

Menester de implementar el estándar 802.11ax en las redes actuales

Autor: Juan Sebastián Gómez Barbosa

Código: 2174115

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2019**



Menester de implementar el estándar 802.11ax en las redes actuales

Autor: Juan Sebastián Gómez Barbosa

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al
título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Tutor: Ing. Marco Vega
Docente de la Facultad de Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2019**



Dedicatoria

A mi madre Cenobia

Por haberme dado la vida, protegerme y darme fortalezas desde su partida. En momentos difíciles y sin rumbo me dio una esperanza de vida y de luchar por cada meta que me propongo. Poder cumplir el deseo de ver a su único hijo salir adelante me llena de satisfacción y me hace reflexionar para ser cada día mejor persona, espero poder seguir sus pasos.

A mi tía/madre Sonia

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la constante ayuda sin importar el momento que fuera, me ha permitido ser quien soy en este momento y lograr cada propósito que me propongo.

A mi familia y amigos

Por acompañarme y darme fortalezas cuando no las tenía, por esos ejemplos de perseverancia y constancia en cada uno de ellos, han hecho de mi un buen discípulo para seguir sus caminos.



AGRADECIMIENTOS

Mi más cordial reconocimiento y agradecimiento a todos y cada uno de los ingenieros y profesores de la facultad, porque cada uno con sus experiencias lograron brindar y enseñarme de la mejor manera como ser un profesional ético.

Mi agradecimiento a Marco Vega, Edwin Forero, Carlos Torres, Darío Segura y demás docentes por su colaboración y orientación en la realización de este y varios proyectos que realicé a lo largo de la carrera, gracias a ellos me llevo grandes recuerdos y conocimientos que me han permitido lograr este presente trabajo de investigación. A los directivos de la empresa Arris que me acogieron con gran calor humano y me brindaron todo el acompañamiento durante el periodo de prácticas, una gran experiencia.



CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	2
3. GLOSARIO	3
4. PROBLEMA	5
5. ANTECEDENTES	7
6. JUSTIFICACION.....	10
7. OBJETIVOS.....	12
7.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
8. FUNDAMENTACIÓN HUMANÍSTICA.....	13
9. MARCO TEORICO.....	155
9.1.1 Cable modem (CM):.....	155
9.1.2 Estándar 802.11:.....	16
9.1.3 Modulación:	17
9.1.4 U-NII (infraestructura nacional de información no licenciada):.....	188
9.1.5 Canal y ancho de canal:.....	199
9.1.6 Antena:.....	19
9.1.7 Beamforming:.....	19
9.1.8 MIMO (múltiples entradas – múltiples salidas):.....	20
9.1.9 MCS (modulación y esquema de código):.....	21
9.1.10 OFDM y OFDMA (multiplexación y acceso múltiple división de frecuencias ortogonales):.....	21
9.1.11 Potencia:	22



9.1.12	Atenuaciones:.....	23
10.	DISEÑO METODOLOGICO Y RESULTADOS.....	24
10.1	Edificio empresarial	26
10.2	Universidad Santo Tomas.....	30
10.3	Centro Comercial.....	33
10.2	Conjunto Residencial	36
11.	CONCLUSIONES.....	40
12.	BIBLIOGRAFIA.....	42
13.	ANEXOS	45



LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Diagrama de conexión básico en un CM ...	15
Gráfica 2. Diferencias entre las longitudes de ondas de las bandas 2.4GHz y 5GHz....	17
Gráfica 3. Modulación vs espacio espectral y canales, estándares 802.11n, ac y ax	18
Gráfica 4. Uso de espectro en los estándares.....	18
Gráfica 5. Uso comparable de los estándares, con respecto a sus canales.....	19
Gráfica 6. Representación de una única antena y múltiples antenas tanto en el AP como en los clientes.....	20
Gráfica 7. Evolución de los estándares en las tecnologías implementadas en los AP's..	20
Gráfica 8. Evolución del estándar 802.11ac al 802.11ax en la tecnología OFDM y OFDMA.....	21
Gráfica 9. Tarjeta de red inalámbrica Netgear A7000.....	24
Gráfica 10. Señal de la red inalámbrica, banda 2.4GHz, edificio empresarial.....	27
Gráfica 11. Espectro de frecuencias, banda 2.4GHZ, edificio empresarial.....	28
Gráfica 12. Señal de la red inalámbrica, banda 5GHz, edificio empresarial.....	29
Gráfica 13. Espectro de frecuencias, banda 5GHZ, edificio empresarial.....	29
Gráfica 14. Señal de la red inalámbrica, banda 2.4GHz, USTA.....	30
Gráfica 15. Espectro de frecuencias, banda 2.4GHZ, USTA.....	31
Gráfica 16. Señal de la red inalámbrica, banda 5GHz, USTA.....	32
Gráfica 17. Espectro de frecuencias, banda 5GHZ, USTA.....	32
Gráfica 18. Señal de la red inalámbrica, banda 2.4GHz, centro comercial.....	34
Gráfica 19. Espectro de frecuencias, banda 2.4GHZ, centro comercial.....	34
Gráfica 20. Señal de la red inalámbrica, banda 5GHz, centro comercial.....	35
Gráfica 21. Espectro de frecuencias, banda 5GHZ, centro comercial.....	36
Gráfica 22. Señal de la red inalámbrica, banda 2.4GHz, conjunto residencial.....	37
Gráfica 23. Espectro de frecuencias, banda 2.4GHZ, conjunto residencial.....	38
Gráfica 24. Señal de la red inalámbrica, banda 5GHz, conjunto residencial.....	39
Gráfica 25. Espectro de frecuencias, banda 5GHZ, conjunto residencial.....	39



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Conversión de DBm a Watt	22
Tabla 2. Atenuación según el material.....	23
Tabla 3. Escaneo de las redes inalámbricas del edificio empresarial, banda 2.4GHz	27
Tabla 4. Escaneo de las redes inalámbricas del edificio empresarial, banda 5GHz.....	28
Tabla 5. Escaneo de las redes inalámbricas de la USTA, banda 2.4GHz.....	30
Tabla 6. Escaneo de las redes inalámbricas de la USTA, banda 5GHz.....	31
Tabla 7. Escaneo de las redes inalámbricas del centro comercial, banda 2.4GHz.....	33
Tabla 8. Escaneo de las redes inalámbricas del centro comercial, banda 5GHz.....	35
Tabla 9. Escaneo de las redes inalámbricas del conjunto residencial, banda 2.4GHz....	37
Tabla 10. Escaneo de las redes inalámbricas del conjunto residencial, banda 5GHz.....	38



1. RESUMEN

En este documento se evidencia una de las problemáticas actuales que viven las redes inalámbricas, la cual produce baja QoS y puede ser perjudicial tanto en el presente como en el futuro para la disponibilidad de conexión en los clientes en cuanto a la interacción del servicio de internet. De esta manera se comprobó por análisis y tomas de muestras en un centro comercial, universidad, conjunto residencial y edificio empresarial, que existe un solapamiento de señales en el espectro o aire de estos sitios generado por la cantidad de AP's o CM's que emiten sus canales de comunicación en las bandas 2.4GHz y 5GHz, las cuales en la mayoría de los casos se encuentran saturadas, de esta manera se origina un riesgo para la presente y futura salud de las redes Wi-Fi.

Al demostrar lo anterior, se exponen diferentes alternativas (tecnologías y métodos) de mitigación que podrían ayudar a las redes inalámbricas actuales a funcionar adecuadamente y estar preparadas para ser integradas al porvenir de las redes 5G; este trabajo es planteado como una investigación en progreso, en el cual se buscará a futuro demostrar cual es el punto crítico para establecer la necesidad del despliegue del nuevo estándar Wi-Fi 6 (802.11ax) según los diferentes escenarios, al observar cuando hay pérdidas y caídas del servicio debido al solapamiento y congestión que generan cierta cantidad de AP's emitiendo.

Palabras claves: Wi-Fi 6, solapamiento, redes inalámbricas, Access Point, cliente.



2. INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento se expondrá uno de los protocolos mayormente usado en las redes actuales, el cual permite realizar una conexión inalámbricamente entre un AP o CM que permite conectar las redes y proveer internet hacia varios clientes (dispositivos finales), este estándar (802.11) ha sido catalogado como uno de los inventos más revolucionarios del siglo XXI junto a los celulares inteligentes; debido a esto el despliegue de dispositivos que funcionan de forma inalámbrica y bajo el legado Wi-Fi es considerablemente inmenso (véase anexo B) y tiene un crecimiento exponencial a nivel global, de esta manera se observa que los inconvenientes y las necesidades de tener redes cada vez más capaces y robustas se convierten en una necesidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta investigación se mostrará la necesidad de implementar el nuevo estándar 802.11ax o Wi-Fi 6 en las redes inalámbricas presentes y futuras, ya que existen varios obstáculos en el entorno actual que impide que los estándares que están en las redes predominantes no sean viables en algunos escenarios o próximamente se vuelvan obsoletos; de esta manera, se adentrará en detalles en cuatro escenarios los cuales poseen características de infraestructura y densidad de clientes diferentes, así, ilustrar que una de las mayores amenazas que se viven en las presentes redes inalámbricas es la congestión por solapamiento de canales en el aire debido a la cantidad de AP's emitiendo en diferentes sitios, de esta manera se expondrá la necesidad de involucrar nuevas técnicas o tecnologías que permiten mitigar este problema antes y después de que el Wi-Fi 6 sea implementado.



3. GLOSARIO

- **Downstream:** Se refiere al camino de transmisión de datos en bajada (del servidor al cliente).
- **Upstream:** Se refiere al camino de transmisión de datos en subida (del cliente al servidor).
- **Qos (Calidad del servicio):** Priorización de un tráfico según el tipo de servicio que se esté brindando como el video, streaming, telefonía o datos; de esta manera se asegura de entregarle al destinatario la fluidez de velocidad que necesite en su red.
- **Gateway (puerta de enlace) o Punto de acceso (AP):** Es un dispositivo, con frecuencia un computador o modem, que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas.
- **HFC (Híbrido de fibra coaxial):** Es una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha.
- **Wireless o inalámbrica:** Se llama así a la conexión a servicios en línea que no utiliza un elemento físico (cable).
- **Band-Steering (cambio de banda):** Es una técnica utilizada en despliegues Wi-Fi de doble banda que permite a los dispositivos de banda dual, como la mayoría de los teléfonos inteligentes modernos, tabletas y computadoras portátiles, utilizar la banda de 5 GHz que tiene menor congestión y mayor capacidad. Esto suele ser una ventaja, ya que 5 GHz tiende a ser mejor para el rendimiento de Wi-Fi, ya que posee más canales disponibles y tiende a tener una menor interferencia global de las fuentes inalámbricas vecinas y no inalámbricas.
- **Roaming:** Proceso de un dispositivo Wi-Fi (celular, pc, etc.) de moverse de un AP a otro AP sin perder conexión.
- **Atenuación (dB):** Es el fenómeno de pérdidas de potencia en la señal debido a interferencias que se encuentran en el aire por la cual atraviesa el medio (onda gravitacional).
- **CPE (Equipo local del cliente):** Equipo que posee servicios de aplicaciones multimedia, voz y video.
- **DOCSIS (Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable):** Un proyecto o estándar con el objetivo de desarrollar un conjunto de especificaciones y operaciones necesarias para cable módems y equipos asociados.
- **GPON (Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit):** Tecnología de acceso de telecomunicaciones que utiliza fibra óptica para llegar al cliente (hogares, empresas y demás).



- **Wave2:** Tecnología del estándar 802.11ac que permite dar mayor rendimiento debido a sus funciones de mayor ancho de canal y funciones MIMO (multiusuario).
- **Airtime:** Es el tiempo en el que un AP está emitiendo su señal en un canal respectivo para poder hablar o comunicarse con sus posibles dispositivos para asociarse.
- **Latencia:** Retardo que existe en la red debido a atenuaciones, cuellos de botella, propagación, transmisión de información, tamaño de paquetes, tamaño de los búferes de los equipos, entre otros.
- **Repetidor o extensor:** Dispositivo que está conectado a un Gateway, los cuales comparten y/o amplifican la señal del Gateway en un lugar el cual tiene una baja cobertura.
- **Mesh:** Red que conforma un Gateway (AP) con extensores o repetidores, los cuales comparten las credenciales de la red.
- **IoT (internet de las cosas):** Dispositivos que poseen la capacidad de compartir y procesar información sin la necesidad de la intervención humana.
- **WPA3 (Acceso Wi-Fi protegido 3):** Última generación de seguridad Wi-Fi.
- **PHY rate (Velocidad física):** Es la máxima velocidad de conexión o de comunicación que hay entre un cliente (dispositivo Wi-Fi) y un router (Wi-Fi).
- **LAN (Red de área local):** Red privada o reducida que conecta clientes (dispositivos) entre sí, está por lo general en hogares, colegios, empresas, entre otras.
- **WAN (Red de área amplia):** Redes que unen redes locales, usadas por organizaciones, proveedores de servicios de internet, entre otros.
- **Propagación de tiempo:** Permite la transmisión organizada, estructurando el tiempo de solicitud de información para que no exista coalición entre un usuario y otro.
- **Reúso espacial:** Permite a los dispositivos diferenciar entre sus propias redes de transmisión y la de sus vecinos. De esta manera comparten los canales un AP con el otro eficientemente.
- **Estaciones:** Computadores o dispositivos con interfaz de red.
- **Medio:** Radiofrecuencia y los infrarrojos.



4. PROBLEMA

En el transcurso de la historia el humano siempre ha buscado desarrollar mejoras en todos los aspectos de su vida para adquirir una mejor calidad de vida, de esta manera gracias a varias revoluciones industriales se ha logrado cambiar el estilo de vida de este de manera drástica por medio de desarrollos tecnológicos que permiten automatizar tareas, tener mayor control de procesos industriales, transportarse de manera eficiente, interactuar fácil e apropiadamente con cualquier persona en cualquier momento, entre otras aplicaciones. De esta manera lo que antes era un privilegio, como el tener un teléfono inalámbrico o celular, un computador o un fax, se volvió una necesidad debido a la globalización, la cual ha influido en la forma en que trabajamos, educamos, compramos y vivimos.

Teniendo en cuenta que cada día más personas se encuentran conectadas al internet y que se desarrollan dispositivos que día a día se convierten en una necesidad para el crecimiento tanto económico como social^A, se requiere tener una conexión confiable, eficiente y estable. Es por esto que la industria de telecomunicaciones juega un papel importante, por ende, se ha tenido que reinventar y actualizar constantemente según las necesidades que se imponen en la actualidad. Por esta razón, debido a la gran cantidad de diferentes desarrollos tecnológicos, se requiere una conexión estable todos los días del año, seguridad digital, desarrollo eco sostenible, mayor velocidad entre otros temas.

Basándose en el desarrollo de la revolución digital, un aspecto fundamental que se está teniendo en cuenta a nivel global es la revolución 5G, la cual busca mejorar las capacidades de las redes a nivel mundial y soportar la demanda del mercado; de esta manera en la actualidad, existen varias formas de entregarle a los usuarios el servicio de conexión a internet de forma permanente, entre estas están los servicios que ofrecen los proveedores de servicios de internet (ISP) los cuales son: internet satelital, red celular o de celdas y Wi-Fi. Una de las tecnologías nombradas anteriormente con mayor uso en la actualidad y proyectada a ser la más utilizada es el Wi-Fi^B. Por consiguiente, se pretende abordar una problemática existente en las redes inalámbricas actuales, la cual no está presente para la mayoría de



personas pero que en algún momento ha llegado o llegará a afectar en su interacción con el servicio que proporciona una red Wi-Fi.

Existen varios vacíos o problemas que perturban una red inalámbrica: interferencia, desempeño, cobertura, densidad de usuarios, periféricos, aplicaciones, seguridad, costos, movilidad, ubicación de los AP's, entre otros, los cuales generan problemas de latencia, cuellos de botella en el aire o en su punto crítico imposibilidad de navegación de los clientes. Teniendo en cuenta lo anterior se pretende explicar y demostrar una posible solución a la problemática tanto actual como futura, la cual presenta como punto crítico la sobre utilización de los radios o bandas de frecuencia en el que trabajan los AP's o CM's; uno de los desarrollos o estándares actualmente que dan mucho de qué hablar, es el estándar 802.11ax o Wi-Fi6, el cual ofrece mejoras importantes para las futuras generaciones inalámbricas, por ende, se explicará el por qué y la relevancia de introducir esta solución en las redes actuales, teniendo en cuenta las debilidades y dificultades que poseen los estándares que funcionan en las redes inalámbricas presentes.

¡llego el momento en que la congestión en el aire debido a la masificación de AP's y clientes emitiendo^C, volvieron obsoletos los radios 2.4GHz y 5GHz en una considerable cantidad de escenarios!



