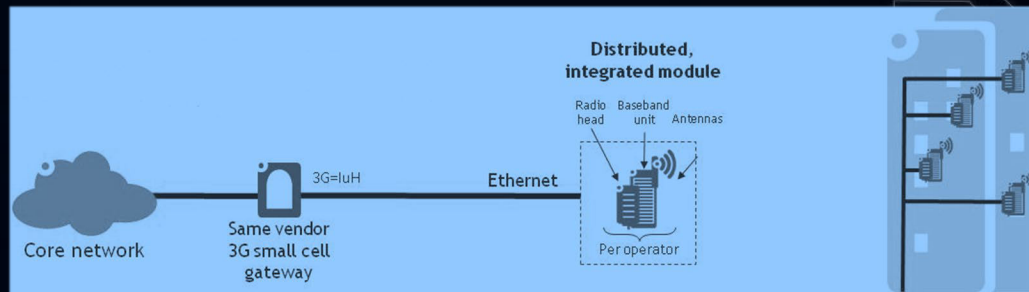
- Estructura:
 - Banda base **centralizada**.
 - Radio y antenas **integradas** en un módulo.
- La distribución dentro de la edificación se realiza usando **cableado dedicado** mediante CPRI (Common Public Radio Interface).



OPCIONES PARA DESPLIEGUES IN-BUILDING

Small Cells

- Estructura:
 - Banda base, radio y antenas **integradas** en un módulo.
- La distribución dentro de la edificación se realiza usando **cableado compartido** con una red Ethernet (UTP/Fibra).



SMALL
CELLS



Ventajas

- Es la **solución más utilizada**, dado que:
 - Soporta las **principales tecnologías** celulares.
 - Soporta la mayoría de las **bandas de frecuencias**.
 - Es neutral frente a la red: Puede soportar **múltiples operadores en un mismo sistema**.
- El **costo de los elementos distribuidos (antenas)** es bajo.
- No es imprescindible tener la banda base en sitio, la señal puede tomarse mediante una antena donora y un BDA.



Desventajas

- El principal inconveniente es el cableado:
 - Costoso
 - Dedicado
 - Instalación compleja
- Escalar resulta más complejo que en Small Cells.
- No es necesariamente tecnológicamente “a prueba del futuro” (Ej: Si más adelante se usa una banda más alta puede que sea necesario reemplazar todo el cableado).

DISTRIBUTED RADIO SYSTEMS



Ventajas

- Es una topología relativamente nueva, "a prueba de futuro".
- Es apropiada para edificaciones complejas con alta necesidad de tráfico, como estadios, estaciones de trenes, etc...
- El cableado (fibra), resulta más económico y de instalación más sencilla que en DAS.



Desventajas

- Al igual que en DAS, el cableado es dedicado.
- No es neutral frente al operador: se requiere una distribución distinta por cada uno.

SMALL CELLS

SMALL CELLS

Características

- ◆ Son nodos de acceso de **baja** potencia, con cobertura desde alrededor de 10 metros hasta unos pocos kilómetros.
- ◆ Al tener menos cobertura, permiten un **mejor uso** del espectro radioeléctrico.
- ◆ Pueden operar en bandas licenciadas como no licenciadas.
- ◆ Pueden soportar un gran número de interfaces (GSM, LTE, WiMax, WiFi).
- ◆ Actualmente, son un elemento fundamental de las redes 4G y 5G.
- ◆ Suelen incluir funcionalidades de Auto **Administración** y Auto **Organización**.



SMALL CELLS

Variantes y desventajas

- ◆ El término en sí surge en contraposición a las Macro Celdas, y es un **genérico** que comprende:
 - FemtoCells (las más desplegadas)
 - PicoCells
 - MicroCells
- ◆ Manejan menos **tráfico** que las Macro.
- ◆ Requieren un backhaul con mucha más **capilaridad** que las Macro.



SMALL CELLS

Variantes comparadas

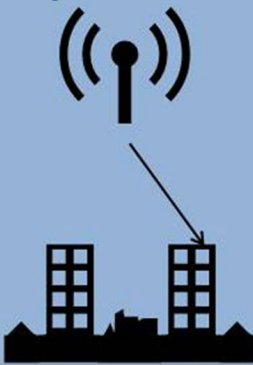
FemtoCells

Son las más usadas, y manejan unos pocos usuarios en un área reducida.



PicoCells

Pueden soportar hasta 100 usuarios simultáneos, típicamente en escenarios indoor de tamaño mediano/grande.

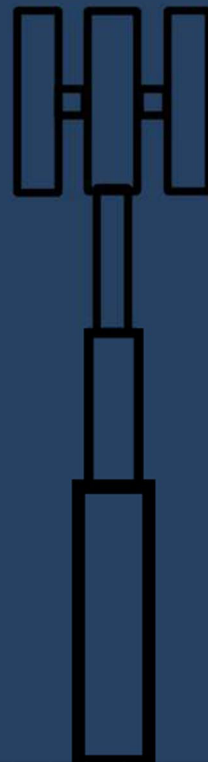


MicroCells

Muy similares a las Pico, con más cobertura y capacidad. Suelen usarse para ampliar temporalmente la capacidad de una red (Ej.: Eventos masivos).



MacroCells





Ventajas

- Alta capacidad con bajo CAPEX & OPEX.
- Escalan con facilidad.
- En un mismo módulo, pueden coexistir tecnologías celulares con WiFi.
- No requiere cableado dedicado.



Desventajas

- No es neutral frente al operador: se requiere una distribución distinta por cada uno.
- Requiere una planificación compleja, equivalente a las de las Macroceldas.

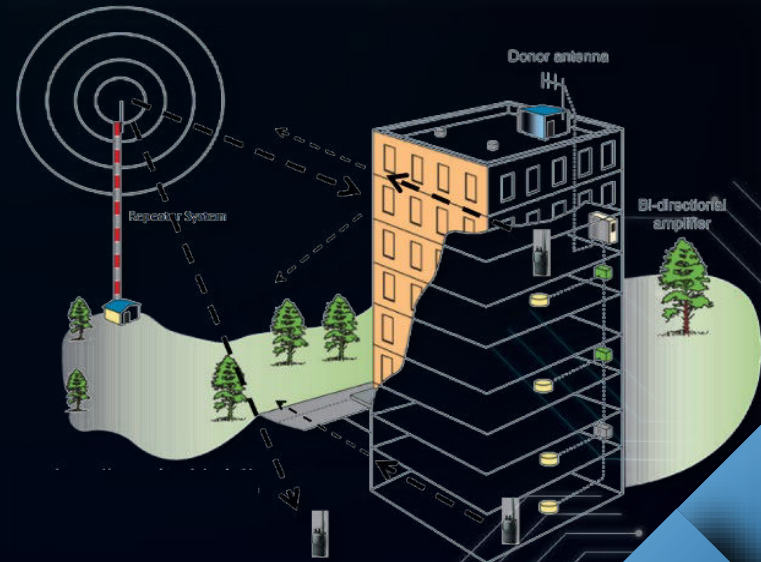
BDA

**BI-DIRECTIONAL
AMPLIFIER**

BDA - BI-DIRECTIONAL AMPLIFIER

Características

- ◆ Los BDA son, básicamente, dos amplificadores de RF que toman una señal débil y la amplifican para emitirlas nuevamente con mayor potencia.
- ◆ Son dos, ya que uno va en la bajada y otro en la subida de la señal.
- ◆ Es la forma más sencilla de retransmitir una señal.



BDA - BI-DIRECTIONAL AMPLIFIER

Características

- Pueden usarse tanto en exteriores como en interiores, pero principalmente se usan para mejorar la cobertura indoor.
- Un sistema con BDA está compuesto por:
 - Una antena donora.
 - Amplificador de señal (el BDA en sí).
 - Una antena de retransmisión o un sistema DAS.

BDA - BI-DIRECTIONAL AMPLIFIER

Antena donora

- Es una antena que toma (Rx) y envía (Tx) la señal de la red móvil.
- Si se quiere extender la cobertura de distintos operadores, será del tipo **omnidireccional** para tomar la señal de las distintas redes.
- Si se quiere extender la cobertura de un operador en particular, será del tipo **direccional** (Ej. Tipo Yagi). En este caso la ganancia, y por lo tanto la SNR, es **mejor**.

Se instala generalmente sobre los laterales o terraza. En el caso de las direccionales, apuntando a la torre desde la que se toma la señal.



ANTENA
YAGI

BDA - BI-DIRECTIONAL AMPLIFIER

Amplificador de señal

- Son amplificadores de banda con niveles de ganancia de entre 20 dB a 50 dB, incluso más en equipos más caros.
- Amplifican todo... incluso el **piso de ruido**.
- Cuanto más ganancia tenga la antena, menos necesidad de usar altos niveles de ganancia en la amplificación.
- Al amplificar señales de bandas licenciadas, “en teoría” **solo los operadores** pueden utilizarlos.