5. ANTECEDENTES

- PR Newswire, (agosto 1 del 2019)¹, PR Newswire, (octubre 10 del 2019)², Lopez-Perez, D. Garcia-Rodriguez, A. Galati-Giordano, L. Kasslin, M., & Doppler, K., (2019)³ y Ali, M. Z., Mistic, J., y Mistic, V. B. (2019)⁴. Estas investigaciones buscan dar como sustento las ventajas de desplegar Gateways, dando a conocer las mejoras del nuevo estándar, con respecto a algunas tecnologías como OFDMA, las cuales mejoran la congestión inalámbrica en hogares, áreas públicas y oficinas, incrementando la eficiencia de la cobertura en la cantidad de dispositivos que pueden existir en un ambiente como el descrito y mejorando la calidad de la conexión individualmente en cada estación, de esta manera invitan a los proveedores de servicios a desplegar e implementar este tipo de tecnología en sus clientes.
- Boris Bellalta, (marzo 2 del 2016)⁵. Este artículo es un desarrollo, en el cual tuvieron en cuenta tres factores o configuraciones a evaluar, MU-MIMO, OFDMA y las combinaciones de ambos teniendo como finalidad ver la mejora en cuanto a la calidad del servicio con respecto a la latencia en la transmisión de video; de esta manera analizaron que por OFDMA se obtiene un rendimiento deseado y mejorado que la tecnología MU-MIMO.
- Der-Jiunn Deng, Kwang-Cheng Chen, Rung-Shiang Cheng, (agosto 18-20 del 2014)⁶, Ali, R., Kim, S. W., Kim, B.-S. y Park, Y. (2018)⁷ y Lee, K. (2019)⁸. Estas investigaciones explican los retos y características nuevas que enfrenta el estándar IEEE 802.11ax, comparándola con los anteriores estándares (802.11n y 802.11ac) teniendo como referencia el diseño en la capa física (PHY) y la capa de dirección física o MAC.



- Shubham Saloni, Achyut Hegde. (enero 22-24 del 2016)⁹ y Kwon, D., Kim, S.-W., Kim, J., & Mohaisen, A. (2018)¹⁰. En estos papers se busca dar a conocer los beneficios y posibles aplicaciones de uso del WI-Fi como maestro (cable modem) de dispositivos IoT, de esta manera se demuestra que bajo el Wi-Fi y por medio de una tecnología llamada vector de red de múltiples locaciones se puede desarrollar un algoritmo que mitigue la interferencia cuando se mezclan dispositivos como AP's (Pc's. smarthpones, tablets, etc) que necesitan una calidad del servicio mayor, con artefactos IoT los cuales no consumen una banda ancha importante pero que si pueden ser una interferencia directa con dispositivos que exigen mayor nivel de ancho de banda, para esto se aplica una tecnología de beamforming, la cual entrega una calidad de servicio especifica dependiendo de la estación y sus necesidades.
- Burt, J. (2019)¹¹ y Ajami, A.-K., & Artail, H. (2019)¹². Estas investigaciones contextualizan la situación actual en cuanto al Wi-Fi empresarial (estadios, hospitales, centros comerciales, tiendas y universidades), en el cual muestra la necesidad de mejorar la demanda de ancho de banda, latencia y rendimiento; de esta manera implementando Wi-Fi 6 mejorarían estos inconvenientes gracias a su rapidez, menos congestión en el aire y contribuyendo con la vida de la batería de los dispositivos a conectarse; también demuestran la reestructuración en cuanto algoritmos que ayudan a distribuir la calidad del servicio y la seguridad WPA3 como prevención ante intrusos.
- Microwave Journal, (2019)¹³. En esta reseña se discute el impacto que genera la siguiente generación de Wi-fi y su posible conjunción con la infraestructura 5G; expresando cuales son los problemas de conectividad inalámbrica entre la conexión a celular y Wi-Fi (explicando las diferencia), para obtener una mayor velocidad de internet en los hogares y calles.



- Shoko Shinohara, Junichi Iwatani, y Yasuhiko Inoue, (2017)¹⁴. En este apartado se explican las necesidades y problemas que emergen en la actualidad en las redes locales inalámbricas (WLAN's), debido a su proliferación. De esta manera consideran varias técnicas para mejorar el rendimiento de estas redes en múltiples casos con ayuda del nuevo estándar IEEE 802.11 ax.
- Fleishman, G. (2018)¹⁵. Esta investigación contextualiza la actualidad de los hogares y empresas en cuanto a la cantidad de hardware inalámbrico existentes como: tablets, dispositivos inteligentes, Smart TVs, electrodomésticos, video juegos, herramientas y cámaras de seguridad. Describiendo que es solo el comienzo de una era de conectividad y automatización. De esta manera explica que darle un empujón al nuevo estándar podría servir en la actualidad bastante, pero prevé que realmente será útil en los próximos 15 años, ya que esta tecnología no es lo bastante prometedora para actuar en las redes o el hardware actual ya que todavía no hay preparación para este tipo de velocidades y capacidades que ofrece el Wi-Fi 6; Debido a esto expone los principios y las ventajas de los anteriores estándares 802.11n y ac (2.4 GHz y 5GHz), para implementar un mezcla funcional según las necesidades que se impongan en el mercado, basándose en la QoS necesaria que se quiera satisfacer según el hardware que se use.



6. JUSTIFICACION

Al observar las constantes innovaciones tecnológicas que se vienen desarrollando en plena segunda década del siglo XX, los cambios de paradigma en la sociedad se han hecho notar desde cualquier perspectiva a nivel global, así, la industria de las telecomunicaciones ha sido uno de los sectores que más se ha visto envuelta en la participación del crecimiento de la nueva era digital, como se puede observar en un simple ejemplo, como lo es la era de los Smart Phones o teléfonos inteligentes, los cuales tienen las mismas o hasta más características técnicas que posee un computador, estos nos permiten comunicarnos con cualquier persona, en donde sea, en el momento que se desee (on demand).

Teniendo en cuenta estos cambios, se hace notorio que poseer un dispositivo electrónico sea computadora, celular, electrodoméstico, etc., no es un lujo en la actualidad sino una necesidad que cada vez más está imponiéndose en la sociedad, un claro ejemplo lo son las empresas modernas, las que imponen un estilo de vida diferente de su primer cliente (empleado), el cual ha sido trasladado a trabajar ya no desde las oficinas de su respectiva empresa si no desde su hogar, mejorando estilos de vida y proporcionando un ahorro en temas de recursos financieros a la misma; por ende, cada día los desarrollos y despliegues de dispositivos se hacen más flexibles y se integran fácilmente en cualquier aspecto de la vida del ser humano, de esta manera, la curva de crecimiento de dispositivos que demandan ancho de banda y que poseen un procesamiento y direccionamiento para alguna funcionalidad en especial tiene una tendencia a nivel exponencial, como se demuestra en los estudios de la alianza Wi-Fi^A y GSMA^C.

En la actualidad los dispositivos con mayor renombre que vienen en crecimiento y que cada día se integran más para ayudar a mejorar la calidad de vida en la sociedad son los dispositivos inteligentes con internet de las cosas (IoT), los cuales en su mayoría son sensores que permiten mejorar procesos y que cumplen funciones específicas según la operatividad a la que se hayan hecho, estos poseen la característica de funcionar sin necesidad de la manipulación del ser humano, como ejemplo una nevera la cual esté conectada a una red



privada y que este en constante comunicación con el cliente para determinar cuando es necesario abastecer algunos productos faltantes. Por lo tanto, se evidencia que el crecimiento exponencial de dispositivos es una realidad, la cual es necesaria integrar en las redes actuales y para esto es necesario observar los puntos críticos que las redes en la actualidad están viviendo.

Debido a la practicidad e innovación que presentan las redes inalámbricas, se observa que estas desplazaron a las conexiones físicas cableadas a una segunda posición, por ende, la tecnología Wi-Fi tiene un valor importante a nivel actual y un gran panorama a futuro, esta tecnología han pasado por varios estándares que han permitido poseer características técnicas, como rendimiento, velocidad, cobertura, entre otras, que han dado soporte a la red inalámbrica moderna durante dos décadas, por lo tanto, la reinención es una estrategia y una necesidad debido a los múltiples factores de mejoras que se desarrollan actualmente.

Este proyecto tiene como propósito evaluar y demostrar la congestión en diferentes escenarios, debido al solapamiento de canales que son emitidos por AP's que funcionan en los radios 2.4GHz y 5GHz; se expondrá el airtime que se vive en lugares que las personas usualmente frecuentan, así, se observará la necesidad de implementar nuevas técnicas y tecnologías debido a la hiperconexión^D que se experimentan en las redes inalámbricas actuales, para que estas controlen de una manera eficiente y satisfactoria la propagación del tiempo según el periodo de emisión que se detecte en el aire por los AP's. Se observará con este estudio que la tendencia será mezclar el estándar Wi-Fi 6 con sus antecesores^E.



7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

- Demostrar la importancia de desarrollar e integrar el estándar 802.11ax (Wi-Fi6) en las redes actuales, teniendo como referencia y punto crítico el solapamiento de canales que existe en el aire por la cantidad de AP's emitiendo sus respectivas señales en las bandas 2.4GHz y 5GHz en ambientes muy congestionados.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer las ventajas y desventajas en la integración de este estándar a las redes actuales.
- Encontrar posibles soluciones a los problemas que enfrentan las redes inalámbricas actuales, debido al crecimiento actual de dispositivos Wi-Fi y su consecuencia de congestionamiento en el aire, mientras se integra el estándar 802.11ax.



8. FUNDAMENTACIÓN HUMANÍSTICA

Debido a los avances y desarrollos tecnológicos el ser humano se ha acostumbrado a un nivel de vida en el cual solo existe un interés por la riqueza momentánea, dando rienda suelta a inconvenientes y problemas ambientales a futuro, de esta manera la sociedad vive cada día más un crecimiento insostenible que solo busca garantizar las comodidades y/o necesidades básicas de la población o de los que puedan pagar por estos tipos de servicios o utilidades.

En pleno cuarto del siglo XXI se han observado cambios drásticos en el medio ambiente como cambios de temperaturas bruscos a nivel global, derretimiento de los polos, ciudades que son casi inhabitables debido a su cantidad de CO₂, que producen padecimientos y muertes por problemas respiratorios, se puede culpar a muchos factores como la industrialización, la sobreexplotación de recursos, la sobrepoblación, etc. Es por esto que la mayoría de naciones en el mundo se han comprometido en el acuerdo de Paris, a reducir la contaminación para que en el año 2020 no suba la temperatura global más de 1.5°C¹⁶; de esta manera la cultura en las industrias y gobiernos buscan ser transformadas para pensar en las futuras generaciones y desarrollar una economía sostenible ambientalmente.

Teniendo en cuenta la actualidad que viven la industria de telecomunicaciones, en cuanto a las redes inalámbricas, se observa que en los AP's o CM's la cultura de protección al medio ambiente no está establecida, ya que los estos siempre están emitiendo e irradiando señales que buscan poder establecer alguna conexión con algún cliente; de esta manera como se expone en los resultados de este documento, en múltiples locaciones se observa la congestión y emisión de los AP's transmitiendo incesantemente, tengan o no clientes conectados, por lo tanto, su exigencia de potencia en su operación será siempre igual o mayor según la cantidad de clientes asociados a este.

Por medio del nuevo estándar 802.11ax, el cual posee una mejora en las características del AP al emitir su señal, en la cual cuando este no se encuentra asociado a ningún cliente su nivel de potencia se reduce, disminuyendo el consumo de electricidad que este genera y extendiendo la vida útil de la batería de los clientes asociados ya que cuando estos no se



encuentran consumiendo ancho de banda, quedan en modo “ahorro de energía” o apagados (sin transmitir o escuchar en su antena Wi-Fi) mientras se vuelve a establecer la conexión; de esta manera debido al ahorro de electricidad tanto del AP como del cliente, tendrá un impacto positivo ambientalmente, ya que permitirá reducir el nivel de cargas que un cliente frecuenta, reduciendo el nivel de producción y desechos que se genera por las baterías^F.

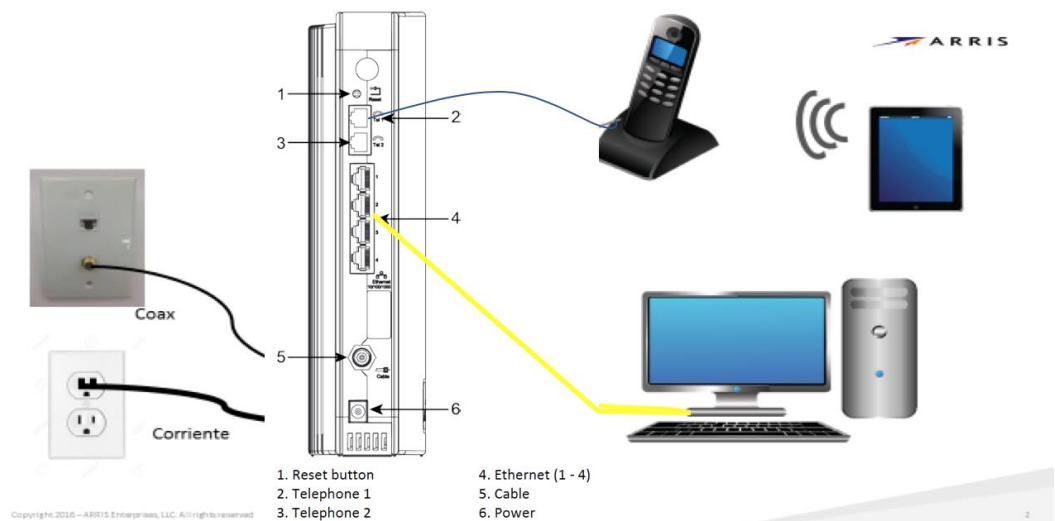


9. MARCO TEÓRICO

9.1.1 Cable modem (CM):

Es el equipo en las instalaciones del abonado (hogar, empresa, entre otros) que sirve para modular y demodular la señal de datos que entra y sale sobre la infraestructura HFC o solo fibra, de esta manera por medio de una señal que es brindada por el proveedor de servicios de internet (ISP), permite tener una utilidad la cual entrega un paquete de voz y datos en la mayoría de los casos y que puede ser diferente según la QoS (calidad del servicio) que se preste o pague al ISP; este servicio de comunicaciones y operaciones para los datos sobre los sistemas de cable funcionan bajo los estándares no comerciales llamados DOCSIS (HFC) o GPON (fibra óptica).

Este dispositivo permite la entrega y acceso de internet de banda ancha, funcionando bajo el espectro disponible de la red de televisión por cable (subida 5~85MHz y bajada 102~1218MHz), bajo el estándar DOCSIS (mayormente usado en la actualidad por los operadores).



Grafica 1. Diagrama de conexión básico en un CM.
Tomado de (Arris 2018, conexión CM).



Teniendo este dispositivo un paquete de servicio, este puede funcionar por medio de conexiones alámbricas (ethernet para datos y RJ-11 para telefonía) e inalámbricas (Wi-Fi) para entregar el tráfico o ancho de banda a las estaciones o clientes. De esta manera en el caso de la distribución de datos vía inalámbrica, este dispositivo posee antenas las cuales funcionan según estándares avalados por la alianza Wi-Fi, las cuales funcionan e irradian en diferentes radios o bandas (espectro a usar). Las actualmente avaladas son las bandas de 2.4 GHz, 5GHz y 6 GHz, estos radios poseen canales de radiofrecuencia específicos según el espectro.

9.1.2 Estándar 802.11:

Creada por el instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), en la cual se le apropia el nombre de Wi-Fi, esta ha tenido varias mejoras desde el año 2006 hasta la actualidad, en su mayoría en la mejora de seguridad, transmisión y recepción en cuanto al tráfico de velocidad de datos.

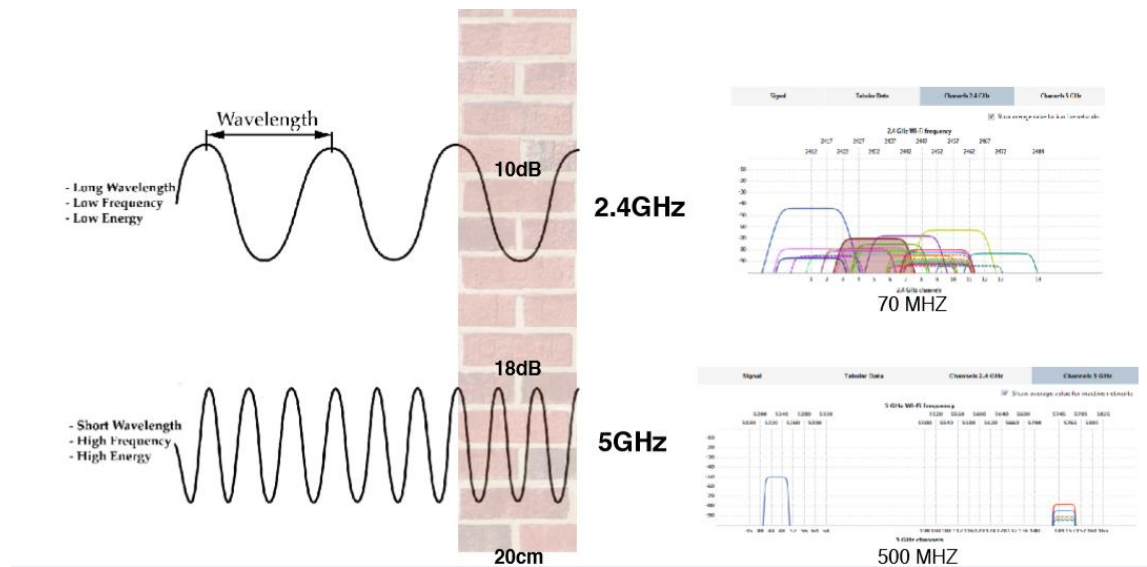
9.1.2.1 Estándar 802.11n:

Este modelo mejoro anteriores estándares (802.11a y 802.11g en el año 2009), se basó en establecer la máxima transferencia de datos, desde 54Mb/s hasta 600Mb/s. Esta capacidad se dio gracias a la implementación de la tecnología MIMO y la mejora en cuanto a la cantidad de antenas que tenían los CM's que tenían esta tecnología, también posee la característica de la banda dual (radios de frecuencia de 2.4GHz y 5GHz), los cuales incluyen anchos de banda de 20 y 40 MHz y su tipo de modulación es desde los BPSK hasta 64-QAM.

9.1.2.2 Estándar 802.11ac:

Estándar de red inalámbrico (2014), buscó mejorar la tasa de transferencia de su antecesor, llegando hasta 1.3Gb/s con tres antenas de transmisión y recepción. Este opera únicamente en el radio de 5GHz, el cual trabaja con canales hasta con un ancho de banda de 160 MHz, usando 8 flujos MIMO y su modulación va desde BPSK hasta de 256-QAM.





Grafica 2. Diferencias entre las longitudes de ondas de las bandas 2.4GHz y 5GHz.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).

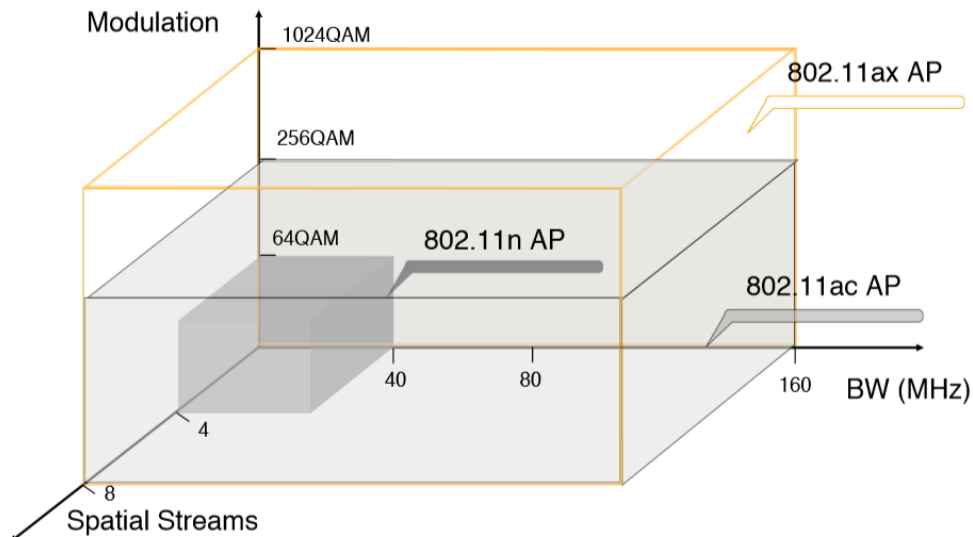
9.1.2.3 Estándar 802.11ax:

Último estándar Wi-Fi (2019), espera superar las expectativas de la nueva revolución 5G con sus velocidades de transferencia altas de hasta 9.6Gb/s (teóricas a 160 MHz con antenas 8x8), funciona en conjunto con sus dos radios antecesores y con la adicional de 6GHz, las cuales permitirían mayor alcance, velocidad y cobertura. Introduce una tecnología llamada OFDMA para mejorar su eficiencia espectral en cuanto a la propagación del tiempo y aire, sus canales y anchos de banda son los mismos al estándar 802.11ac y su tamaño de modulación es de hasta 1024-QAM.

9.1.3 Modulación:

Es una técnica de manipulación de una señal, que permite transmitir información sobre una frecuencia de portadora. Existen diferentes tipos de modulación que se usan en la transmisión de datos: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-AQAM Y 1024-QAM, dependiendo del tipo de modulación, canal y ancho de banda usados, permite una velocidad de transmisión máxima.



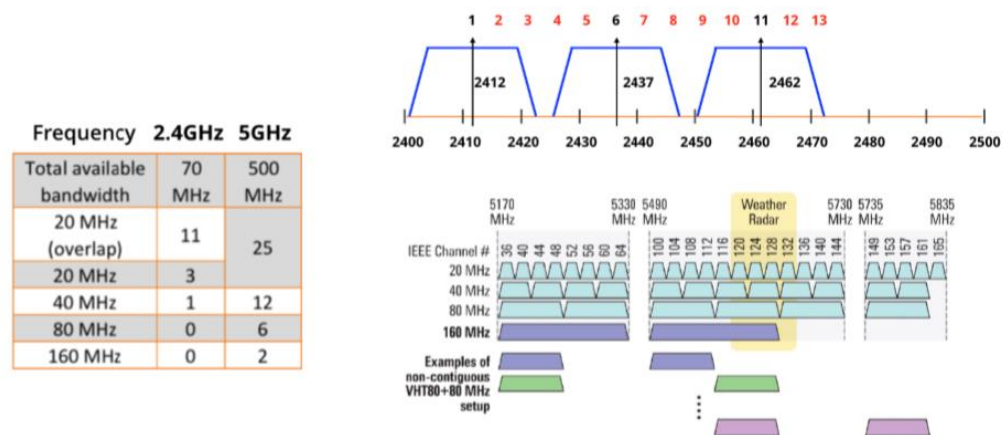


Grafica 3. Modulación vs espacio espectral y canales, en los estándares 802.11n, ac y ax.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).

9.1.4 U-NII (infraestructura nacional de información no licenciada):

Es la porción del espectro que se usa por los equipos del estándar 802.11, la cual funciona sobre algunos rangos de frecuencias y canales determinados según la legislación o país el cual tenga autorizados a los proveedores de servicio de internet inalámbrico.

En esta imagen se referencia las frecuencias de las bandas 2.4GHz y 5GHz y los posibles canales en los que pueden operar.

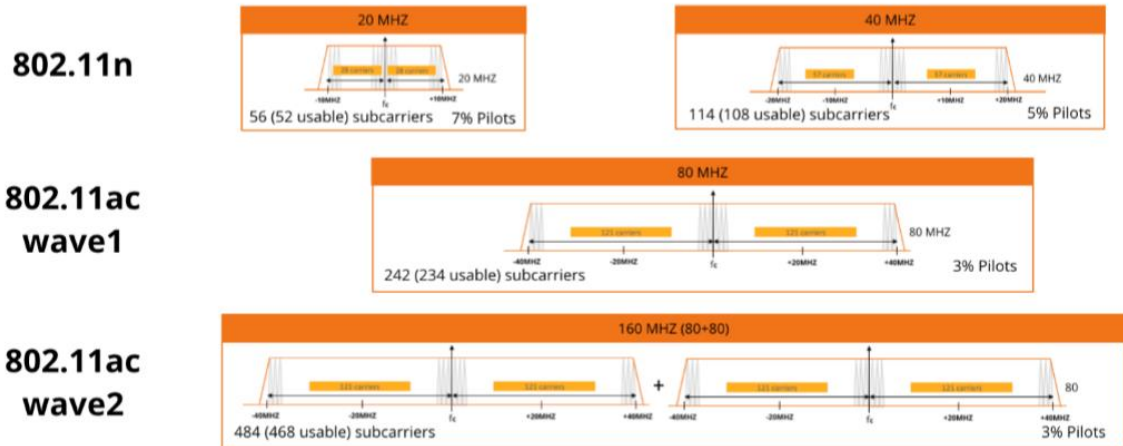


Grafica 4. Uso de espectro total en los estándares.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).



9.1.5 Canal y ancho de canal:

El canal es una franja de frecuencias, las cuales están sujetas según el país y sus restricciones, estas franjas de frecuencias tienen su ancho de banda establecido a 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz y 160 MHz, que varía según el estándar que se use.



Grafica 5. Uso comparable de los estándares, con respecto a sus canales.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).

9.1.6 Antena:

Elemento que dirige y redirige (transmite y recibe) una señal, de esta manera se realiza el establecimiento y transmisión de datos en una red inalámbrica físicamente, estas ofrecen tres propiedades: Ganancia, dirección y polarización.

9.1.7 Beamforming:

Tecnología de transmisión inalámbrica, la cual por medio de algoritmos realiza la toma de muestras para localizar cual es el mejor direccionamiento al cual la antena debe enfocar su transmisión, esto lo logra por medio de registrar las señales recibidas del cliente.

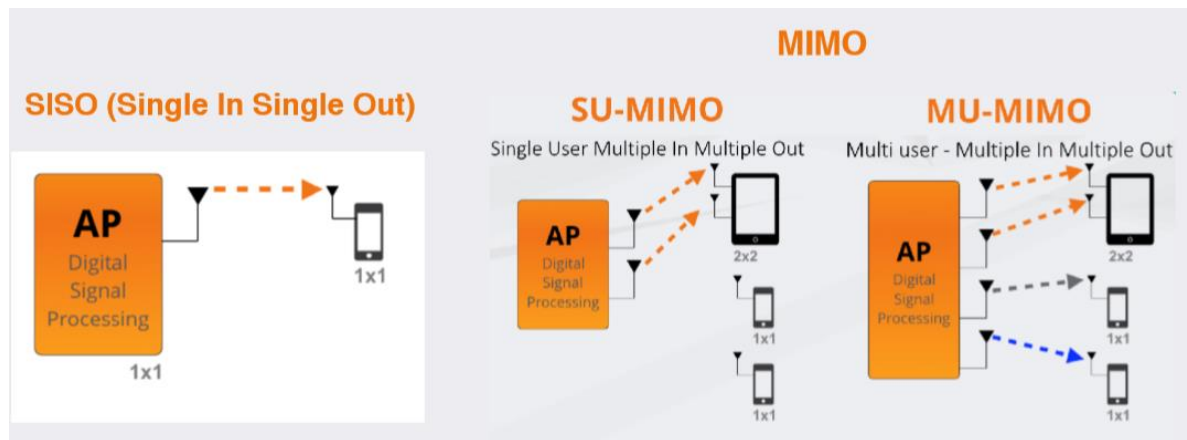
De esta manera sus ventajas son: mejoras de ancho de banda, coordinar la señal enviada de la antena para mejoras de alcance, acortar los tiempos de envío y recepción de datos, estabilidad de la comunicación, entre otras.



9.1.8 MIMO (múltiples entradas – múltiples salidas):

Tecnología la cual utiliza dos o más antenas, en un AP y en un cliente para recepción y transmisión de datos inalámbricos sobre el mismo canal, de esta manera se multiplican los datos transmitidos por el número de entradas y salidas.

Así por medio de la tecnología SDM (multiplexación división espacial) permite que muchos flujos de datos espaciales independientes se transmitan simultáneamente en un canal espectral (aumenta la velocidad de transmisión).



Grafica 6. Representación de una única antena y multiples antes tanto en el AP como en los clientes.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).

Standard	802.11n	802.11ac wave1	802.11ac wave2
MIMO	SU-MIMO	SU-MIMO	MU-MIMO
Channel Width	20, 40 MHz	20, 40, 80 MHz	20,40,80, 160 MHz
Spatial Streams	(1-4) 3SS	(1-4) 3SS	(1- 8) 4SS
Modulation	64QAM	256QAM	256QAM

Grafica 7. Evolución de los estándares en las tecnologías implementadas en los AP's.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).

Para el caso del estándar 802.11ax como se dijo anteriormente, funciona bajo las anteriores características (802ac wave2¹⁷ y OFDM), aunque posee una tecnología OFDMA y su modulación puede llegar a los 1024-QAM.



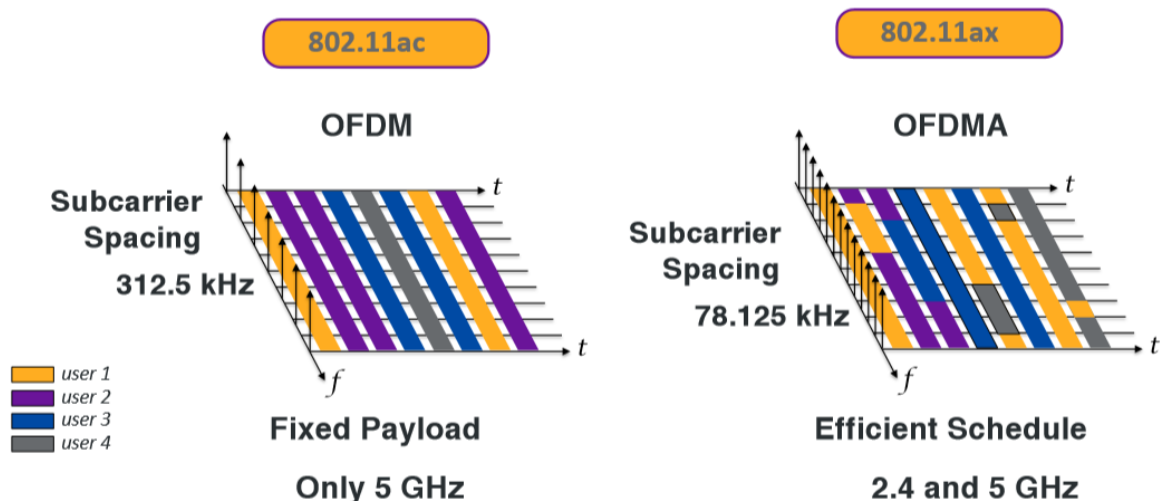
9.1.9 MCS:

Tablas en las cuales están documentados según la codificación y modulación de los estándares que velocidad máxima puede poseer una conexión física inalámbrica, dependiendo del canal y según la cantidad de antenas que posea el AP y cliente^{G,H,I}.

9.1.10 OFDM y OFDMA (multiplexación y acceso múltiple división de frecuencias ortogonales):

OFDM es una técnica de multiplexación en la cual se combinan dos o más canales de información en un solo medio de transmisión usando un multiplexor; de esta manera se le asigna un numero diferente de subportadoras a cada uno de los usuarios, brindándole diferente QoS, para corregir posibles dificultades tanto en velocidad de conexión, solapamiento, entre otras.

Por lo tanto, la diferencia con la tecnología OFDMA, es que esta asigna un código a cada usuario, estos pueden tener diferente QoS según un factor asignado que separa un numero de códigos que se separan a cada usuario; es un acceso donde se reparten los recursos según lo largo de las subportadoras en la combinación del dominio frecuencial y el acceso múltiple en el dominio temporal (espacio tiempo-frecuencia)¹⁸.



Grafica 8. Evolución del estándar 802.11ac al 802.11ax en la tecnología OFDM y OFDMA.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).



9.1.11 Potencia:

Factor o efecto con el cuál se puede medir la fuerza electromagnética con el que las ondas que emiten los AP's o CM's viajan y se encuentran con un cliente, este efecto es inversamente proporcional a la distancia en que el transmisor y el receptor están; de esta manera entre más lejos este el AP y el cliente, menor potencia y cobertura tendrá el cliente, las unidades de esta medición están en dB que también pueden ser interpretados por mW. E

dBm	Watts	dBm	Watts	dBm	Watts
0	1.0 mW	16	40 mW	32	1.6 W
1	1.3 mW	17	50 mW	33	2.0 W
2	1.6 mW	18	63 mW	34	2.5 W
3	2.0 mW	19	79 mW	35	3.2 W
4	2.5 mW	20	100 mW	36	4.0 W
5	3.2 mW	21	126 mW	37	5.0 W
6	4 mW	22	158 mW	38	6.3 W
7	5 mW	23	200 mW	39	8.0 W
8	6 mW	24	250 mW	40	10 W
9	8 mW	25	316 mW	41	13 W
10	10 mW	26	398 mW	42	16 W
11	13 mW	27	500 mW	43	20 W
12	16 mW	28	630 mW	44	25 W
13	20 mW	29	800 mW	45	32 W
14	25 mW	30	1.0 W	46	40 W
15	32 mW	31	1.3 W	47	50 W

Tabla 1. Conversión de DBm a Watt.
Tomado de (<http://www.lu1cgb.com.ar/tabladbmwat.htm>).

Cada AP o CM posee sus características de transmisión y recepción, estos son diseñados según cada país o legislación al que vayan a ser desplegados.

9.1.12 Atenuaciones:

Fenómeno de pérdida de fuerza y amplitud en una señal u onda gravitacional, esto se produce debido a los efectos físicos por el medio en el que se transmite esta información o señal, generando un efecto de pérdidas de ancho de banda, latencia, distorsión y ruido. Existen varios niveles y factores de atenuación que interrumpen regularmente la conexión en una red inalámbrica según el tipo de material:



MATERIAL	EJEMPLO	INTERFERENCIA
Madera	Tabiques	Baja
Vidrio	Ventanas	Baja
Amianto	Techos	Baja
Yeso	Paredes interiores	Baja
Ladrillo	Paredes interiores y exteriores	Media
Hojas	Árboles y plantas	Media
Agua	Lluvia / Niebla	Alta
Cerámica	Tejas	Alta
Papel	Rollos de papel	Alta
Vidrio con alto contenido en plomo	Ventanas	Alta
Metales	Vigas, armarios	Muy Alta

Tabla 2. Atenuación según el material.