EJEMPLOS DE
BDA

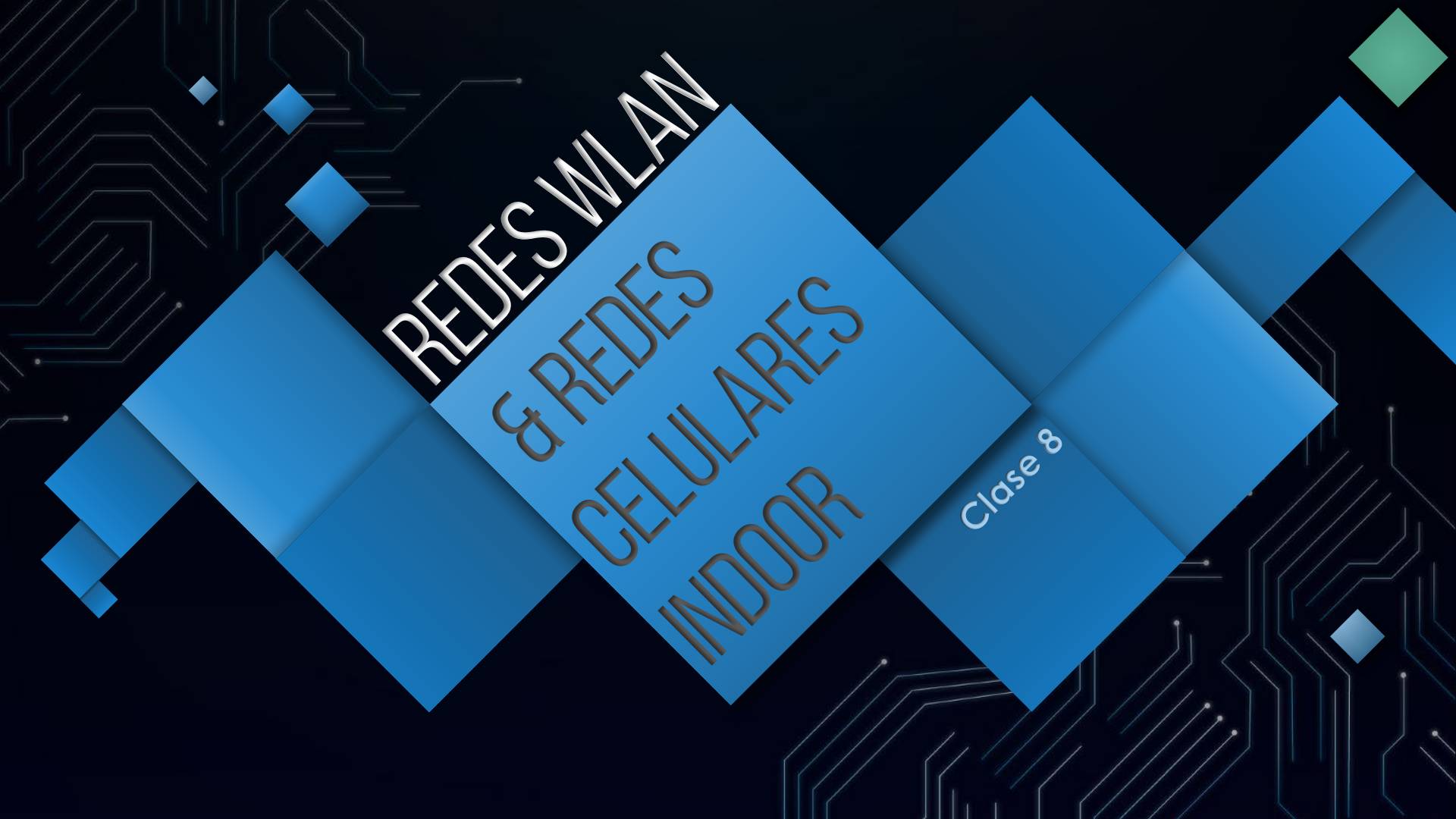
BDA - BI-DIRECTIONAL AMPLIFIER

Antena de retransmisión

- Es la antena que se encarga de enviar la señal **amplificada** por el BDA hacia los móviles y de tomar la señal emitida por estos para enviarla a la entrada del BDA.
- Puede ser una **única** antena o un sistema de antenas distribuidas (DAS).



ANTENAS
OMNI



REDES WLAN
& REDES
CELULARES
INDOOR

Clase 8

DISEÑO DE REDES INDOOR



RELEVAMIENTO & DISEÑO

DISEÑO PARA COBERTURA

- ◆ Inicialmente el diseño de las redes WiFi se hacía buscando la mayor cobertura posible.
- ◆ El objetivo es usar la menor cantidad posible de APs para cubrir una zona con un nivel x (ej: -65 dBm)
- ◆ Al masificarse el uso de WiFi, la cobertura resulta secundaria respecto al tráfico y cantidad de clientes.

- ◆ La capacidad es "Asegurar tener una cierta cantidad de radios (ej. APs) pueden dar servicio a un determinada cantidad de usuarios dándole un uso determinado a su conectividad".
- ◆ En la práctica es imposible realizar un diseño 100% preciso, dado que requeriría conocer con absoluta precisión la cantidad de usuarios y sus demandas en todo momento.
- ◆ Se requiere "realismo" en los datos especificados en el requerimiento, ya que, por exceso o por defecto, la capacidad requerida impacta notablemente en el costo y la eficacia de la solución.
 - **Menos** equipos que los necesarios → Cobertura **Pobre** → Servicio **Pobre**
 - **Más** equipos que los necesarios → Más uso del espectro → Servicio **Pobre**

- ◆ Si dos APs están en el mismo canal se comportan uno solo.
- ◆ Si un AP escucha al otro hablando ("*media not clear*"), no habla.
- ◆ Si bien esto mejora con el coloreo de BSS en 802.11ax, todos los APs y estaciones tendrían que soportar este estándar para sacarle provecho.
- ◆ En un modelo x densidad/capacidad, conviene que las paredes atenúen mucho la señal, para evitar la propagación indeseada a otras zonas.

DISEÑO PARA CAPACIDAD

Estimación de consumo de recursos

- Valores típicos por aplicación.

Tipo de Aplicación	Throughput
VoIP	.5 Mbps
Streaming de música	.5 Mbps
Navegación Web	1 Mbps
Impresión	1 Mbps
File Sharing	1-8 Mbps
Videollamadas	2-4 Mbps
Video Streaming HD	3-5 Mbps
Video Streaming 4K	25 Mbps

APLICACIÓN
Vs. Mbps

DISEÑO PARA CAPACIDAD

281

Tips

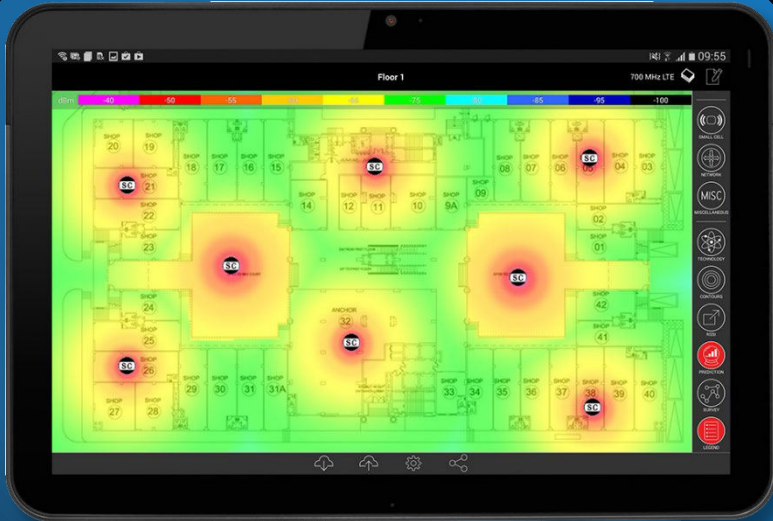
- ◆ Montar los APs sobre columnas o vigas.
- ◆ En un Auditorio
 - Poner los APs detrás de las paredes para que se estas atenúen al otro AP en el mismo canal.
 - Ponerlos a la altura de la gente (bajos) para que la propia gente atenúe la señal entre un AP y otro.
 - Usar antenas direccionales sobre el techo para acentuar el corte de cobertura de cada AP.

RELEVAMIENTO DE SITIO

- ◆ Se realiza en sitio con instrumentos de medición.
- ◆ Se suele tomar -65 dBm como nivel aceptable de señal.
- ◆ Tratar de ubicar los APs para el relevamiento en el lugar que se pretende instalar (con trípode o similar).
- ◆ Puede ser:
 - Pasivo: El cliente solo escucha el beacon.
 - Activo: Hay transferencia de datos entre AP y STA.
- ◆ Walk test: Recorrer el sitio haciendo “pinpoint”.
- ◆ Medir overlap: 10dB mínimo (para roaming).