Tomado de (<https://es.slideshare.net/WilliamAlfredoLudea/redes-inalambricas-24687544><http://www.lu1cgb.com.ar/tabladbmwat.htm>).

Las señales de los AP's o CM's también son intervenidas y atenuadas por efectos de la mala ubicación con respecto a la ubicación según sus clientes, materiales por donde atraviesan las señales que van hacia el cliente, y el mismo ser humano al poseer un porcentaje de 60% de agua dentro de su interior, también es un factor de atenuación importante a tener en cuenta.



10. DISEÑO METODOLÓGICO Y RESULTADOS

Para la elaboración de las pruebas experimentales, se procede a encontrar el hardware y software que cumplan con las características técnicas que permitan la interacción en un ambiente inalámbrico, para de esta manera poder determinar las condiciones del ambiente y el aire en el cual se van a tomar las muestras o mediciones.

- **Hardware:**

- 1) **Computadora bajo el sistema operativo Windows:** El SO Windows es adecuado ya que la tarjeta de red Wi-Fi a utilizar tiene inconvenientes de compatibilidad en ambientes Linux y en la mayoría de versiones para IOS.
- 2) **Adaptador USB Wi-Fi:** Debido a que la mayoría de interfaces Wi-Fi que poseen los computadores comúnmente poseen adaptadores Wi-Fi bajo el estándar 802.11n, fue necesario agregar el hardware inalámbrico Netgear A7000–Nighthawk AC1900 (grafica 9), el cual tiene características técnicas de doble banda, las cuales permiten evidenciar el modo inalámbrico IEEE 802,11n con sus antecesores (802.11b y 802.11g) y 802.11ac con sus antecesores (802.11a y n) y también para temas de rendimiento que no se tienen en cuenta para este procedimiento, las técnicas y tecnologías MIMO, beamforming y wave 1, pudiendo alcanzar una velocidad de conexión física de hasta 1.3Gbps.



Grafica 9. Tarjeta de red inalámbrica Netgear A7000.
Tomado de (<https://www.netgear.com/support/product/A7000.aspx>).



- **Software:**

- 1) **Netspot:** Es una herramienta de evaluación de redes inalámbricas, la cual permita analizar, escanear e inspeccionar el rendimiento y la cobertura de un perímetro; de esta manera se realiza un escaneo de los AP's que están emitiendo, para observar gráficamente las características del ambiente en el que se esté.

Para realizar las tomas de datos se procede a seleccionar las locaciones en las cuales se van a tomar las muestras; se eligieron cuatro entornos o zonas muestrales, los cuales son frecuentes para cualquier tipo de usuario y que en la mayoría de casos son lugares que poseen una baja cobertura de señal inalámbrica debido a congestión por la saturación y cantidad de clientes conectados a la red.

Los escenarios a evaluar fueron: Edificio empresarial, universidad Santo Tomas, Centro comercial Plaza Claro y conjunto residencial; en estas ubicaciones se procede a realizar una inspección y registro en el software Netspot de todas las redes inalámbricas, ajustando el adaptador inalámbrico para que tome muestras en las bandas de 2.4GHz y 5GHz, para su análisis. Se realiza una inspección y registro de los AP's recorriendo el sitio determinado, teniendo la antena previamente ajustada a la banda deseada, así por medio del software Netspot se procede a establecer que información se quiere observar (como se muestran en las tablas según cada escenario) y a que rango haga el escaneo según la proximidad del AP, estableciendo un rango deseable. Para este caso se establece que su mínimo nivel de potencia para detectar un AP sea -96 dBm y su máximo -10 dBm.

De esta manera como se evidencia en las siguientes tablas, Netspot permite visualizar algunos valores y características, como las siguientes:

- **SSID:** Nombre de la red inalámbrica.
- **BSSID:** Dirección MAC que posee el AP.
- **Señal:** Nivel de potencia que esta recibiendo el cliente (adaptador inalámbrico) según las atenuaciones, interferencias o distancia a la que se encuentre del AP.



- **Promedio:** Valor promedio entre la señal mínima y máxima que haya tenido en un tiempo determinado la comunicación AP-cliente.
- **Banda:** Radio de 2.4GHz o 5 GHz.
- **Canal:** Franja de frecuencia según la banda a la que se encuentre.
- **Ancho:** Amplitud del canal que está emitiendo el AP.
- **Proveedor:** Empresa o marca del AP o CM.
- **Seguridad:** Tipo de encriptación a la que está configurado el AP o CM.
- **Modo:** Tipo de estándar al que está ajustado el SSID.

Teniendo en cuenta lo anterior, según el recorrido y el tiempo al que se registren los datos en el software, se obtienen dos resultados que permiten analizar el estado de salud del aire y Wi-Fi por la que está desplegada cada red inalámbrica, siendo así, se extrae una grafica de las señales que están siendo transmitidas según la potencia del AP y el tiempo del recorrido y otra la cual representa el espectro del aire según la potencia a la que están emitiendo los AP's y los canales a los que están determinados.

Se debe tener en cuenta que existen diferentes dispositivos que pueden actuar como AP's, que se evidencia en el caso de un Smart Phone cuando funciona como Hotspot, por ende, en los resultados se pueden encontrar más AP's emitiendo que no son CM's.

10.1 Edificio empresarial:

Esta locación posee veintidós pisos, los cuales tienen cuatro oficinas de empresas diferentes por piso y posee un aproximado de 950 funcionarios.

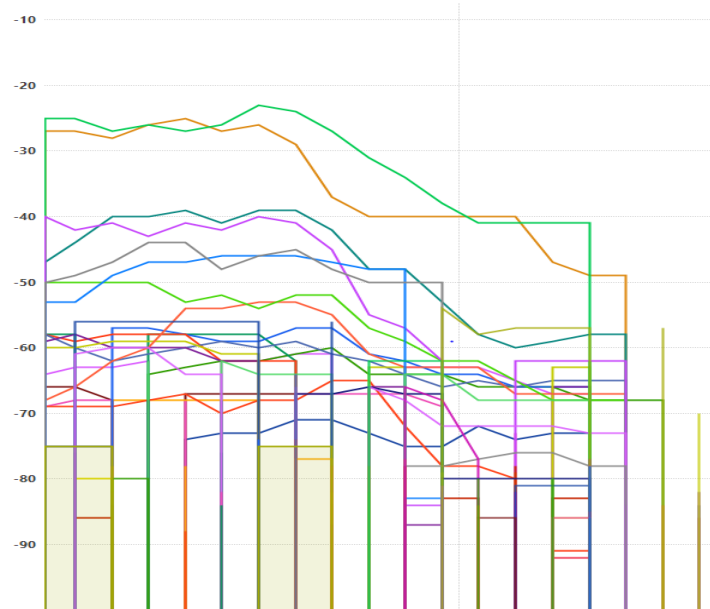
Banda de 2.4GHz:

Para esta red se evidencio un total de 126 canales emitiendo de diferentes AP's.



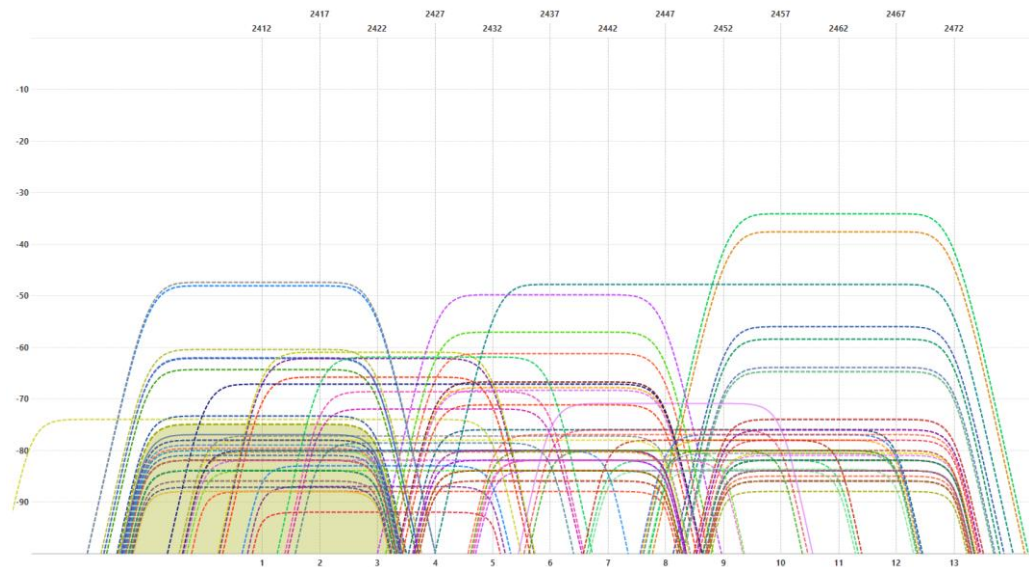
	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
☒	[Hidden SSID]	90:4E:2B:5B:EA:80			-	-	-96	-76	-77		2.4	4	20	HUAWEI	WPA2 Personal	n	5 s ago
☒	[Hidden SSID]	A8:16:D0:AE:33:7D			-	-	-96	-75	-75		2.4	1	20	Samsung	WPA2 Personal	n	2 m 37 s ago
☒	[Hidden SSID]	C8:F9:F9:1A:26:63			-	-	-96	-88	-88		2.4	11	20	Cisco	WPA2 Personal	n	2 m 57 s ago
☒	0492236	CC:03:FA:6C:EE:44			-	-	-96	-80	-81		2.4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	2 m 41 s ago
☒	360-PMI-Visitantes	26:F5:A2:30:BE:61			-	-	-96	-78	-78		2.4	1	20	-	Open	ac	1 m 31 s ago
☒	ACO- Visitantes	9E:15:44:AA:36:44			-	-	-96	-86	-86		2.4	11	20	-	WPA2 Personal	ac	2 m 11 s ago
☒	ADMONBOGOTA	00:0E:B4:1C:42:9C			-	-	-96	-65	-71		2.4	6	20	GUANGZHOU	WPA2 Personal	n	2 m 1 s ago
☒	agudulce	64:E9:50:9D:04:00			-	-	-96	-84	-84		2.4	11	20	Cisco	WPA2 Personal	n	51 s ago
☒	APOLO	B0:4E:26:F4:14:60			-	-	-96	-76	-76		2.4	10 - 1	40	TP-LINK	WPA2 Personal	n	2 m 52 s ago
☒	area52	40:E3:D6:C1:5C:80			-	-	-96	-50	-57		2.4	6	20	Aruba	WPA2 Enterprise	n	1 m 56 s ago
☒	area52	40:E3:D6:C1:5C:E0			-	-	-96	-44	-48		2.4	1	20	Aruba	WPA2 Enterprise	n	2 m 21 s ago
☒	area52	40:E3:D6:C1:5D:20			-	-	-96	-23	-34		2.4	11	20	Aruba	WPA2 Enterprise	n	1 m 6 s ago
☒	ARP	E0:41:36:D8:9C:C0			-	-	-96	-84	-84		2.4	1	20	MitraStar	WPA2 Personal	n	1 m 26 s ago
☒	ARRIS-02B2	40:70:09:D6:02:80			-	-	-96	-61	-65		2.4	11	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	1 m 6 s ago
☒	ARRIS-4922	D4:05:98:07:49:20			-	-	-96	-60	-68		2.4	6	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	1 m 6 s ago
☒	ARRIS-7402	5C:E3:0E:49:B5:17			-	-	-96	-62	-65		2.4	11	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	2 m 1 s ago
☒	ARRIS-DD72	90:1A:CA:BB:DD:70			-	-	-96	-58	-62		2.4	1	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	1 m 56 s ago
☒	Arris-Guest	40:E3:D6:C1:5C:81			-	-	-96	-53	-61		2.4	6	20	Aruba	WPA2 Personal	n	1 m 56 s ago
☒	Arris-Guest	40:E3:D6:C1:5C:E1			-	-	-96	-46	-48		2.4	1	20	Aruba	WPA2 Personal	n	2 m 27 s ago
☒	Arris-Guest	40:E3:D6:C1:5D:21			-	-	-96	-25	-38		2.4	11	20	Aruba	WPA2 Personal	n	1 m 6 s ago
☒	ARRIS-WIFIEXTENDER	BC:64:4B:A0:E8:EE			-	-	-96	-60	-64		2.4	1	20	ARRIS	WPA2 Personal	ac	1 m 51 s ago
☒	ARWIFI	00:1A:8C:A9:1E:70			-	-	-96	-82	-82		2.4	1	20	Sophos	WPA2 Personal	n	1 m 36 s ago
☒	Auditorio TU2	90:A7:C1:58:C3:5A			-	-	-96	-84	-84		2.4	11	20	Pakedge	WPA2 Personal	n	6 s ago
☒	Auditorio TU2	90:A7:C1:58:C4:0D			-	-	-96	-86	-86		2.4	11	20	Pakedge	WPA2 Personal	n	6 s ago
☒	Avante	78:8A:20:87:10:25			-	-	-96	-67	-68		2.4	6	20	Ubiquiti	WPA2 Personal	n	2 m 37 s ago
☒	BC-HOTELES	C4:6E:1F:4C:12:BC			-	-	-96	-80	-80		2.4	7 + 1	40	TP-LINK	WPA2 Personal	n	1 m 26 s ago
☒	BGP_2.4G	AC:9E:17:A9:F2:00			-	-	-96	-54	-61		2.4	1	20	ASUSTek	WPA2 Personal	n	1 m 6 s ago
☒	Bloenergias	EC:0B:6B:66:86:30			-	-	-96	-84	-84		2.4	11	20	TP-LINK	WPA2 Personal	n	1 m 11 s ago

**Tabla 3. Escaneo de las redes inalámbricas del edificio empresarial.
Tomado de Netspot.**



**Grafica 10. Señal de las redes inalámbrica, potencia (dB) vs tiempo (5 min).
Tomado de Netspot.**





Gráfica 11. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.

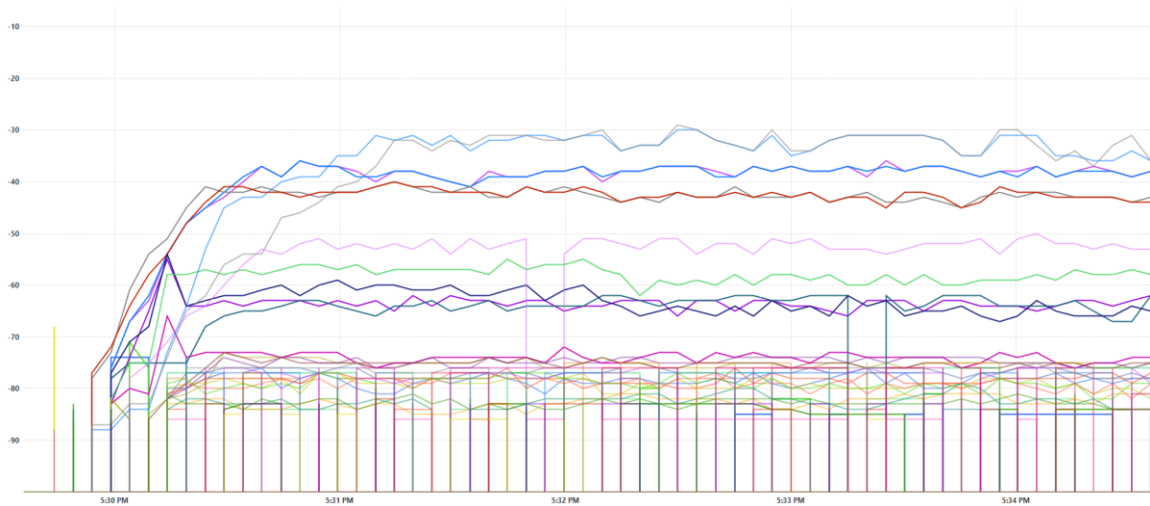
Banda de 5GHz:

Para esta red se evidencio un total de 180 canales emitiendo de diferentes AP's.