MAPA DE CALOR

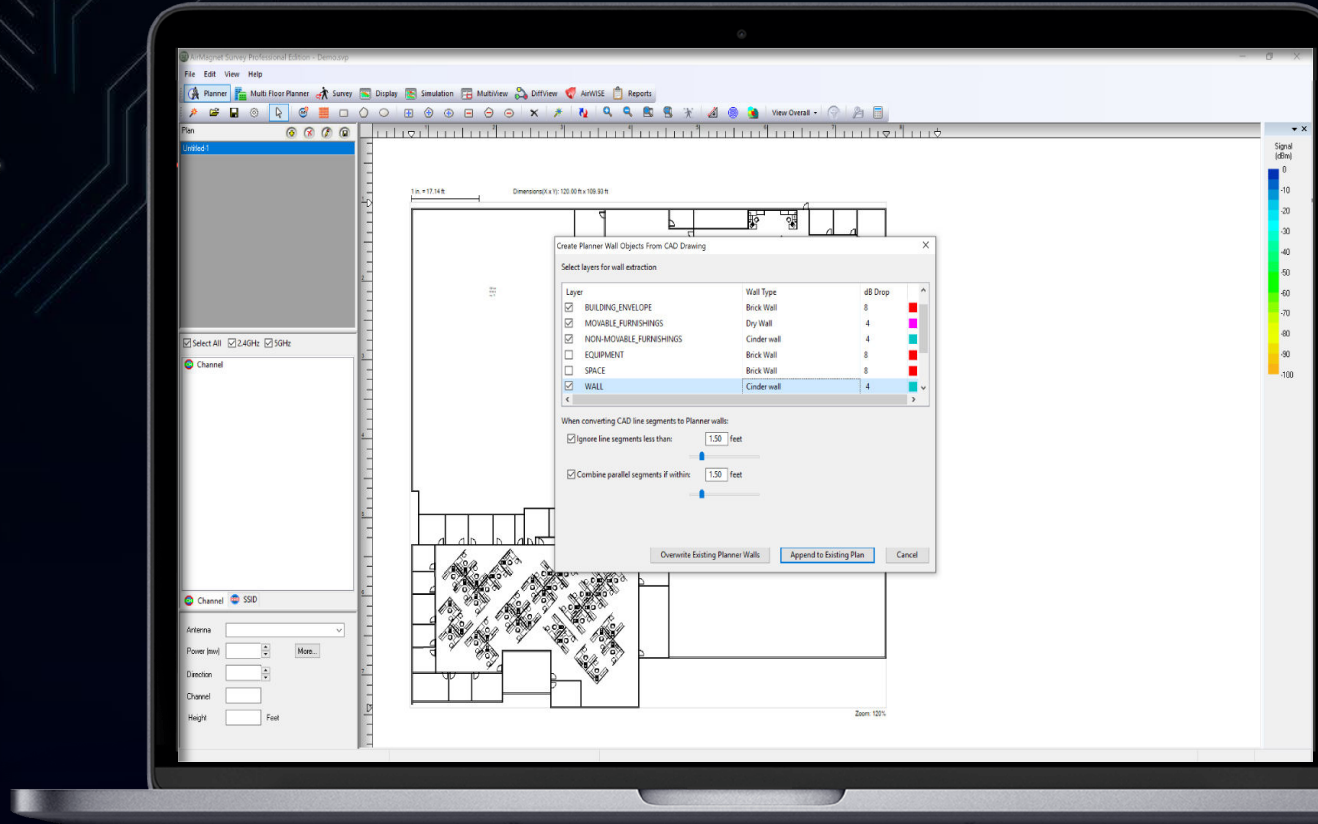
On-Site



- ◆ Se realiza sobre la información del sitio, sin que sea imprescindible realizar un relevamiento.
- ◆ Se necesita mucha información por parte del cliente (planos, paredes, etc...)
- ◆ Si los datos no son confiables...el diseño no es preciso.
- ◆ Resulta cómodo para hacerlo a distancia, pero puede que solo con una medición manual se sepa la atenuación real de una pared.
- ◆ Habitualmente un relevamiento de sitio es también necesario para la instalación mecánica.
- ◆ Es la mejor (y única...) opción en el caso de edificios en construcción.

DISEÑO PREDICTIVO

Estimando atenuaciones



DISEÑO PREDICTIVO

Estimando cobertura

286

iBwave COMPONENTS DB

IBWAVE.COM BLOG CONTACT US SIGN IN

Latest Additions

The **Largest Components Database** in the industry with over **37,600** precisely modeled components for your in-building wireless and fiber network design and deployment projects.

LOGIN

Email

Password

REGISTER SIGN IN

Remember me

[Forgot password?](#)

[Why do I need to register?](#)

Accurate components yield better results. Every time.

As an iBwave customer, you benefit from the industry's most comprehensive database of network parts and components for in-building wireless design and fiber deployments. RF designers can quickly access the latest component for all technologies and create the most accurate designs. [Have you registered yet?](#)



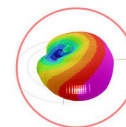
AN INVALUABLE RESOURCE IN YOUR RF DESIGN TOOLKIT



Save time by using pre-modeled components.



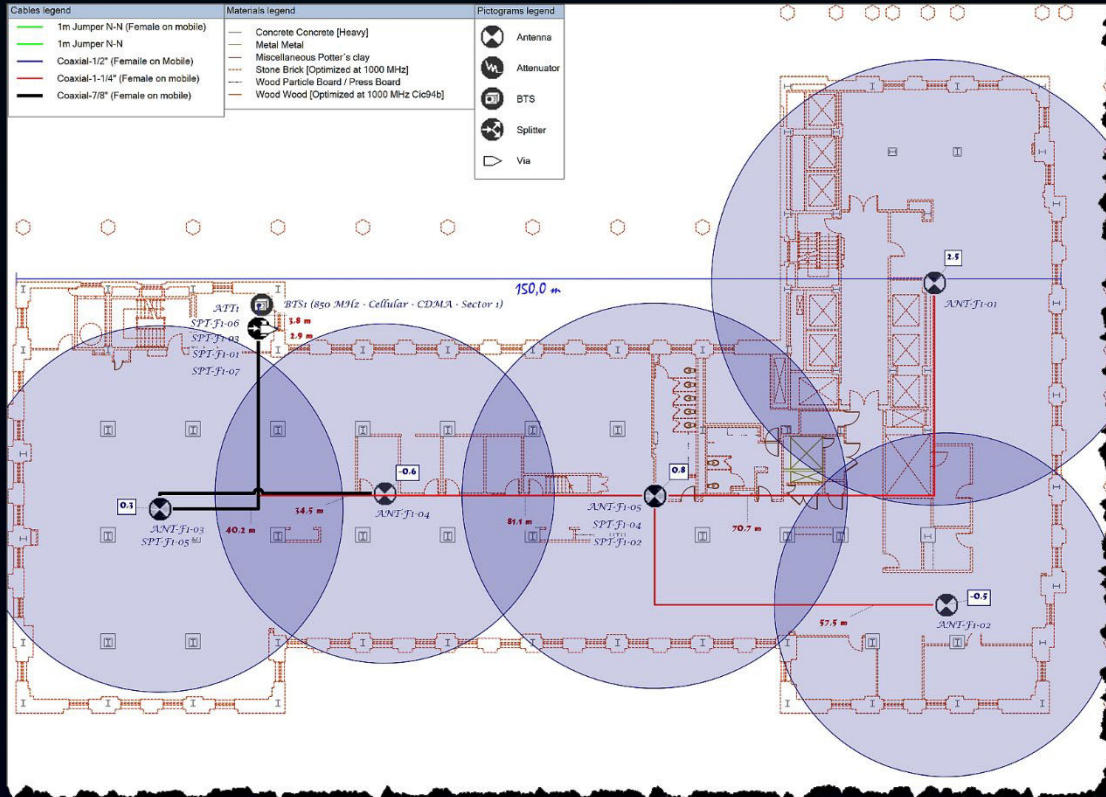
Achieve ultimate accuracy in your designs.



View modeled antenna patterns in detailed 3D.