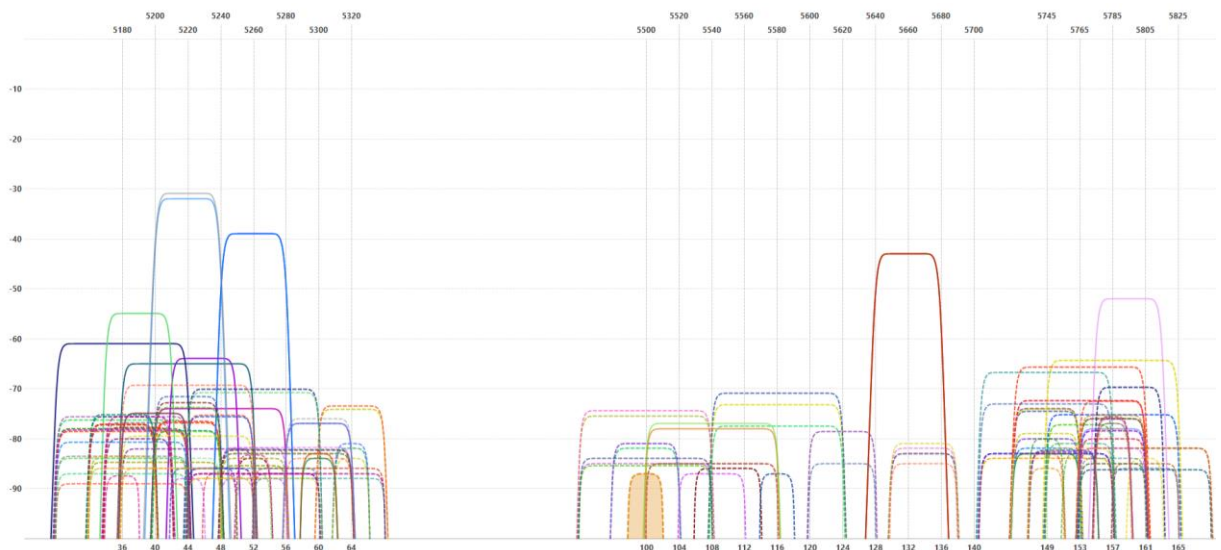
	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
✓	COL-EXT	C8:F9:F9:1A:26:6E			-85	13	-85	-82	-83		5	60	20	Cisco	WPA2 Personal	n	now
✓	[Hidden SSID]	58:97:BD:FA:31:EC			-84	14	-96	-84	-84		5	60	40	Cisco	WPA2 Personal	ac	now
✓	GTEAUDIT	C8:F9:F9:1A:26:6F			-84	14	-84	-82	-83		5	60	20	Cisco	WPA2 Personal	n	now
✓	GTE	C8:F9:F9:1A:26:68			-83	15	-84	-81	-83		5	60	20	Cisco	WPA2 Enterprise	n	now
✓	e-Managers	90:3A:72:65:15:EC			-79	20	-81	-78	-79		5	108	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	now
✓	Avante	78:8A:20:88:10:25			-78	21	-81	-77	-78		5	157	40	Ubiquiti	WPA2 Personal	ac	now
✓	e-Employees	90:3A:72:25:15:EC			-78	21	-96	-77	-79		5	108	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	now
✓	e-Visitors	90:3A:72:A5:15:EC			-78	21	-81	-77	-79		5	108	80	Ruckus	Open	ac	now
✓	GTEAUDIT	3C:CE:73:38:E5:EF			-78	21	-96	-78	-78		5	157	20	Cisco	WPA2 Personal	n	now
✓	PruebasVis	58:97:BD:FA:31:EE			-78	21	-82	-76	-77		5	60	40	Cisco	Open	ac	now
✓	Visitantes-Avante	7A:8A:20:88:10:25			-78	21	-81	-76	-79		5	157	40	-	Open	ac	now
✓	[Hidden SSID]	3C:CE:73:38:E5:EC			-77	22	-96	-77	-77		5	157	20	Cisco	WPA2 Personal	ac	now
✓	Visitantes_Cenit	58:97:BD:FA:31:ED			-77	22	-77	-75	-76		5	60	40	Cisco	Open	ac	now
✓	BOG_Guest	94:B4:0F:53:AF:D5			-75	24	-86	-73	-76		5	40	40	Aruba	Open	ac	now
✓	Connect02	94:B4:0F:53:AF:D2			-75	24	-85	-73	-76		5	40	40	Aruba	WPA2 Enterprise	ac	now
✓	ARRIS-WIFIEXTEND	8C:64:4B:A0:EB:EF			-74	26	-96	-66	-76		5	48	80	ARRIS	WPA2 Personal	ac	now
✓	testssid	94:B4:0F:53:AF:D4			-74	26	-82	-74	-76		5	40	40	Aruba	Open	ac	now
✓	ARRIS-02B2-5G	40:70:09:D6:02:B5			-64	37	-96	-55	-67		5	48 - 1	40	ARRIS	WPA2 Personal	n	now
✓	TIGO-A925-5G	70:4F:88:6D:89:61			-63	38	-96	-63	-70		5	44	80	ARRIS	WPA2 Personal	ac	now
✓	ARRIS-7402-5G	5C:E3:0E:49:B5:18			-61	41	-96	-54	-66		5	36	80	ARRIS	WPA2 Personal	ac	now
✓	ARRIS-4922-5G	D4:05:98:07:49:25			-57	45	-96	-56	-64		5	36 + 1	40	ARRIS	WPA2 Personal	n	now
✓	control4	00:24:36:AE:32:DC			-51	52	-78	-51	-58		5	157 + 1	40	Apple	WPA2 Personal	n	now
✓	Arris-Guest	40:E3:D6:C1:5C:91			-42	63	-96	-40	-49		5	132	40	Aruba	WPA2 Personal	ac	now
✓	area52	40:E3:D6:C1:5C:90			-41	64	-96	-40	-50		5	132	40	Aruba	WPA2 Enterprise	ac	now
✓	area52	40:E3:D6:C1:5C:F0			-39	66	-96	-36	-47		5	52	40	Aruba	WPA2 Enterprise	ac	now
✓	Arris-Guest	40:E3:D6:C1:5C:F1			-39	66	-96	-36	-48		5	52	40	Aruba	WPA2 Personal	ac	now
✓	area52	40:E3:D6:C1:5D:30			-34	72	-87	-32	-56		5	44	40	Aruba	WPA2 Enterprise	ac	now
✓	Arris-Guest	40:E3:D6:C1:5D:31			-33	73	-88	-31	-52		5	44	40	Aruba	WPA2 Personal	ac	now

Tabla 4. Escaneo de las redes inalámbricas del edificio empresarial.
Tomado de Netspot.





**Gráfica 12. Señal de las redes inalámbricas, potencia (dB) vs tiempo (5 min).
Tomado de Netspot.**



**Gráfica 13. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.**

Se evidencia que a nivel empresarial o de esta muestra la saturación en ambas bandas de radio, se encuentran en saturación, por ende, se puede observar que actualmente o a futuro es inviable continuar usando los espectros vigentes en este sector.

Aunque podría haber alternativas como el rediseño de la ubicación y reestructuración de cada red inalámbrica de este escenario, para evitar futuros inconvenientes o que se vuelva inviable el servicio en el edificio.



10.2 Universidad Santo Tomas:

Se realizaron las tomas de muestras en la sede central en Bogotá (no se tuvo en cuenta el edificio santo domingo), el cual tiene un estimado de 1.500 a 2.500 de público diario, que posee diferentes edificios, facultades y diferentes zonas de esparcimiento.

Banda de 2.4GHz:

Para esta red se evidencio un total de 238 canales emitiendo de diferentes AP's.

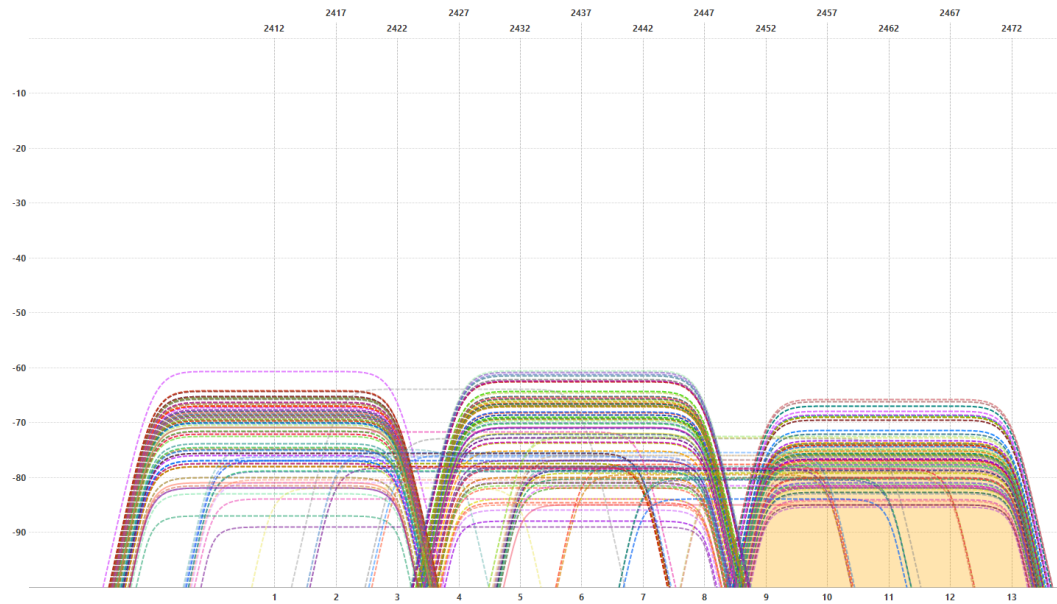
✓	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
✓	WUSTA	F8:E7:1E:DE:20:B8			-74	26	-96	-54	-70		2.4	1	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	WUSTA	F8:E7:1E:DD:FD:58			-	-	-96	-60	-72		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	7 m 32 s ...
✓	WDIRUSTA	F8:E7:1E:5E:20:B8			-74	26	-96	-53	-69		2.4	1	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	WDIRUSTA	F8:E7:1E:5D:FD:58			-	-	-96	-61	-73		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	7 m 32 s ...
✓	WADMON	F8:E7:1E:1E:20:B8			-74	26	-96	-53	-70		2.4	1	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	WADMON	F8:E7:1E:1D:FD:58			-	-	-96	-59	-74		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	7 m 32 s ...
✓	AUDITORIO PROV	F8:7B:8C:19:3B:13			-	-	-96	-65	-79		2.4	11 - 1	40	Amped	WPA2 Personal	n	6 m 52 s ...
✓	NicolasP	F4:8B:A7:D4:D2:B0			-	-	-96	-75	-75		2.4	2	20	zte	WPA2 Personal	n	3 m 26 s ...
✓	WUSTA	F0:80:52:F8:5E:28			-77	22	-96	-43	-64		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	WUSTA	F0:80:52:F8:5D:68			-	-	-96	-49	-69		2.4	1	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	9 m 8 s ago
✓	WUSTA	F0:80:52:F8:5C:B8			-71	29	-96	-65	-71		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	WUSTA	F0:80:52:FA:35:B8			-	-	-96	-43	-68		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	13 m 49 s ...
✓	WUSTA	F0:80:52:8B:3F:38			-	-	-96	-42	-66		2.4	11	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	7 m 32 s ...
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:5E:28			-79	20	-96	-44	-65		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:5D:68			-	-	-96	-49	-70		2.4	1	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	8 m 7 s ago
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:5C:B8			-71	29	-96	-65	-71		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:3F:38			-	-	-96	-42	-66		2.4	11	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	7 m 32 s ...
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7A:35:B8			-	-	-96	-42	-67		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	13 m 49 s ...
✓	Rectoria	F0:80:52:3B:5F:08			-	-	-96	-83	-83		2.4	1	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	3 m 46 s ...
✓	WADMON	F0:80:52:3B:5E:28			-	-	-96	-43	-65		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	15 s ago
✓	Robotica USTA	F0:80:52:3B:5D:68			-	-	-96	-49	-70		2.4	1	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	8 m 7 s ago
✓	WADMON	F0:80:52:3B:5C:B8			-72	28	-96	-65	-71		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	now
✓	PROYECTOUSTA	F0:80:52:3B:5C:A8			-	-	-96	-82	-82		2.4	11 - 1	40	Ruckus	WPA2 Personal	n	11 m 34 s ...
✓	WADMON	F0:80:52:3B:3F:38			-	-	-96	-43	-66		2.4	11	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	7 m 32 s ...
✓	WADMON	F0:80:52:3A:35:B8			-	-	-96	-43	-70		2.4	6	20	Ruckus	WPA2 Personal	n	13 m 54 s ...
✓	SANDRA CRISTINA	E8:09:2C:E4:E1:F0			-	-	-96	-78	-85		2.4	6	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	11 m 19 s ...
✓	EL RECREO DLT	E4:77:23:AE:E4:88			-	-	-96	-80	-80		2.4	11	20	zte	WPA2 Personal	n	12 m 59 s ...
✓	[Hidden SSID]	E2:88:5D:D0:47:70			-	-	-96	-81	-85		2.4	6	20	-	WPA2 Personal	n	8 m 12 s ...

Tabla 5. Escaneo de las redes inalámbricas de la USTA.
Tomado de Netspot.



Grafica 14. Señal de las redes inalámbrica, potencia (dB) vs tiempo (5 min).
Tomado de Netspot.





**Grafica 15. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.**

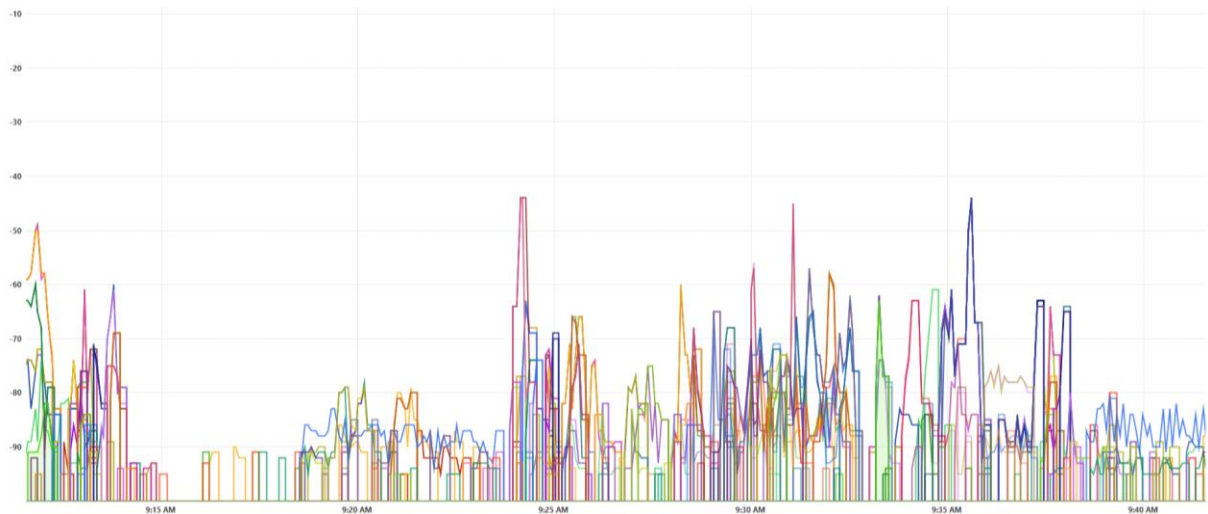
Banda de 5GHz:

Para esta red se evidencio un total de 166 canales emitiendo de diferentes AP's.