DISEÑO PREDICTIVO

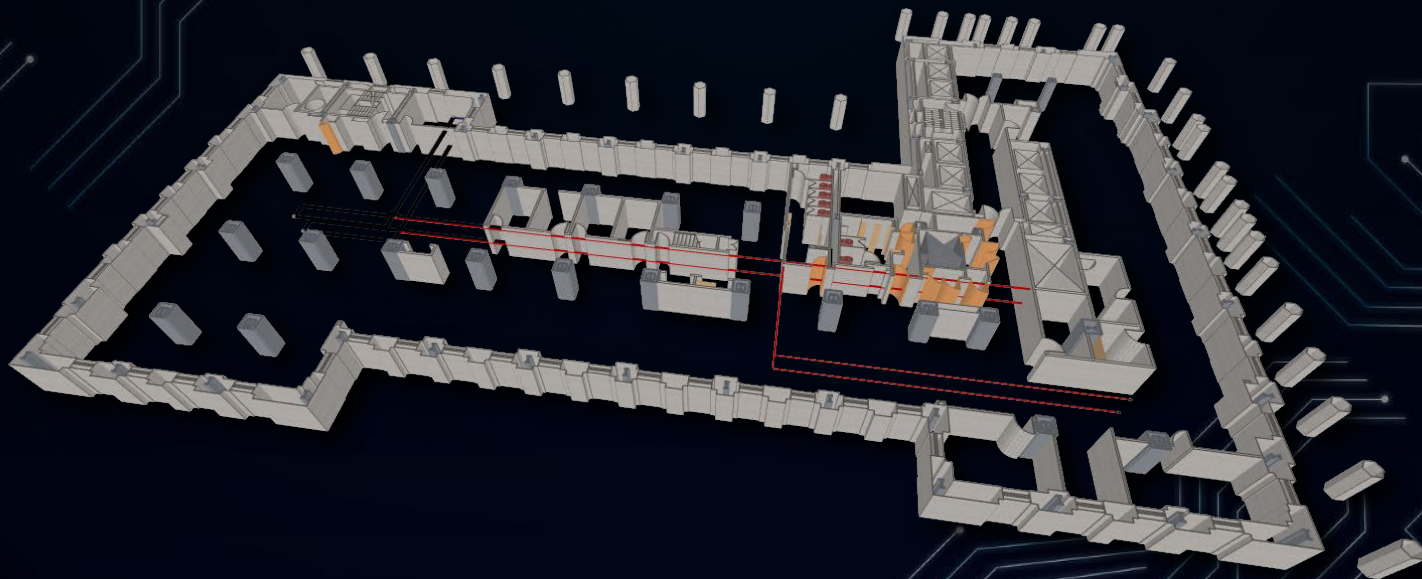
DAS Plano de planta



DISEÑO PREDICTIVO

DAS – Vista 3D del cableado

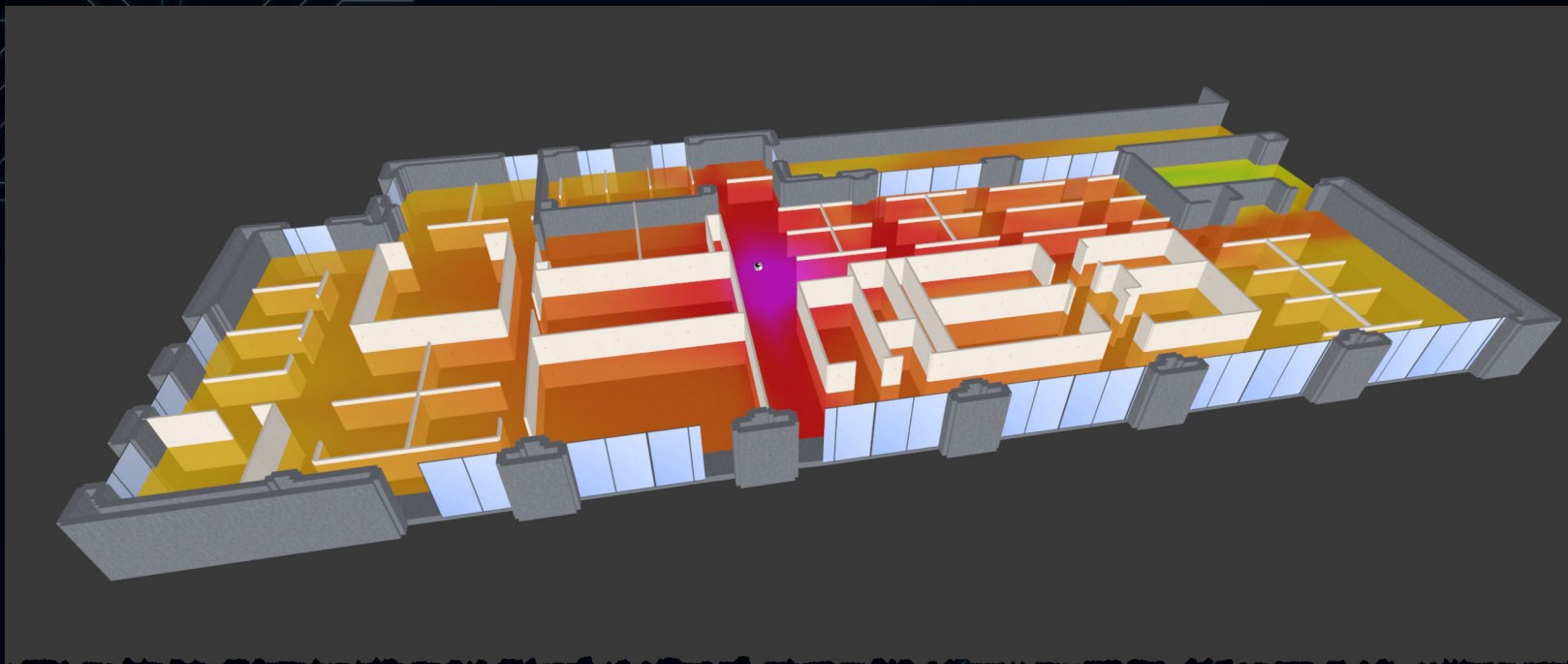
288



DISEÑO PREDICTIVO

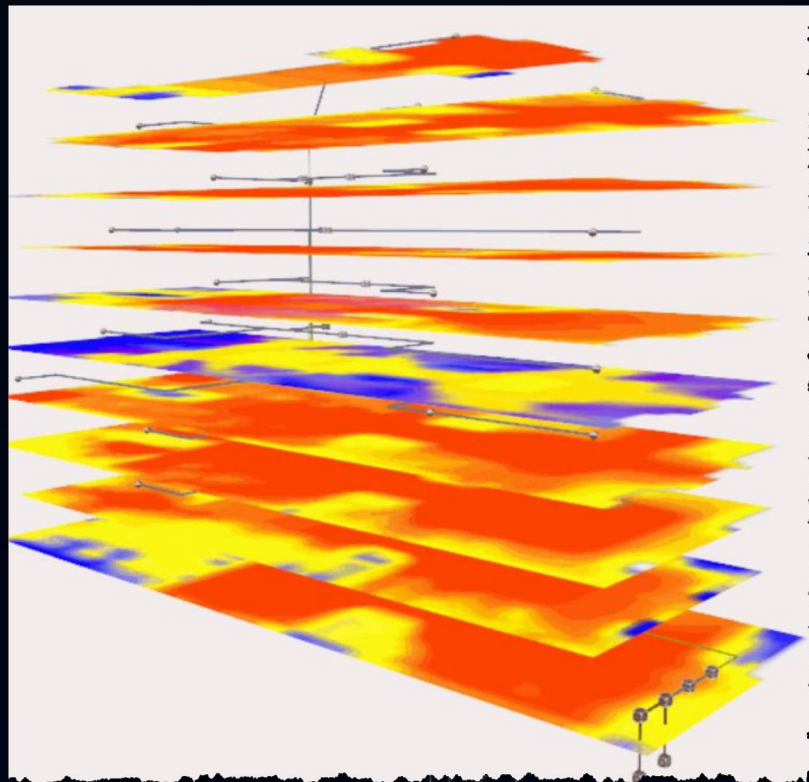
DAS – Vista 3D de la cobertura

289



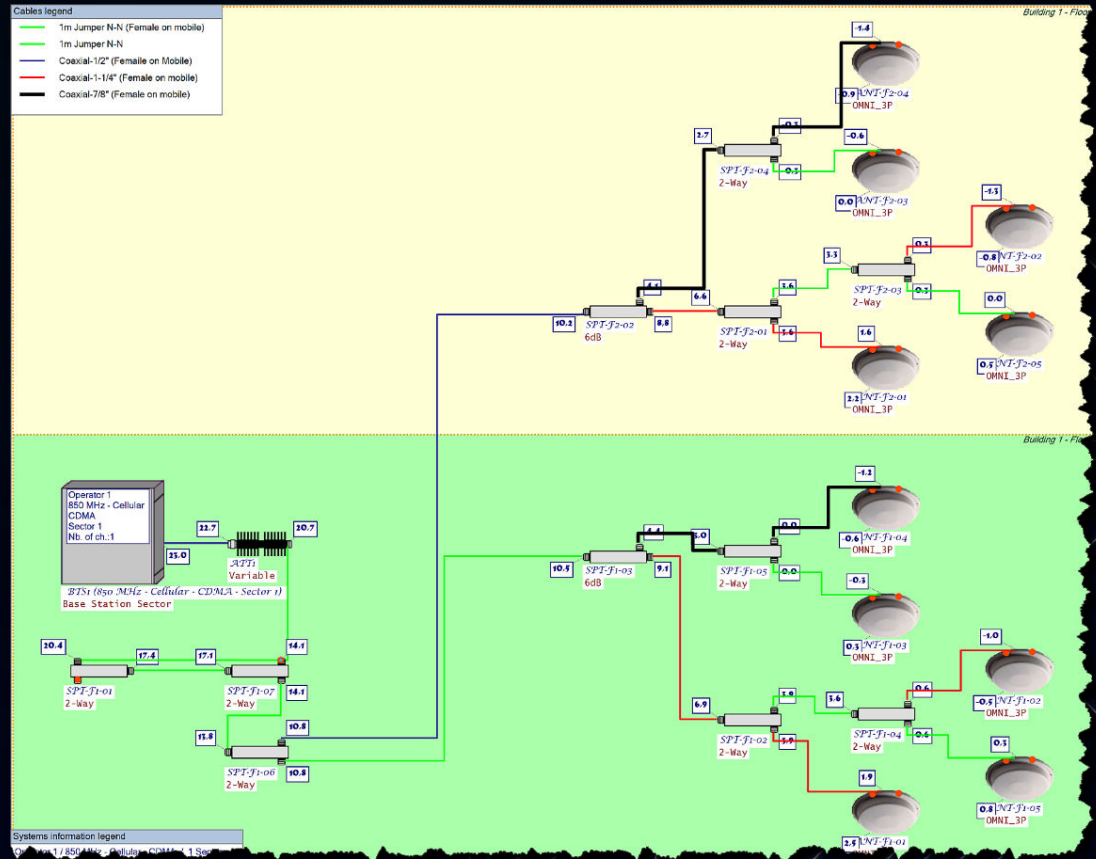
DISEÑO PREDICTIVO

DAS – Vista 3D de la cobertura



DISEÑO PREDICTIVO

DAS – Estructura del sistema



DISEÑO PREDICTIVO

DAS - Reporte de
Equipos

Equipment List Report

Floor : B1 - BTS room

Type	Manufacturer	Model	Description	Inventory#	Qty
Cable	Andrew	F4-PNMM-1M	Jumper Cable - 1m - FSJ4-50B N-Male / N	N/A	5
Cable	Corning	012EB4-T3201C20	SST-Optimizer Cables	N/A	189,71 m
Cable	Andrew	F1-PSMM-1M	Jumper Cable - 1m - SMA-Male / N Male	N/A	3
Cable	Andrew	F1-SMSM-1M	Jumper Cable - 1m - SMA Male / SMA-Male	N/A	8
Cable	Andrew	LDF4RN-50A	50 ohms - 1/2" coaxial cable - foam dielectric	N/A	94,50 m
Connector	Andrew	L4PNM	N for LDF4-50A, Low Density Foam Dielectric Cable	N/A	4
Connector	Amphenol	954-103-5709	SC/APC Simplex connector, singlemode, 125.5µm ferrule	N/A	8
Fiber BDA Hub	Andrew	TFLN 2504/4	[ION-B] - ION BriteCell - 800-2500 MHz - Master Optical TRX - 4 Optical Links -	N/A	1
Filter	Andrew	TDPX-19	[BriteCell Plus] - RF DL-UL Combiner	N/A	1
Filter	Andrew	TDPX-85	[BriteCell Plus] - RF DL-UL Combiner	N/A	1
Filter	Andrew	TDPX-80	[ION-B] - ION BriteCell - LMR800 Duplexer - SMA-Female Connector	N/A	1
Miscellaneous	Andrew	TPRN 24	[ION-B] - ION BriteCell - Universal Mains 85-264 Vac Redundant Power Supply - 12 Slots (1HE x 7TE each)	N/A	1
Radio Transceiver	RadioFrame Networks	S-Series Pico Cellular 1900 MHz	1900 MHz EDGE/GSM/GPRS S-BTS over IP	N/A	1
Splitter	Andrew	TLCN4	[BriteCell Plus] - 4 way RF combiner/splitter	N/A	1
Splitter	Cellular Specialties, Inc	CSI-S2BSC (2 WAY)	2-Way Splitter	CS04-031-084	1
Splitter	Andrew	S-3-CPUS-L-N	Multi-Band, 3-way Low Power Splitter - 800-2500 MHz - N Connectors	N/A	1
Splitter	Andrew	C-10-CPUS-N	Directional Coupler / Unequal Splitter (0.7 dB / 10 dB) - 800-2500 MHz - N Connectors	N/A	2
Splitter	Andrew	C-20-CPUS-N	Directional Coupler / Unequal Splitter (0.2 dB / 20 dB) - 800-2500 MHz - N Connectors	N/A	1

Floor : B1 - Roof

Type	Manufacturer	Model	Description	Inventory#	Qty
------	--------------	-------	-------------	------------	-----

DISEÑO PREDICTIVO

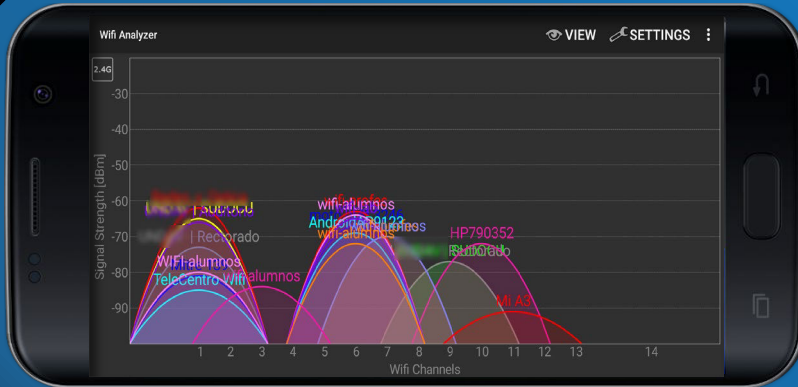
DAS - Reporte de Antenas

Antennas Report										
Antenna ID	System ID	Antenna gain		Antenna ERP report			Azimuth (deg)	Tilt (deg)	Mount Orientation (deg)	Height (m)
		Total (dBd)	loss/gain (dB)	Power / channel (dBm)	Composite power (dBm)	Pilot/CPICH (dBm)				
ANT0	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-14,05	15,83	18,84	5,83	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT1	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-14,82	15,06	18,07	5,06	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT2	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-6,35	23,53	26,54	13,53	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT3	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-21,44	8,44	11,45	-1,56	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT4	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-15,52	14,36	17,37	4,36	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT5	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-16,28	13,60	16,61	3,60	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT6	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-20,05	9,83	12,84	-0,17	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT7	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-20,75	9,13	12,14	-0,87	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT8	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-21,97	7,91	10,92	-2,09	0,00	0,00	0,00	2,50
ANT9	1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector	-0,11	-12,91	16,97	19,98	6,97	0,00	0,00	0,00	2,50

System ID	Antenna ERP Statistics (Power / Channel)					
	Average (dBm)	Std. dev. (dB)	Minimum (dBm)		Maximum (dBm)	
			Antenna ID	ERP	Antenna ID	ERP
1800 MHz - DCS - WCDMA - Sector 1	13,47	4,84	ANT8	7,91	ANT2	23,53

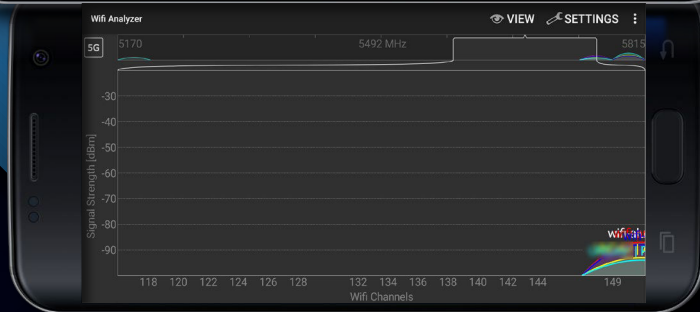
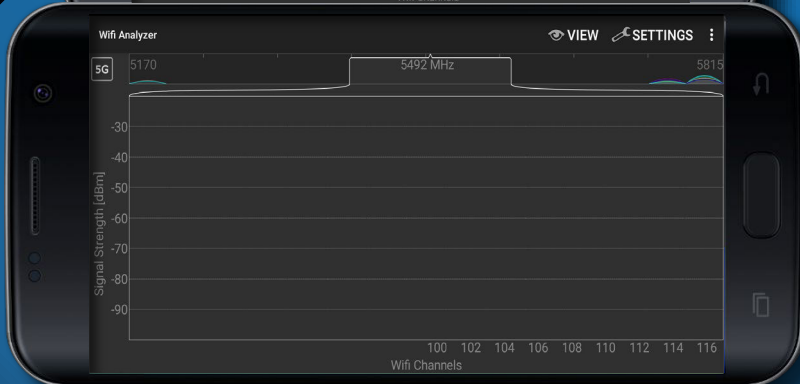
PLANIFICANDO CANALES