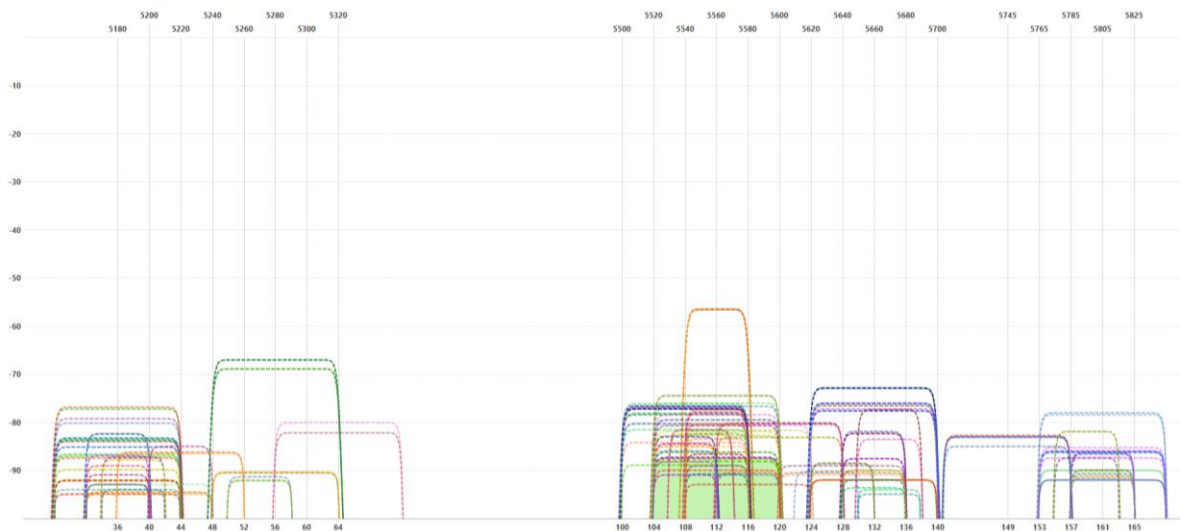
✓	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
✓	WUSTA	F8:E7:1E:DE:20:BC			-	-	-96	-63	-88		5	112	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	7 m 26 s ...
✓	WUSTA	F8:E7:1E:DD:FD:5C			-	-	-96	-58	-87		5	132	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	2 m 39 s ...
✓	WDIRUSTA	F8:E7:1E:5E:20:BC			-	-	-96	-62	-87		5	112	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	7 m 26 s ...
✓	WDIRUSTA	F8:E7:1E:5D:FD:5C			-	-	-96	-58	-83		5	132	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	1 m 13 s ...
✓	WADMON	F8:E7:1E:1E:20:BC			-	-	-96	-62	-88		5	112	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	4 m 50 s ...
✓	WADMON	F8:E7:1E:1D:FD:5C			-	-	-96	-58	-84		5	132	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	2 m 49 s ...
✓	WADMON	F0:80:52:FB:5F:0C			-	-	-96	-88	-89		5	128	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 m 54 s ...
✓	WUSTA	F0:80:52:FB:5E:2C			-	-	-96	-59	-69		5	56	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	5 m 20 s ...
✓	WUSTA	F0:80:52:FB:5D:6C			-95	1	-96	-60	-88		5	161	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 s ago
✓	WUSTA	F0:80:52:FB:5C:BC			-	-	-96	-74	-85		5	161	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	7 m 9 s ago
✓	WUSTA	F0:80:52:FA:35:BC			-	-	-96	-74	-84		5	36	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	16 m 4 s ...
✓	PROYECTOUSTA	F0:80:52:BB:5F:0C			-	-	-96	-90	-91		5	128	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 m 54 s ...
✓	WUSTA	F0:80:52:BB:3F:3C			-	-	-96	-46	-83		5	112	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	9 m 32 s ...
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:5F:0C			-	-	-96	-90	-91		5	128	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 m 54 s ...
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:5E:2C			-	-	-96	-60	-67		5	56	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	6 m 19 s a...
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:5D:6C			-94	2	-96	-61	-87		5	161	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 s ago
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:5C:BC			-	-	-96	-74	-78		5	161	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	7 m 21 s a...
✓	WUSTA	F0:80:52:7B:5C:AC			-	-	-96	-93	-93		5	116	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	12 m 8 s a...
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7B:3F:3C			-	-	-96	-45	-81		5	112	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	9 m 37 s ...
✓	WDIRUSTA	F0:80:52:7A:35:BC			-	-	-96	-74	-84		5	36	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	16 m 4 s ...
✓	WUSTA	F0:80:52:3B:5F:0D			-	-	-96	-87	-89		5	128	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 m 54 s ...
✓	Rectoria	F0:80:52:3B:5F:0C			-	-	-96	-88	-91		5	128	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 m 54 s ...
✓	WADMON	F0:80:52:3B:5E:2C			-	-	-96	-60	-67		5	56	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	6 m 19 s a...
✓	Robotica USTA	F0:80:52:3B:5D:6C			-95	1	-96	-60	-88		5	161	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 s ago
✓	WADMON	F0:80:52:3B:5C:BC			-	-	-96	-74	-79		5	161	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	7 m 21 s a...
✓	WADMON	F0:80:52:3B:3F:3C			-	-	-96	-45	-79		5	112	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	9 m 37 s ...
✓	WADMON	F0:80:52:3A:35:BC			-	-	-96	-74	-85		5	36	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	16 m 4 s ...
✓	IA	D4:C1:9E:F6:8C:8D			-	-	-96	-44	-77		5	108	80	Ruckus	WPA2 Personal	ac	3 m 29 s ...

**Tabla 6. Escaneo de las redes inalámbricas de la USTA.
Tomado de Netspot.**





**Grafica 16. Señal de las redes inalámbrica, potencia (dB) vs tiempo (30 min).
Tomado de Netspot.**



**Grafica 17. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.**

Como se observa en los resultados para ambas bandas, se muestra que en la banda de 5GHz todavía existe algo de disponibilidad comparado el radio de 2.4GHz, por ende, desplegar, rediseñar, y ubicar más AP's que funcionen bajo el radio 5GHz sería considerable, ya que la banda de 2.4GHz se encuentra con una saturación notable, de modo que, a futuro será inviable esta banda. También se observa que debido a la densidad de personas que tiene este entorno diariamente y su área, la salud de la red se encuentra en un estado regular y puede haber pérdidas de conexión (baja QoS) por el solapamiento y cantidad de clientes solicitando ancho de banda.



10.3 Centro comercial:

Se realizaron las tomas de muestras en el centro comercial Plaza Claro en Bogotá, el cual fue construido a mediados del 2018, tiene un estimado de 10.000 funcionarios, posee cuatro edificios y más de 90 locales (aproximadamente 150 mil metros cuadrados). Para este procedimiento no se tuvo en cuenta el edificio de Claro, el cual posee una cantidad estimada de 6.000 funcionarios.

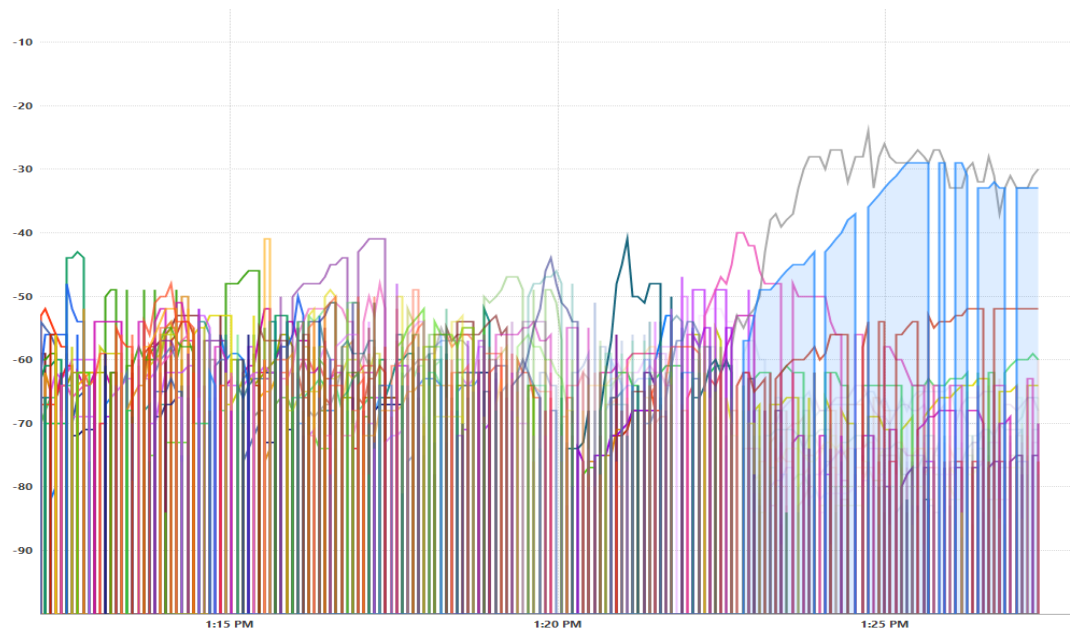
Banda de 2.4GHz:

Para esta red se evidencio un total de 348 canales emitiendo de diferentes AP's.

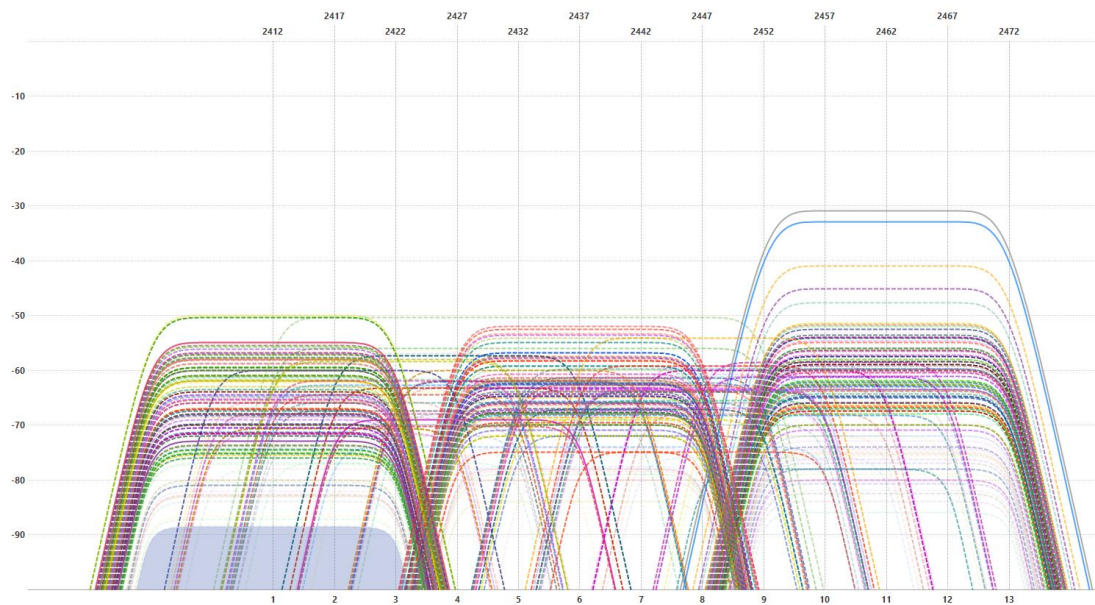
	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
	PDV	E0:55:3D:C1:73:E8			-32	74	-96	-24	-34	2.4	11	20	Cisco	WPA2 Personal	ac		2 s ago
	PDV	E0:55:3D:C1:71:5E			-52	51	-96	-52	-55	2.4	1	20	Cisco	WPA2 Personal	ac		2 s ago
	Tablets	B0:88:67:8B:CE:E0			-58	44	-96	-58	-63	2.4	1	20	Hewlett	WPA2 Personal	n		2 s ago
	SKYZONECAJAS	EC:1A:59:83:93:5A			-62	40	-96	-40	-57	2.4	1	20	Belkin	WPA2 Personal	n		2 s ago
	Colpatría #SoyDigital	B0:88:67:8B:CE:E1			-62	40	-96	-53	-63	2.4	1	20	Hewlett	Open	n		2 s ago
	SkyZone	60:D0:2C:32:22:E8			-67	34	-96	-51	-66	2.4	4	20	Ruckus	WPA2 Personal	n		2 s ago
	Keraltty_Invitados	00:BE:75:98:F:C81			-70	30	-96	-70	-72	2.4	6	20	Cisco	Open	n		2 s ago
	HuaweiDining	4CED:DE:E4:1B:D2			-71	29	-96	-64	-68	2.4	6 + 1	40	ASKEY	WPA2 Personal	n		2 s ago
	EstePencote	00:23:69:AA:87:AD			-72	28	-96	-66	-71	2.4	1	20	Cisco-Linksys	WEP	n		2 s ago
	VALUG.DC	60:DE:F3:5B:A1:E0			-74	26	-96	-57	-68	2.4	2	20	HUAWEI	WPA2 Personal	n		2 s ago
	Moviles	00:EB:D5:9A:74:20			-74	26	-96	-74	-76	2.4	11	20	Cisco	Open	n		2 s ago
	Gonorrrea compre inte...	88:10:8F:09:5A:12			-74	26	-96	-74	-78	2.4	6	20	HUAWEI	WPA2 Personal	n		2 s ago
	DIRECT-IFDESKTOP-S...	26:C8:3B:4B:B2:5E			-76	23	-96	-76	-79	2.4	11	20	-	WPA2 Personal	n		2 s ago
	CL_INV	00:EB:D5:9A:74:23			-76	23	-96	-73	-76	2.4	11	20	Cisco	WPA2 Personal	n		2 s ago
	Moviles	00:EB:D5:9A:74:E0			-78	21	-96	-75	-78	2.4	6	20	Cisco	Open	n		2 s ago
	Colaboradores	00:EB:D5:9A:74:24			-78	21	-96	-73	-76	2.4	11	20	Cisco	WPA2 Enterprise	n		2 s ago
	Colaboradores	00:EB:D5:9A:74:E4			-79	20	-96	-77	-78	2.4	6	20	Cisco	WPA2 Enterprise	n		2 s ago
	CL_INV	00:EB:D5:9A:74:E3			-79	20	-96	-77	-79	2.4	6	20	Cisco	WPA2 Personal	n		2 s ago
	Moviles	00:6C:BC:0D:A3:70			-80	19	-96	-75	-77	2.4	1	20	Cisco	Open	n		2 s ago
	Colaboradores	00:6C:BC:0D:A3:74			-83	15	-96	-78	-81	2.4	1	20	Cisco	WPA2 Enterprise	n		2 s ago
	wonder nailiss	28:84:48:C9:93:04			-	-	-96	-64	-69	2.4	2	20	HUAWEI	WPA2 Personal	n		10 m 10 s ...
	wlanaccessv2.0	50:1D:93:9A:F5:C0			-	-	-96	-70	-72	2.4	1	20	HUAWEI	WPA2 Enterprise	ac		3 m 3 s ago
	wlanaccessv2.0	50:1D:93:9A:F5:A0			-	-	-96	-68	-71	2.4	6	20	HUAWEI	WPA2 Enterprise	ac		1 m 58 s ago
	WirelessNet	FC:BC:D1:CF:B2:80			-	-	-96	-53	-62	2.4	5	20	-	WPA2 Personal	n		7 m 39 s ago
	WirelessNet	FC:BC:D1:CF:B2:8C			-	-	-96	-60	-60	2.4	2	20	-	WPA2 Personal	n		14 m 32 s ago
	WirelessNet	F4:1D:6B:45:63:F8			-	-	-96	-80	-80	2.4	1	20	-	WPA2 Personal	n		5 m 28 s ago
	WirelessNet	C4:FF:1F:E4:D3:3C			-	-	-96	-52	-54	2.4	8	20	HUAWEI	WPA2 Personal	n		15 m 22 s ago
	WirelessNet	A4:8:05:78:00:00:00:00			-	-	-96	-78	-78	2.4	11	20	-	WPA2 Personal	n		13 m 18 s ago

Tabla 7. Escaneo de las redes inalámbricas del centro comercial Plaza Claro.
Tomado de Netspot.





**Grafica 18. Señal de las redes inalámbrica, potencia (dB) vs tiempo (30 min).
Tomado de Netspot.**



**Grafica 19. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.**

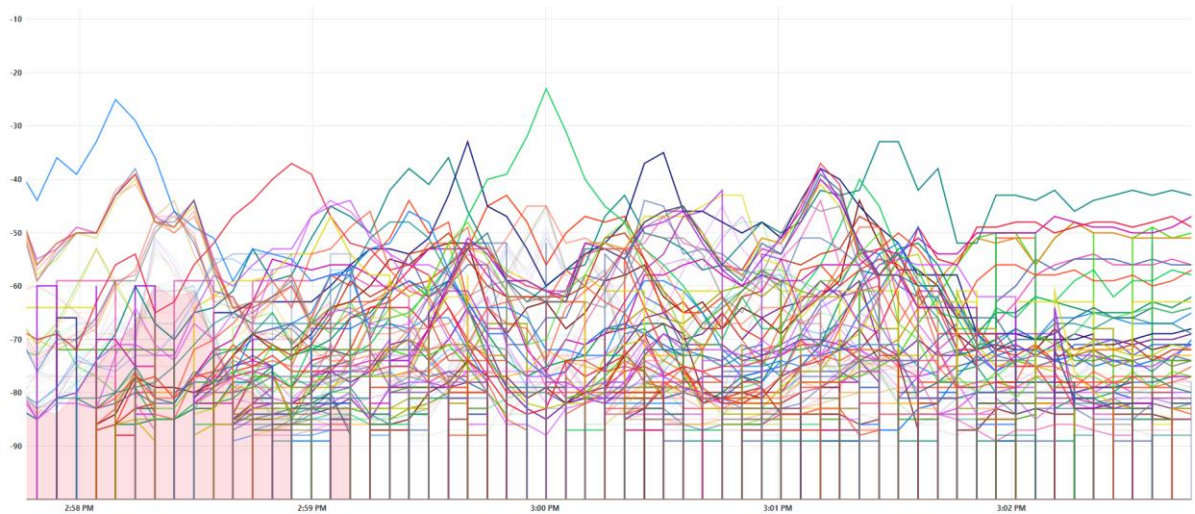


Banda de 5GHz:

Para esta red se evidencio un total de 454 canales emitiendo de diferentes AP's.

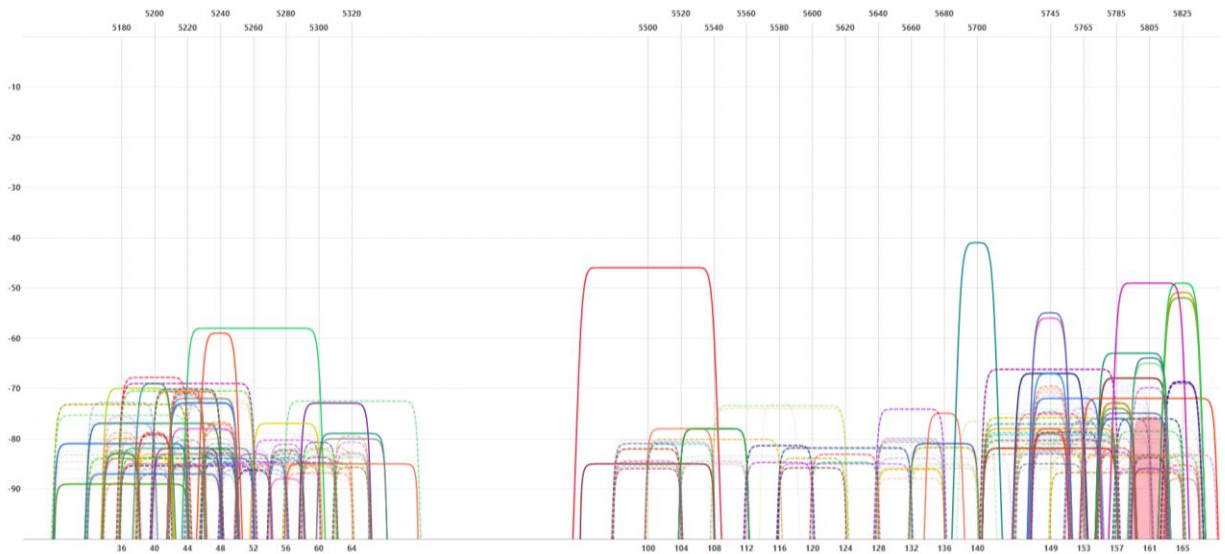
	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
☐	Alfa	E6:CB:AC:4A:DF:7F			-	-	-96	-79	-79		5	153	40	-	WPA2 Personal	ac	3 m 22 s ..
☐	Experiencia Cinepolis	E6:55:2D:C1:73:E8			-	-	-96	-43	-69		5	44	80	-	Open	ac	2 m 36 s ..
☐	TECNOLOGIA)	E4:5B:E7:4C:E6:BF			-	-	-96	-57	-75		5	36	80	Samsung	WPA2 Personal	ac	20 s ago
☐	Carulla Wifi Gratis	E2:CB:AC:96:F3:34			-	-	-96	-74	-79		5	40	40	-	Open	ac	1 m 46 s ..
☐	Carulla Wifi Gratis	E2:CB:AC:96:E5:68			-	-	-96	-51	-69		5	157	40	-	Open	ac	15 s ago
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:90:82:8F			-	-	-96	-47	-74		5	153	20	-	Open	ac	20 s ago
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:90:82:5A			-	-	-96	-48	-77		5	140	20	-	Open	ac	20 s ago
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:90:82:25			-89	8	-96	-44	-76		5	56	20	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:90:AD:26			-	-	-96	-45	-76		5	36	20	-	Open	ac	20 s ago
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:90:AD:13			-76	23	-96	-48	-75		5	108	40	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:90:AA:F4			-	-	-96	-44	-73		5	44	20	-	Open	ac	5 s ago
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BF:F8:77			-81	17	-96	-44	-75		5	157	40	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BF:F8:22			-	-	-96	-47	-74		5	157	20	-	Open	ac	5 s ago
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BF:F8:0C			-70	30	-96	-48	-75		5	40	20	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BF:F7:FF			-71	29	-96	-46	-74		5	149	20	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BE:78:C2			-78	21	-96	-46	-76		5	136	20	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BE:78:BE			-83	15	-96	-44	-73		5	52	20	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BE:77:A8			-62	40	-96	-44	-70		5	161	20	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BE:0F:E8			-78	21	-96	-49	-76		5	104	40	-	Open	ac	now
☐	INVITADOS_TECNOCL...	E2:CB:AC:BE:0F:DC			-56	47	-96	-44	-74		5	48	20	-	Open	ac	now
☐	Comite Presidencia	E2:CB:AC:BE:0F:02			-	-	-96	-74	-85		5	36	80	-	WPA2 Personal	ac	30 s ago
☐	WIFI Plaza Claro.	E2:CB:AC:BE:0E:EE			-64	37	-96	-23	-70		5	52	80	-	Open	ac	now
☐	uVendor	E2:CB:AC:BA:DE:5A			-	-	-96	-37	-71		5	44	20	-	WPA2 Personal	ac	10 s ago
☐	uVendor	E2:CB:AC:BA:DE:1C			-	-	-96	-44	-75		5	149	20	-	WPA2 Personal	ac	20 s ago
☐	uVendor	E2:CB:AC:BA:DE:05			-	-	-96	-61	-77		5	161	20	-	WPA2 Personal	ac	30 s ago
☐	uVendor	E2:CB:AC:BA:DD:F9			-	-	-96	-53	-76		5	157	20	-	WPA2 Personal	ac	45 s ago
☐	WIFI Plaza Claro.	E2:CB:AC:BA:D3:1F			-50	53	-96	-32	-56		5	161	40	-	Open	ac	now
☐	WIFI Plaza Claro.	E2:CB:AC:BA:D3:16			-49	55	-96	-31	-64		5	100	80	-	Open	ac	now

**Tabla 8. Escaneo de las redes inalámbricas del centro comercial Plaza Claro.
Tomado de Netspot.**



**Grafica 20. Señal de las redes inalámbrica, potencia (dB) vs tiempo (5 min).
Tomado de Netspot.**





**Gráfica 21. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.**

Se evidencia una densa cantidad de AP's emitiendo en las diferentes zonas del centro comercial, pero se concluye que el estado actual de las redes inalámbricas públicas y privadas, están bien gestionadas y localizadas según la densidad de clientes y el área total del centro comercial, a pesar del solapamiento que se evidencia, se demuestra que el diseño de la red está bien planteado y que según el lugar donde se encuentre el cliente, puede haber una leve pero no muy representativa congestión en la red.

10.4 Conjunto residencial:

Se realizaron las tomas de datos en un conjunto cerrado, el cual posee 84 viviendas y un aproximado de 200 residentes.

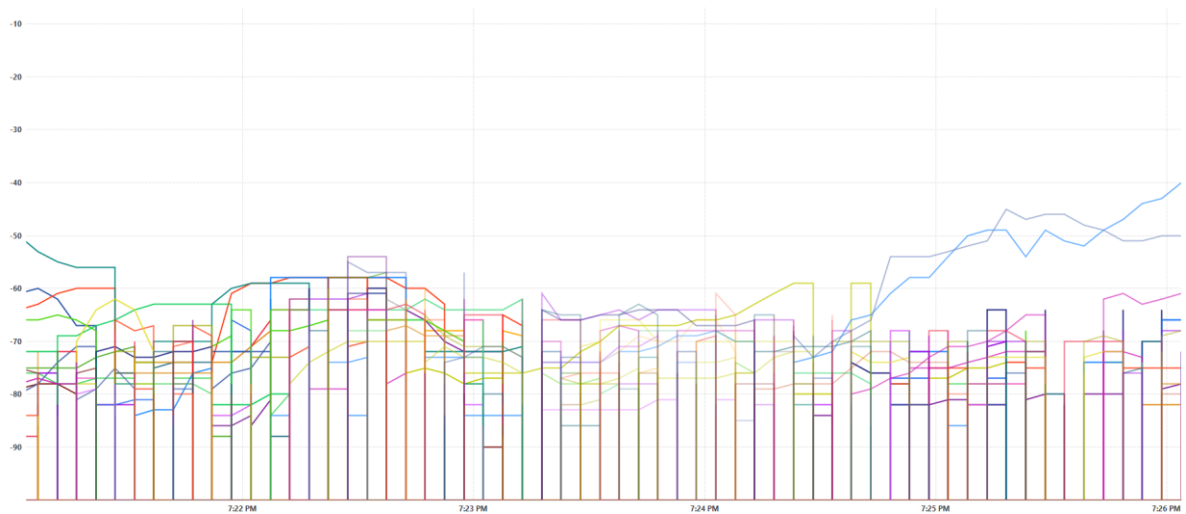
Banda de 2.4GHz:

Para esta red se evidenció un total de 256 canales emitiendo de diferentes AP's.



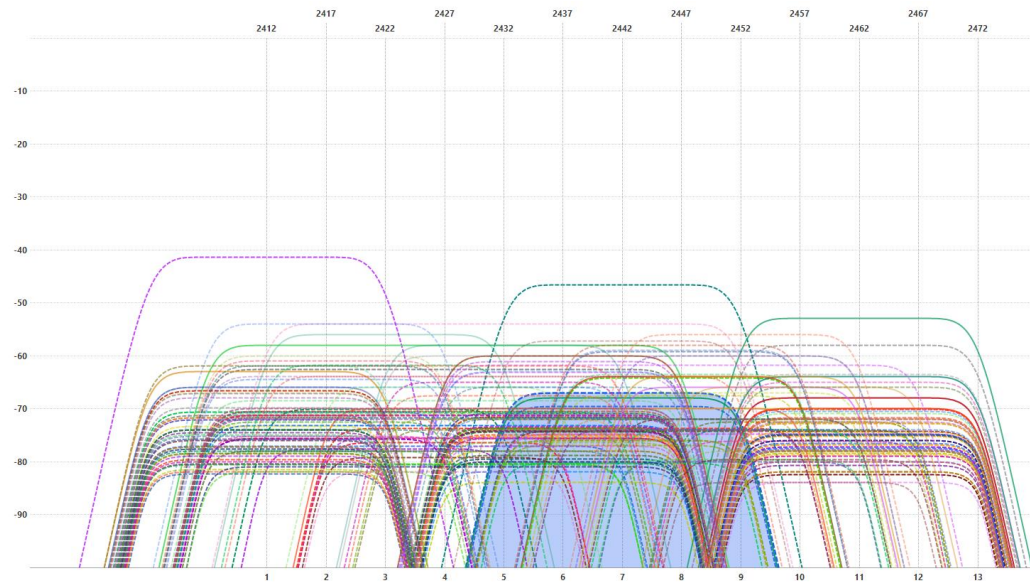
✓	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
✓	FAMIPITUFO	10:5B:AD:F0:69:13			-	-	-96	-86	-86		2.4	11	20	Mega	WPA2 Personal	n	1 m 5 s ago
✓	FamiliaVargasSantis	AC:64:62:E3:48:4E			-	-	-96	-72	-73		2.4	6	20	zte	WPA2 Personal	n	2 m 36 s ...
✓	FamiliaLeliez2	C4:A3:66:FF:9B:12			-	-	-96	-80	-80		2.4	1	20	zte	WPA2 Personal	n	2 m 11 s a...
✓	FAMILIASUAREZ	44:32:CB:25:41:52			-	-	-96	-80	-81		2.4	9	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	2 m 21 s a...
✓	FAMILIAOJEDA	E4:77:23:74:3F:E4			-	-	-96	-71	-74		2.4	2	20	zte	WPA2 Personal	n	1 m 0 s ago
✓	FAMILIAGONZALEZ	8C:09:F4:8A:38:50			-	-	-96	-80	-80		2.4	9	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	45 s ago
✓	familia cm	00:18:F8:73:8B:24			-	-	-96	-62	-63		2.4	6	20	Cisco-Linksys	WPA Personal	n	1 m 31 s a...
✓	FamiliaBonilla	D0:60:8C:FA:4C:3A			-	-	-96	-64	-64		2.4	9	20	zte	WPA2 Personal	n	1 m 51 s a...
✓	FamiliaArenas	88:F7:C7:9D:56:9F			-	-	-96	-90	-90		2.4	6	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	3 m 52 s ...
✓	FamiliaAlarcon	AC:64:62:E2:CB:EC			-	-	-96	-70	-70		2.4	1	20	zte	WPA2 Personal	n	4 m 47 s ...
✓	familia_quesada	BC:3E:07:1D:D4:68			-	-	-96	-64	-64		2.4	11	20	Hitron	WPA2 Personal	n	1 m 36 s a...
✓	FAMILIA_FERRERE	C4:A3:66:FD:81:6A			-	-	-96	-67	-70		2.4	7	20	zte	WPA2 Personal	n	20 s ago
✓	FAMILIA_AMARIS	80:4E:26:AB:7E:1A			-	-	-96	-55	-68		2.4	6 + 1	40	TP-LINK	WPA2 Personal	n	1 m 10 s a...
✓	Familia Vargas	60:14:B3:E8:B1:50			-	-	-96	-78	-79		2.4	1	20	CyberTAN	WPA2 Personal	n	2 m 46 s ...
✓	FAMILIA VANEGAS C	44:32:CB:93:0C:A4			-	-	-96	-76	-76		2.4	9	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	5 s ago
✓	FAMILIA TORRES	84:4B:F5:18:D6:77			-	-	-96	-78	-83		2.4	11	20	Hon	WPA2 Personal	n	2 m 16 s a...
✓	FAMILIA RADA ARIZA	60:E3:27:EB:98:CC			-	-	-96	-58	-78		2.4	8 - 1	40	TP-LINK	WPA2 Personal	n	1 m 51 s a...
✓	Familia Perez Perez	F4:8B:A7:D3:C6:06			-	-	-96	-74	-74		2.4	5	20	zte	WPA2 Personal	n	3 m 46 s ...
✓	FAMILIA MOLINA 1	0C:37:47:B1:70:0E			-	-	-96	-70	-76		2.4	1	20	zte	WPA2 Personal	n	2 m 1 s ago
✓	FAMILIA MENDOZA	44:32:CB:DE:77:60			-	-	-96	-67	-74		2.4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	2 m 21 s a...
✓	Familia Gi	F8:ED:A5:52:3B:C0			-	-	-96	-83	-83		2.4	6	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	2 m 41 s ...
✓	Familia Dussan	88:5D:F8:A0:F6:7C			-	-	-96	-66	-76		2.4	11	20	zte	WPA2 Personal	n	2 m 11 s a...
✓	FAMILIA CARDONA	88:F7:C7:D5:AC:2B			-	-	-96	-62	-66		2.4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	2 m 6 s ago
✓	FAMILIA CAMPOS	30:B5:C2:A3:4C:CE			-	-	-96	-66	-75		2.4	11	20	TP-LINK	WPA2 Personal	n	2 m 11 s a...
✓	FAMILIA BARRETO	F0:F2:49:2A:E9:88			-	-	-96	-58	-63		2.4	1 + 1	40	Hitron	WPA2 Personal	n	1 m 31 s a...
✓	Familia Alvarado	98:6B:3D:04:40:C0			-	-	-96	-72	-77		2.4	11	20	ARRIS	WPA2 Personal	n	2 m 46 s ...
✓	Familia Aguilar	30:99:35:EA:D3:4A			-	-	-96	-66	-67		2.4	1	20	zte	WPA2 Personal	n	1 m 36 s a...
✓	FAMILIA SUAREZ 1	34:21:09:62:57:21			-	-	-96	-74	-75		2.4	6 - 1	40	Jensen	WPA2 Personal	n	2 m 26 s ...

**Tabla 9. Escaneo de las redes inalámbricas del conjunto residencial.
Tomado de Netspot.**



**Grafica 22. Señal de las redes inalámbrica, potencia (dB) vs tiempo (5 min).
Tomado de Netspot.**





Gráfica 23. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.

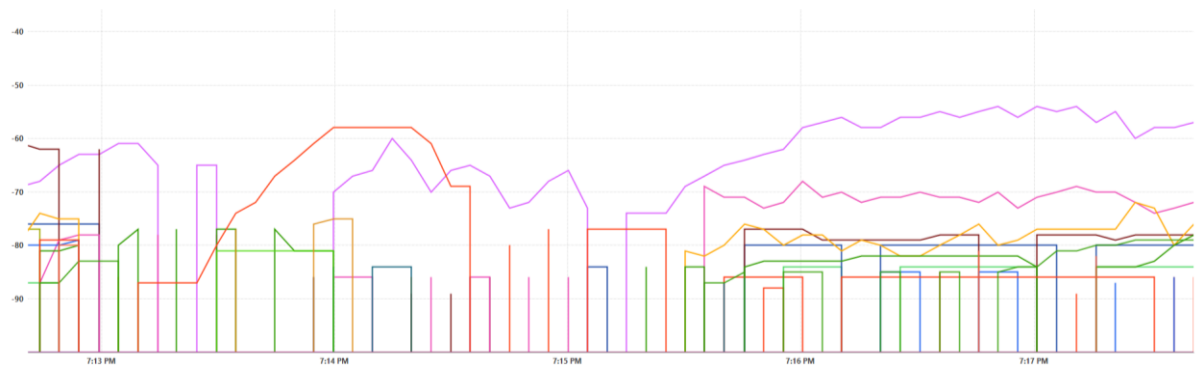
Banda de 5GHz:

Para esta red se evidencio un total de 48 canales emitiendo de diferentes AP's.