Exceso de dispositivos



PLANIFICANDO CANALES

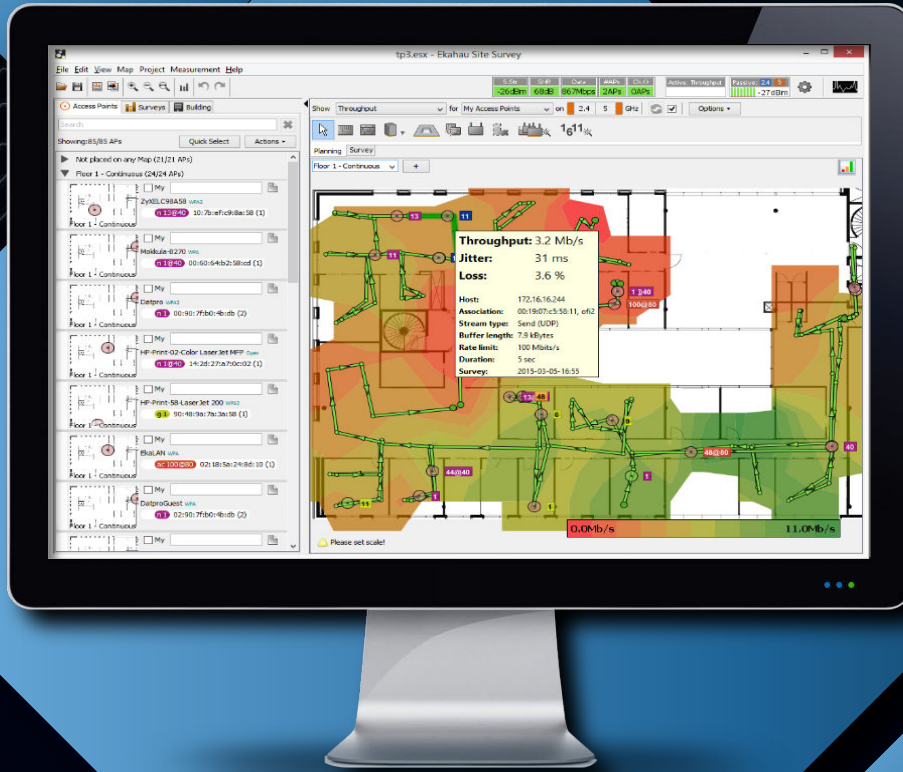
Solapamiento
innecesario



SOFTWARE DE APLICACIÓN

EKAHAU PAGO

Windows



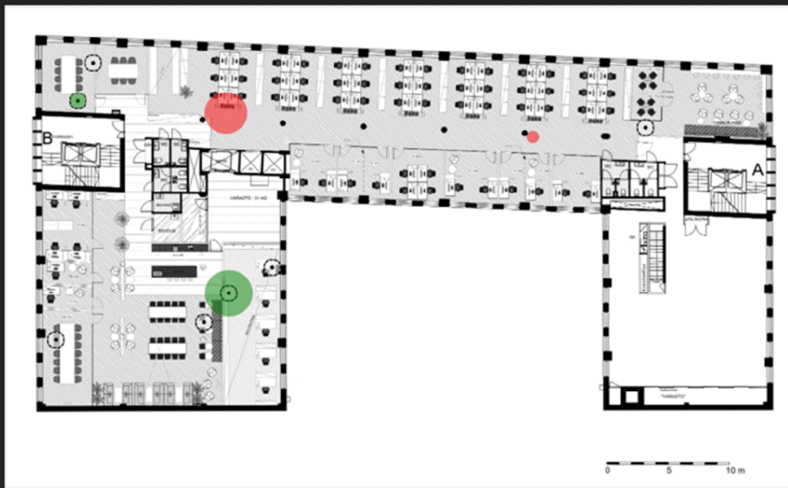
EKAHAU

Autoplanificación

Ekahau AI Pro

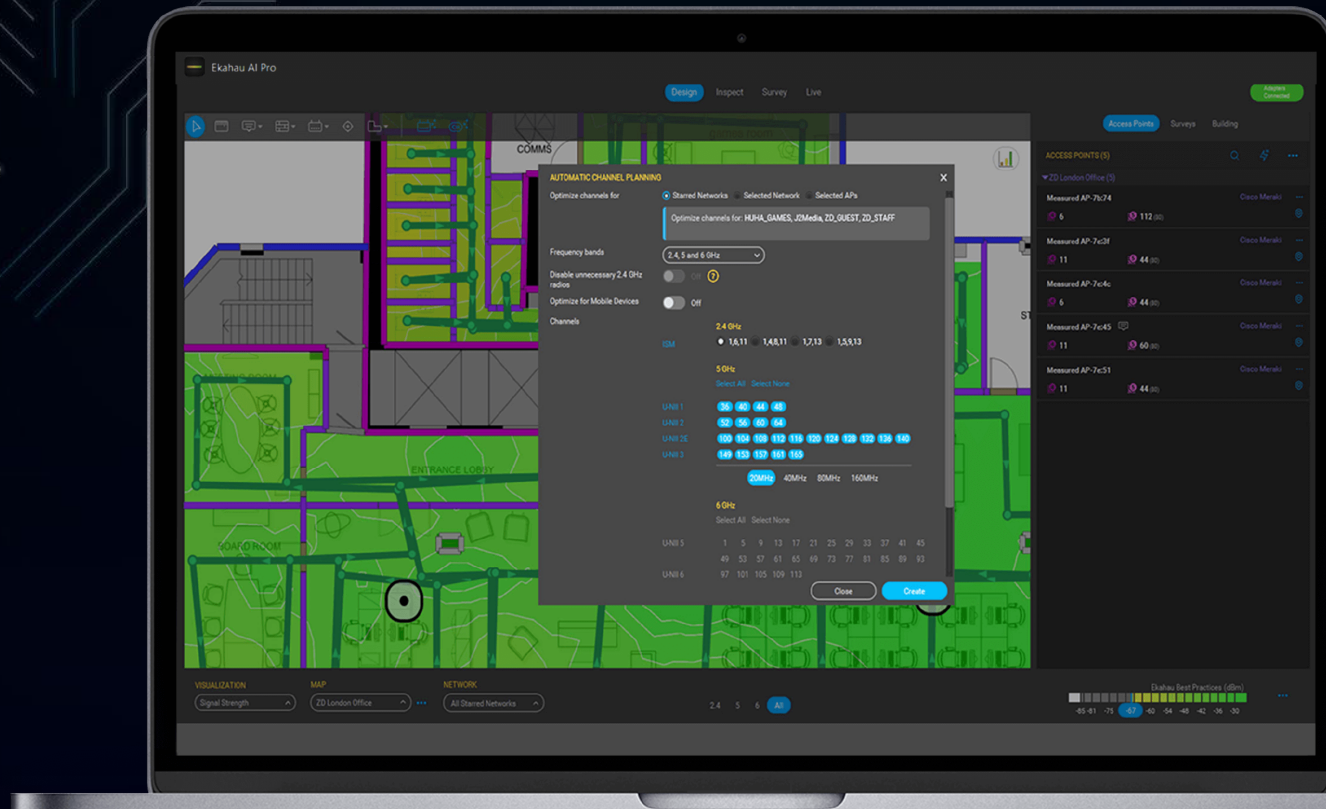
CREATING NEW NETWORK PLAN

FLOOR	ITERATIONS	APs
1 / 1	1029	7



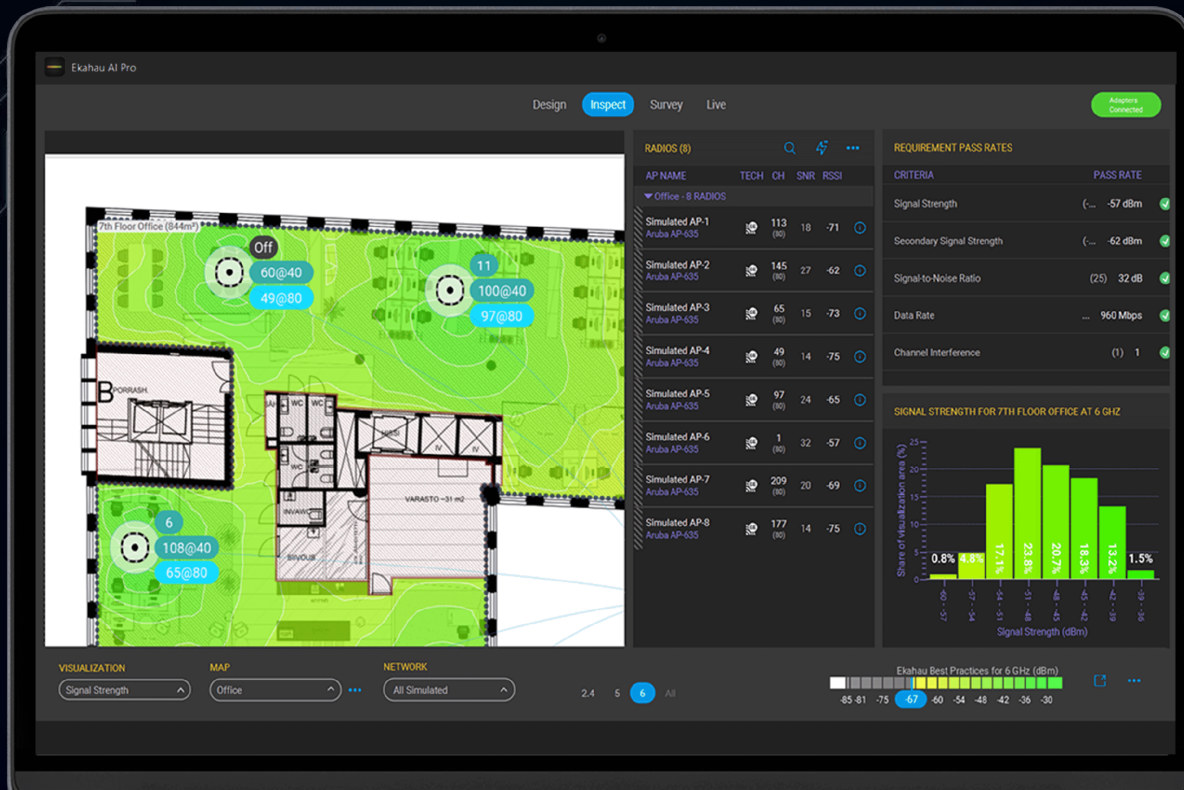
EKAHAU

Planificación de asignación de canales



EKAHAU

Inspección y Mapas de calor



EKAHAU

Calibración automática de paredes

Ekahau AI Pro

File Edit Actions View Map Project Measurement Reporting Help

CALIBRATE WALL ATTENUATION

Wall Calibration is used to estimate the real world attenuation values for simulated walls based on the survey results. In the list below you can compare the old attenuation values to the new calibrated ones and apply the results which you consider relevant. The quality column gives you information on how reliable the results for the particular wall type are found to be.

[Click here to check how to get the best Wall Calibration result!](#)

	FLOORS	MEASURED APs	WALL TYPES	SURVEYS	WALL SEGMENTS
	1	5	7	4	252
WALL TYPE	2.4 GHz	5 GHz	6 GHz	QUALITY	
<input type="radio"/> Door, Interior Office	4.0 dB → 2.5 dB	4.0 dB → 2.0 dB	4.0 dB → 2.0 dB	GOOD	Apply
<input type="radio"/> Door, Steel Fire/Exit	13.0 dB → 0.0 dB	13.0 dB → 0.0 dB	13.0 dB → 0.0 dB	POOR	Apply
<input type="radio"/> Wall, Cinder Block	5.0 dB → 2.0 dB	5.0 dB → 2.0 dB	5.0 dB → 2.0 dB	GOOD	Apply
<input type="radio"/> Wall, Dry	3.0 dB → 4.0 dB	3.0 dB → 3.5 dB	3.0 dB → 3.5 dB	GOOD	Apply
<input type="radio"/> Window, Interior	1.0 dB → 4.5 dB	1.0 dB → 3.0 dB	1.0 dB → 3.0 dB	GOOD	Apply
<input type="radio"/> Window, Thick	3.0 dB → 4.0 dB	3.0 dB → 4.5 dB	3.0 dB → 4.5 dB	GOOD	Apply

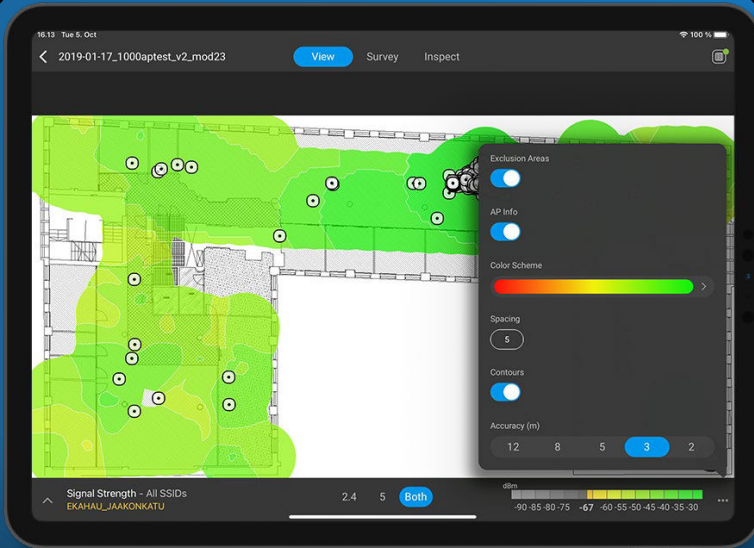
Close Apply All

Ekahau Best Practices (dBm)

85 81 75 69 60 54 48 42 36 30

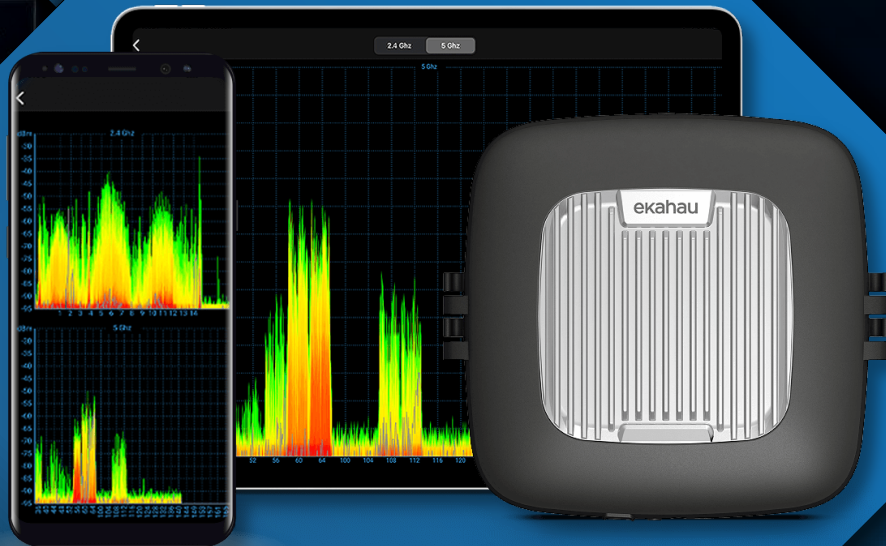
EKAHAU

Relevamiento



EKAHAU

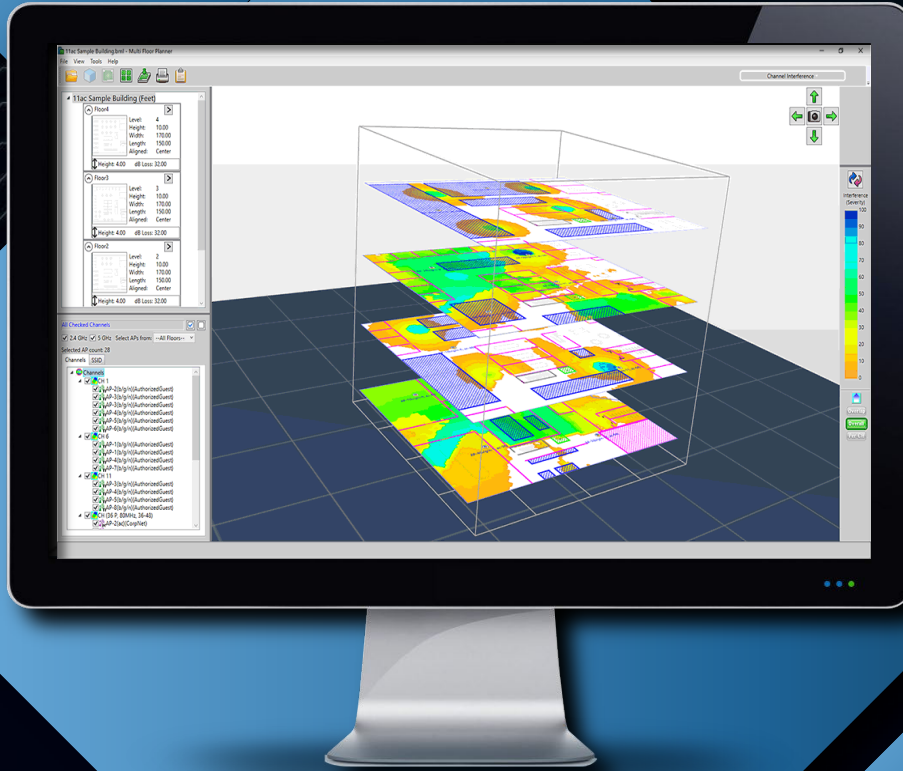
Análisis y medición
de interferencia



AIRMAGNET PLANNER

PAGO

Windows



AIRMAGNET SURVEY

PAGO

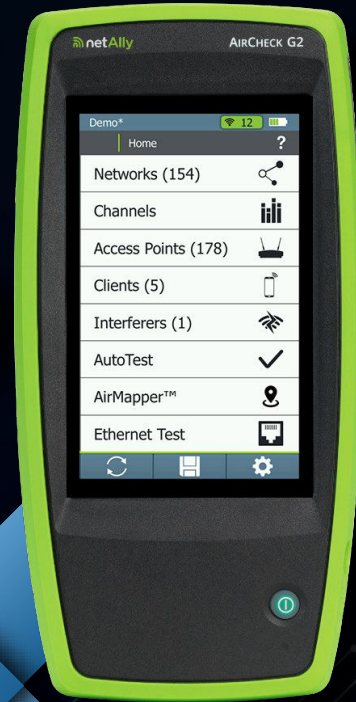
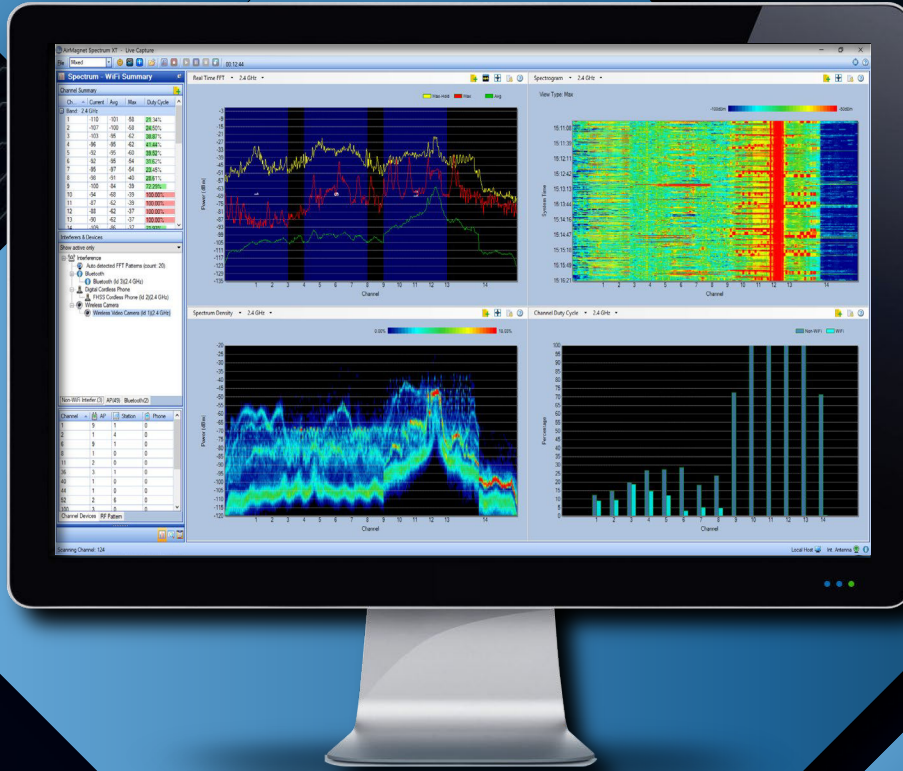
Windows



AIRMAGNET SPECTRUM

PAGO

Windows





ACRYLIC WIFI GRATUITO

Windows

ACRYLIC WIFI TRIAL/PAGO

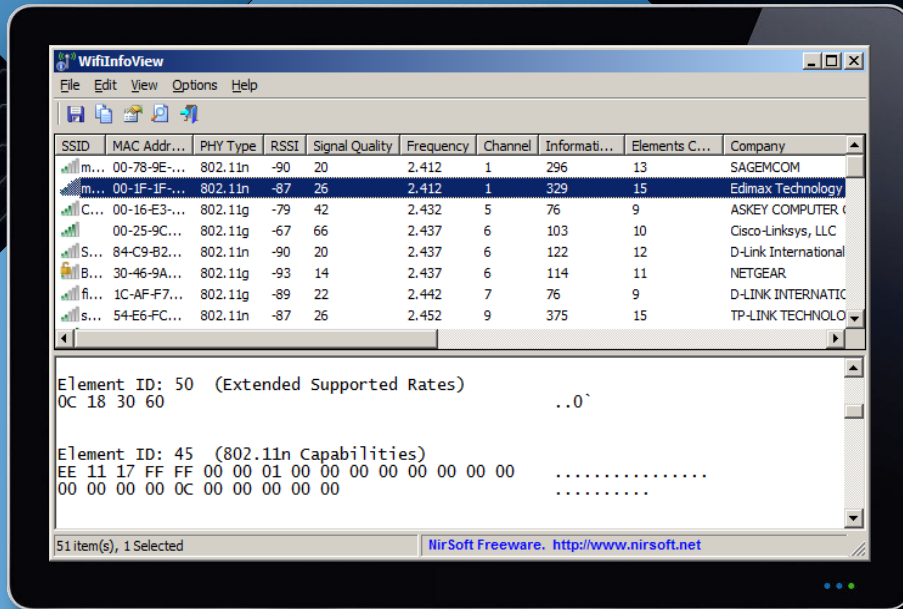
Windows



WIFI INFO VIEW

GRATUITO

Windows



WIFI ANALYZER

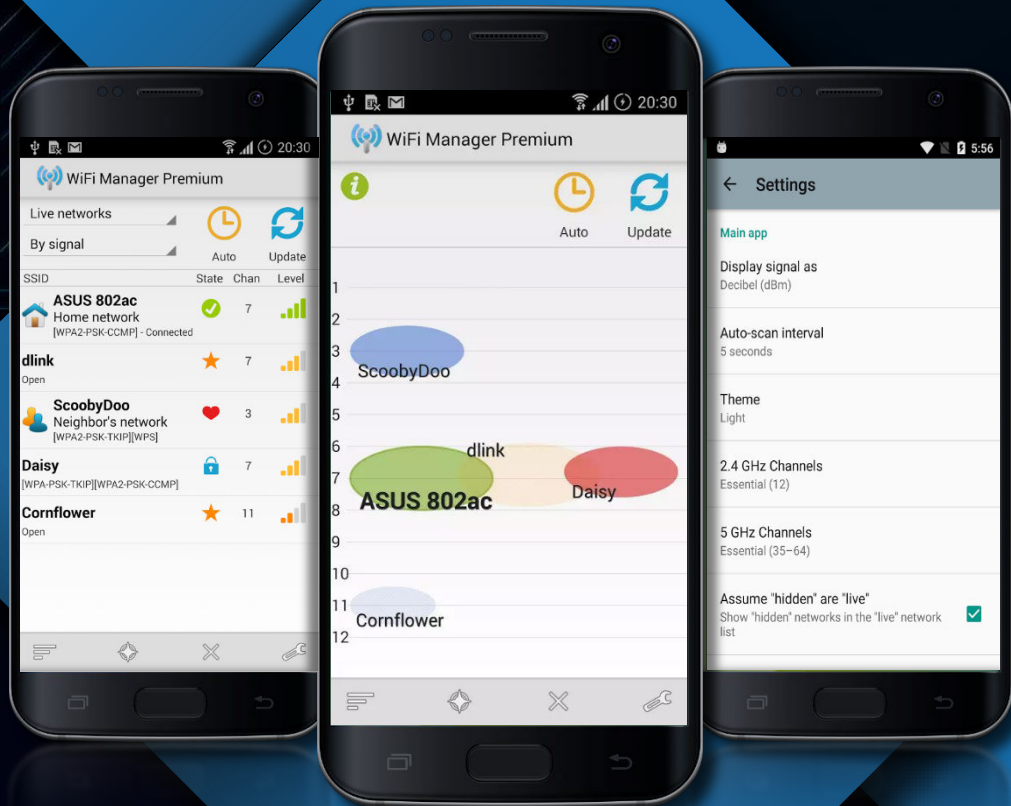
GRATUITO

Android



WiFi MANAGER GRATUITO

Android



NETWORK ANALYZER

GRATUITO/PAGO

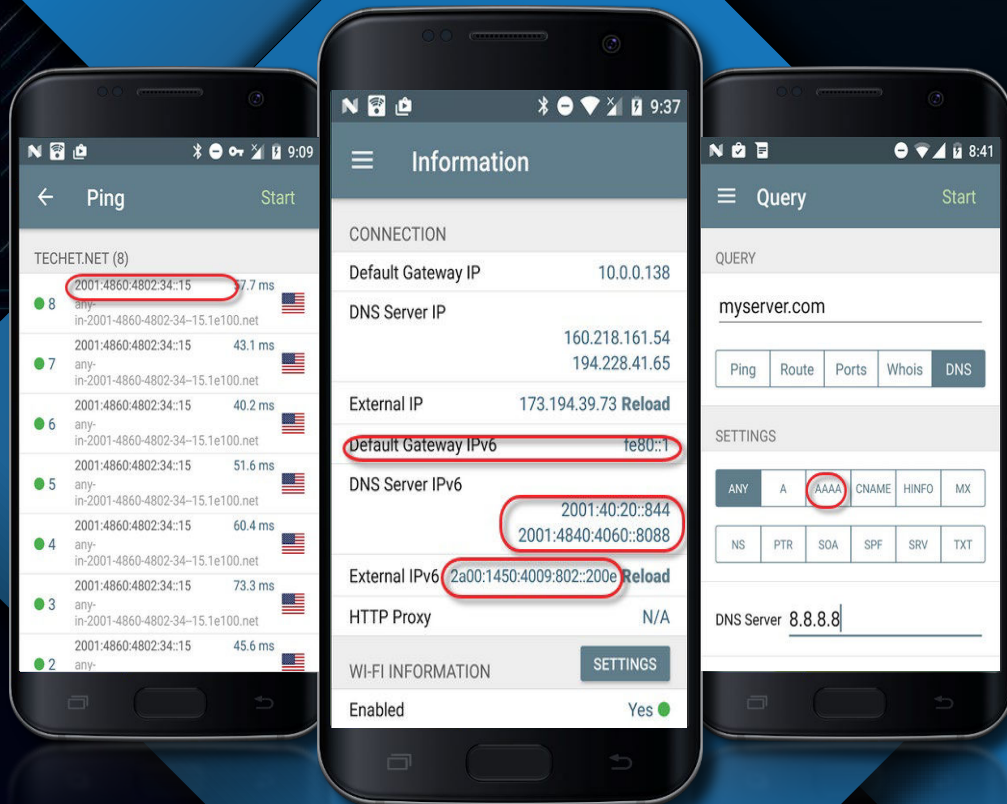
Android



NETWORK ANALYZER

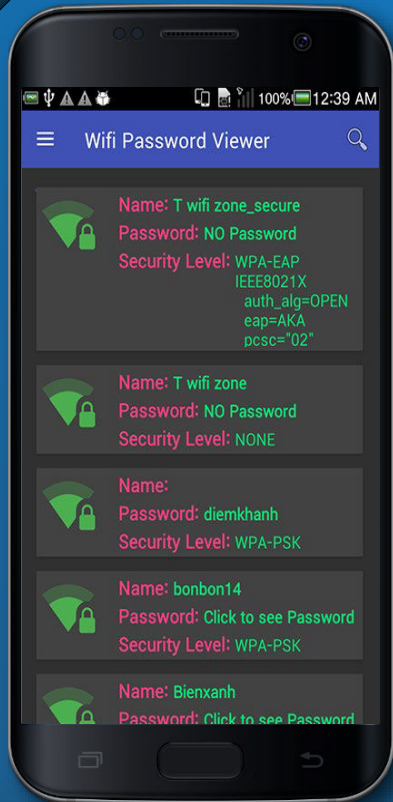
GRATUITO/PAGO

Android



WIFI PASS VIEWER GRATUITO

Android



WIFI HEATMAP GRATUITO

Android



GLOSARIO

General

- ◆ IEEE: **I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronics **E**ngineers
- ◆ IoT: **I**nternet **o**f **T**hings
- ◆ IP: **I**nternet **P**rotocol
- ◆ ISO: **I**nternational **O**rganization for **S**tandardization
- ◆ MAC: **M**edia **A**ccess **C**ontrol
- ◆ OSI: **O**pen **S**ystems **I**nterconnection model
- ◆ QoS: **Q**uality **o**f **S**ervice
- ◆ TCP: **T**ransfer **C**ontrol **P**rotocol
- ◆ VoIP: **V**oice **o**ver **I**nternet **P**rotocol
- ◆ V²oIP: **V**oice and **V**ideo **o**ver **I**nternet **P**rotocol

GLOSARIO

WiFi

- ◆ AES: **A**dvanced **E**ncryption **S**tandard
- ◆ AP: **A**ccess **P**oint
- ◆ APSD: **A**lternative **P**ower **S**ave **D**elivery
- ◆ BSS: **B**asic **S**ervice **S**et
- ◆ BSSID: **B**asic **S**ervice **S**et **I**Dentifier
- ◆ ESS: **E**xtended **S**ervice **S**et
- ◆ ESSID: **E**xtended **S**ervice **S**et **I**Dentifier
- ◆ IBSS: **I**ndependent **B**asic **S**ervice **S**et
- ◆ OBSS: **O**verlapping **B**asic **S**ervice **S**et
- ◆ RSSI: **R**eceived **S**ignal **S**trength **I**ndicator

GLOSARIO

WiFi

- ◆ SSID: **S**ervice **S**et **I**dentifier
- ◆ STA: **S**Tation (cliente WiFi)
- ◆ TWT: **T**arget **W**akeUp **T**ime
- ◆ WECA: **W**ireless **E**thernet **C**ompatibility **A**lliance
- ◆ WEP: **W**ired **E**quivalent **P**rivacy
- ◆ WFA: **W**iFi **A**lliance (ex Wireless Ethernet Compatibility Alliance)
- ◆ WLAN: **W**ireless **L**ocal **A**rea **N**etwork
- ◆ WMAN: **W**ireless **M**etropolitan **A**rea **N**etwork
- ◆ WMM: **W**iFi **M**ulti**M**edia
- ◆ WNA: **W**ireless **N**etwork **A**dapter
- ◆ WPA: **W**iFi **P**rotected **A**ccess
- ◆ WPAN: **W**ireless **P**ersonal **A**rea **N**etwork
- ◆ WWAN: **W**ireless **W**ide **A**rea **N**etwork

GLOSARIO

WiFi – Acceso al medio

- ◆ ACS: **A**utomatic **C**hannel **S**election
- ◆ BOT: **B**ack**O**ff **T**imer
- ◆ CAP: **C**ontrolled **A**ccess **P**hase
- ◆ CSMA/CA: **C**arrier-**S**ense **M**ultiple **A**ccess/**C**ollision **A**voidance
- ◆ CSMA/CD: **C**arrier-**S**ense **M**ultiple **A**ccess/**C**ollision **D**etection
- ◆ DCF: **D**istributed **C**oordination **F**unction
- ◆ DIFS: **D**istributed **C**oordination **F**unction **I**nter**F**rame **S**pace
- ◆ EDCA: **E**nhanced **D**istributed

Channel **A**ccess

- ◆ HCCA: Hibrid **C**oordinated **C**hannel **A**ccess
- ◆ IFS: **I**nter**F**rame **S**pace
- ◆ LBT: **L**isten **B**efore **T**alk
- ◆ MIMO: **M**ultiple **I**n - **M**ultiple **O**ut
- ◆ MU-MIMO: **M**ulti **U**ser **M**ultiple **I**n - **M**ultiple **O**ut
- ◆ RU: **R**esource **U**nit
- ◆ SU-MIMO: **S**ingle **U**ser **M**ultiple **I**n - **M**ultiple **O**ut
- ◆ SIFS: **S**hort **I**nter**F**rame **S**pace

GLOSARIO

Radio

- ◆ AEL: **A**tenuación en el **E**spacio **L**ibre
- ◆ BPSK: **B**inary **P**hase **S**hift **K**eying
- ◆ DSSS: **D**irect **S**equence **S**pread **S**pectrum
- ◆ EIRP: **E**quivalent **I**sotropic **R**adiated **P**ower
- ◆ FSPL: **F**ree-space **P**ath loss
- ◆ FHSS: **F**requency-**H**opping **S**pread **S**pectrum
- ◆ GI: **G**uard **I**nterval
- ◆ HT-OFDM: **H**igher **T**hroughput **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing
- ◆ HR-DSSS **H**igh-**R**ate **D**irect **S**equence **S**pread **S**pectrum
- ◆ MCS: **M**odulation and **C**oding **S**cheme
- ◆ OFDM: **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing
- ◆ OFDMA: **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiple **A**ccess
- ◆ QAM: **Q**uadrature **A**mplitude **M**odulation
- ◆ QPSK: **Q**uadrature **P**hase **S**hift **K**eying
- ◆ SNR: **S**ignal **N**oise **R**atio
- ◆ TDD: **T**ime **D**ivision **D**uplex
- ◆ VHT-OFDM: **V**ery **H**igh **T**hroughput **O**rthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing

GLOSARIO

Indoor

- ◆ BDA: **B**i-**D**irectional **A**mplifier
- ◆ CPRI: **C**ommon **P**ublic **R**adio **I**nterface
- ◆ DAS: **D**istributed **A**ntenna **S**ystems
- ◆ DRS: **D**istributed **R**adio **S**ystems
- ◆ RAU: **R**emote **A**ntenna **U**nits