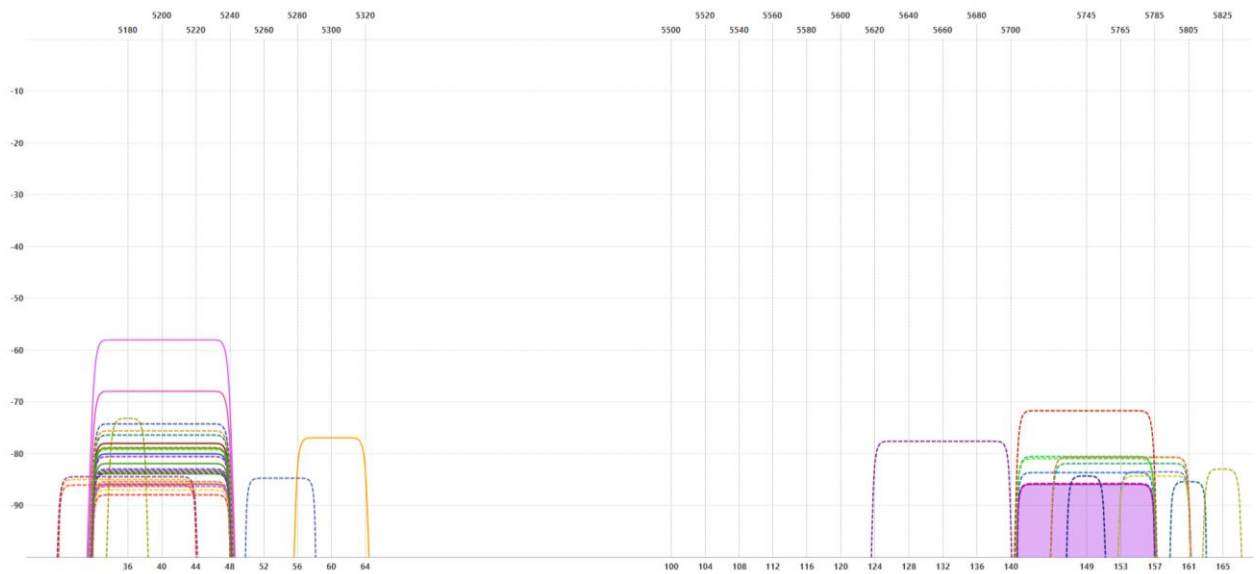
✓	SSID	BSSID	Alias	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
✓	BurbanoPaola	34:21:09:5F:C7:94			-58	44	-96	-56	-73		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	now
✓	BurbanoPaola	34:21:09:5F:C7:9C			-72	28	-96	-68	-81		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	now
✓	yesid fernando	34:21:09:62:48:64			-79	20	-96	-53	-71		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	now
✓	Tenda_C65065_5G	04:95:E6:C6:50:65			-79	20	-96	-74	-83		5	60	40	Tenda	WPA2 Personal	ac	now
✓	FAMILIA SUAREZ 1	34:21:09:62:57:24			-82	16	-96	-77	-84		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	now
✓	Sagan_5G	40:31:3C:0F:42:AE			-86	12	-96	-79	-85		5	149	80	XIAOMI	WPA2 Personal	ac	now
✓	wirelessunal	2C:33:11:D4:04:AE			-	-	-96	-83	-83		5	165	20	Cisco	Open	ac	21 m 14 s ...
✓	Wifi-5	34:21:09:62:77:D4			-	-	-96	-83	-85		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	10 s ago
✓	Wifi GM	1C:F2:9A:F8:DE:59			-	-	-96	-85	-86		5	36	80	Google	WPA2 Personal	ac	7 m 18 s a...
✓	VIDEORECOM	F2:9F:C2:DE:F1:FC			-	-	-96	-82	-84		5	157	40	-	WPA2 Personal	ac	7 m 8 s ago
✓	VALENTINAWIFI	CC:2D:21:16:64:9C			-	-	-96	-78	-79		5	40	80	Tenda	WPA2 Personal	ac	8 m 58 s ...
✓	VALENTINAWIFI	CC:2D:21:16:64:94			-	-	-96	-72	-77		5	40	80	Tenda	WPA2 Personal	ac	14 m 21 s ...
✓	Valdivia	E4:6F:13:3D:E8:FE			-	-	-96	-81	-81		5	149	80	D-Link	WPA2 Personal	ac	2 m 16 s a...
✓	SUPER_VIRUS	10:BE:F5:D4:CB:BA			-	-	-96	-80	-81		5	153	80	D-Link	WPA2 Personal	ac	14 m 16 s ...
✓	SUAREZ ROA	34:21:09:5F:A7:64			-	-	-96	-88	-88		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	8 m 58 s ...
✓	sc-e318	3C:17:10:E8:E3:1F			-	-	-96	-52	-78		5	132	80	Sagemcom	WPA2 Personal	ac	14 m 1 s a...
✓	Sandra y Silvana	34:21:09:62:7F:AC			-	-	-96	-83	-84		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	14 m 41 s ...
✓	Rafael Nuñez AC 5Ghz	60:3B:E0:85:75:4D			-	-	-96	-72	-84		5	40	80	Belkin	WPA2 Personal	ac	4 m 1 s ago
✓	RADIOCABLE	00:0F:92:FE:07:79			-	-	-96	-83	-84		5	149	20	Microhard	WPA2 Personal	ac	2 m 21 s a...
✓	PODEROSO	F0:9F:C2:DE:F1:FC			-	-	-96	-81	-84		5	157	40	Ubiquiti	WPA2 Personal	ac	7 m 8 s ago
✓	PINILLAARCILA	CC:2D:21:1E:03:35			-	-	-96	-79	-85		5	36	80	Tenda	WPA2 Personal	ac	7 m 8 s ago
✓	Omni_Lite619E00	34:21:09:61:9E:0C			-	-	-96	-77	-86		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	8 m 58 s ...
✓	Omni_Lite5D9120	34:21:09:5D:91:2C			-	-	-96	-87	-87		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	21 m 29 s ...
✓	Omni_Lite547560	34:21:09:54:75:6C			-	-	-96	-75	-80		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	8 m 53 s ...
✓	Omni_Lite547560	34:21:09:54:75:64			-	-	-96	-83	-83		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	9 m 3 s ago
✓	LUIS91	34:21:09:54:BE:0C			-	-	-96	-75	-83		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	5 s ago
✓	LUIS91	34:21:09:54:BE:04			-	-	-96	-56	-75		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	5 s ago
✓	LaRedDeNoah	34:21:09:57:53:14			-	-	-96	-84	-86		5	40	80	Jensen	WPA2 Personal	ac	8 m 53 s ...

Tabla 10. Escaneo de las redes inalámbricas del conjunto residencial.
Tomado de Netspot.





**Grafica 24. Señal de las redes inalámbrica, potencia (dB) vs tiempo (5 min).
Tomado de Netspot.**



**Grafica 25. Espectro de las frecuencias, potencia (dB) vs canales soportados.
Tomado de Netspot.**

Para este escenario se observa que en la actualidad a nivel hogar en sitios de mayor densidad como edificios o conjuntos residenciales, el radio de 2.4GHz se encuentra sobre saturado, esto debido a la cantidad de AP's antiguos que solo funcionan bajo el estándar 802.11n o en algunos caso 802.11b o g, lo cual conduce a una red congestionada y poco viable para las actuales y futuras aplicaciones que demandan un ancho de banda considerable; de ante mano, se observa que el radio de 5GHz se encuentra disponible y sería el próximo paso a seguir para poder solucionar y mitigar el problema de solapamiento y baja QoS que se presenta en el radio 2.4GHz.



11. CONCLUSIONES

- Concluyendo que el nuevo estándar Wi-Fi 6 funciona también en las bandas 2.4GHz y 5GHz, se observa que estos dos espectros continuaran funcionando y teniendo problemas de saturación y solapamiento, siendo así, se observa que en las futuras redes inalámbricas va a ser primordial que la industria de las telecomunicaciones este bien capacitada para recibir este estándar, de esta manera pueda analizar, comprender, diseñar e implementar según los tipos de dispositivos y escenario en el que se este, a nivel de ejemplo se podría decir que los dispositivos que demandan cantidades de ancha banda considerablemente mínima como para la mayoría de dispositivos IoT, estén funcionando en la banda de 2.4GHz, mientras que dispositivos que permiten funcionalidades como streaming, realidad virtual y otras aplicaciones de mayor demanda sean ajustadas en las bandas de 5Ghz y 6GHz.
- Es necesario implementar algoritmos y técnicas que mejoren el tiempo de propagación y ancho de banda dedicado para cada usuario, de esta manera se vuelve una necesidad implementar OFDM, OFDMA, MIMO, entre otras para la protección tanto del ecosistema mundial por la mejora de eficiencia en los dispositivos en las baterías, como también para prestar una disponibilidad del servicio integra al usuario y que el siguiente nivel de calidad rendimiento en la red para el usuario sea QoE (calidad de la experiencia), los cuales comprende realidad virtual, entre otras y se convierta en una realidad.
- No es una necesidad implementar actualmente el estándar 802.11ax, ya que existen algunas alternativas en la infraestructura y diseño en las redes inalámbricas actuales como las tecnologías Wave2, OFDM, Mesh, entre otras, que permitirían mejorar y mantener la QoS mientras se realiza la transición periódicamente al nuevo estándar (mientras tanto implementar en las redes actuales considerablemente el estándar 802.11ac).



- En algunos casos el punto critico de una comunicación entre un AP y un cliente no se encuentra en el AP si no en el dispositivo final, esto se debe a que los dispositivos actuales no poseen interfaces inalámbricas con antenas lo suficientemente robustas para obtener un adecuado servicio, produciendo baja cobertura, latencia y posible perdida de conexión a la red.
- El diseño, de una red inalámbrica es primordial para la futura salud de esta, para esto se deben tener en cuenta factores como: ubicación del AP o CM, interferencias y atenuaciones del entorno, densidad de los posibles clientes, área de cobertura a trabajar, hardware del AP y sus clientes, conocer su vecindario y ubicar su actual radio de emisión en el que se encuentre con mayor disponibilidad (libre).
- Se realizaron pruebas Wi-Fi en los escenarios anteriores, con un cliente Samsung Galaxy S10, en el cual por medio de una aplicación escaneó las redes disponibles y visualizó el espectro en la banda de 6GHz; de esta manera no se evidenció ni documentó esta banda debido a que en la actualidad la falta de AP's y clientes con tecnología Wi-Fi 6 son escasos, de esta manera, se observo un espectro completamente libre.



12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] PR Newswire. (2019, Agosto 1). Comtrend Announces Its First WiFi 6 Gateway to Service Providers. *PR Newswire US*. Retribuido de: <https://search-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=bwh&AN=201908011100PR.NEWS.USPR.UN28587&lang=es&site=eds-live>.
- [2] PR Newswire. (2019, Octubre 10). Academic Institutions Embrace Aruba WiFi 6 with Turn-key Technologies, Inc. *PR Newswire US*. Retribuido de: <https://search-ebscohost-com.craiustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=bwh&AN=201910101100PR.NEWS.USPR.UN97790&lang=es&site=eds-live>
- [3] Lopez-Perez, D., Garcia-Rodriguez, A., Galati-Giordano, L., Kasslin, M., & Doppler, K. (2019). IEEE 802.11be Extremely High Throughput: The Next Generation of Wi-Fi Technology Beyond 802.11ax. *IEEE Communications Magazine*, 57(9), 113–119. Referido de: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1109/MCOM.001.1900338>
- [4] Ali, M. Z., Misic, J., & Misic, V. B. (2019). Bridging the Transition from IEEE 802.11ac to IEEE 802.11ax: Survival of EDCA in a Coexistence Environment. *IEEE Network*, 33(3), 102–107. Referido de: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1109/MNET.2019.1700224>.
- [5] Boris Bellalta. (2016, Marzo 2). High-efficiency WLANS. *IEEE Wireless Communications* (Volumen: 23, emisión: 1, febrero 2016). Retribuido de: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7422404/citations#citations>
- [6] Der-Jiunn Deng, Kwang-Cheng Chen, Rung-Shiang Cheng. (2014, Agosto 18-20). Next generation wireless local area networks. Rhodes, Greece. ISBN: 978-1-6319-0025-9. IEEE (20 octubre 2014). Retribuido de: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6928663>.
- [7] Ali, R., Kim, S. W., Kim, B.-S., & Park, Y. (2018). Design of MAC Layer Resource Allocation Schemes for IEEE 802.11ax: Future Directions. *IETE Technical Review*, 35(1), 28–52. Retribuido de: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1080/02564602.2016.1242387>
- [8] Lee, K. (2019). Performance Analysis of the IEEE 802.11ax MAC Protocol for Heterogeneous Wi-Fi Networks in Non-Saturated Conditions. *Sensors* (14248220), 19(7), 1540. Retribuido de: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.3390/s19071540>



- [9] Shubham Saloni, Achyut Hegde. (2016, Enero 22-24). WiFi-aware as a connectivity solution for IoT pairing IoT with WiFi aware technology: Enabling new proximity-based services. Pune, India. ISBN: 978-5090-0045-6. IEEE (8 septiembre 2016). Retribuido de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7562710/authors#authors>.
- [10] Kwon, D., Kim, S.-W., Kim, J., & Mohaisen, A. (2018). Interference-Aware Adaptive Beam Alignment for Hyper-Dense IEEE 802.11ax Internet-of-Things Networks. *Sensors* (14248220), 18 (10), 3364. Retribuido de: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.3390/s18103364>.
- [11] Burt, J. (2019). Extreme Networks Readies WiFi 6 Access Points. EWeek, N.PAG. ISSN: 1530-6283 Referido de: <https://search-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=134250153&lang=es&site=ehost-live>.
- [12] Ajami, A.-K., & Artail, H. (2019). Analyzing the Impact of the Coexistence with IEEE 802.11ax Wi-Fi on the Performance of DSRC Using Stochastic Geometry Modeling. *IEEE Transactions on Communications*, 67(9), 6343–6359. Retribuido de: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1109/TCOMM.2019.2923411>.
- [13] *Microwave Journal*, paginas 13–15, (2019). What's Best? Wi-Fi 6 (802.11ax) or 5G? Retribuido de: <https://search-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=136583871&lang=es&site=ehost-live>.
- [14] Shoko Shinohara, Junichi Iwatani, & Yasuhiko Inoue. (2017). Standardization of Next-generation Wireless LAN IEEE 802.11ax. *NTT Technical Review*, 15(1), 1–6. Retribuido de: <https://search-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=120884702&lang=es&site=ehost-live>
- [15] FLEISHMAN, G. (2018). Wi-Fi gets quicker with 802.11ax, but buying early might offer few advantages. *Macworld - Digital Edition*, 35(6), 104–111. Retribuido de: <https://search-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=129801187&lang=es&site=ehost-live>
- [16] Naciones unidas. 2015. Acuerdo de Paris. Retribuido de: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf, articulo 1 punto a.

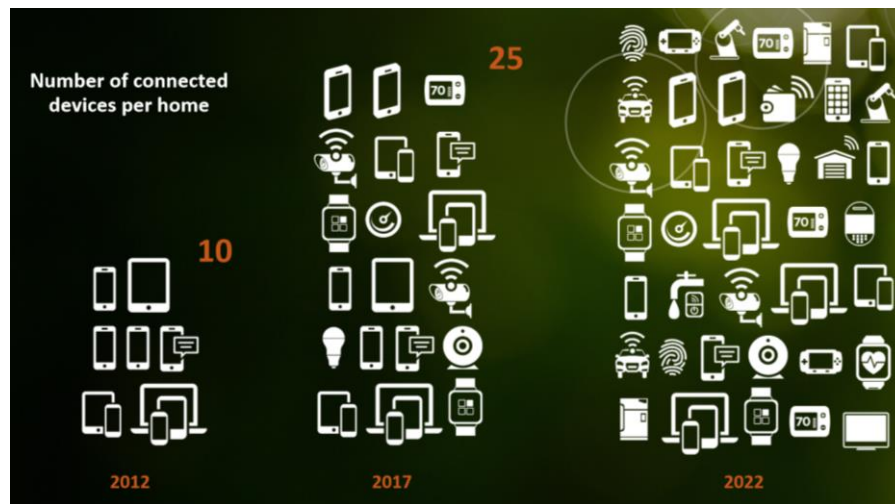


[17] Roberto Fuhr (2019). Referido de: <https://borealtech.com/802-11-ac-wave-2-la-nueva-generacion/>.

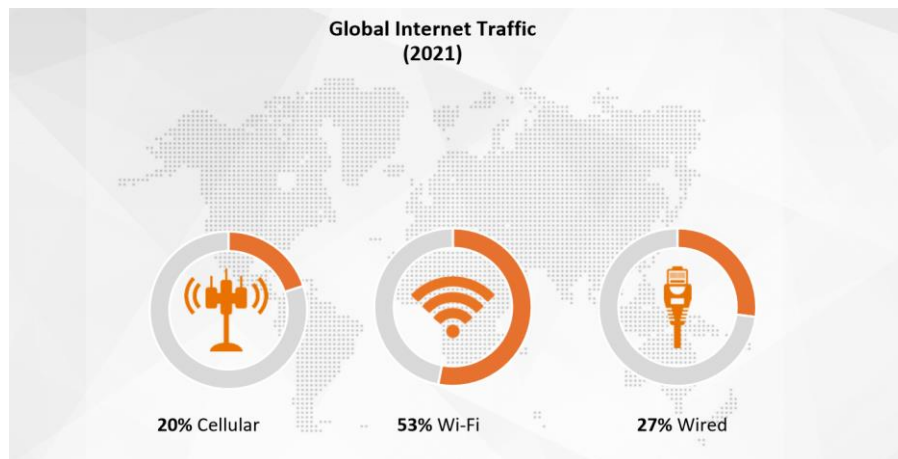
[18] Orthogonal Frequency Division Multiple Access: is it the multiple access system of the future?, S. Srikanth, V. Kumaran, C. Manikandan et al., AU-KBC Research Center, Anna University, India.



13. ANEXOS



Anexo A. Numero de dispositivos conectados por casa (USA).
Tomado de (GSMA: the impact of the internet of things, the connected home).



Anexo B. Pronóstico de uso del internet en el 2021.
Tomado de (Strategy Analytics, Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, enero 2018).





Anexo C. Acumulado de dispositivos comprados.
Tomado de (Wi-Fi Alliance. Alli Research, enero del 2018).

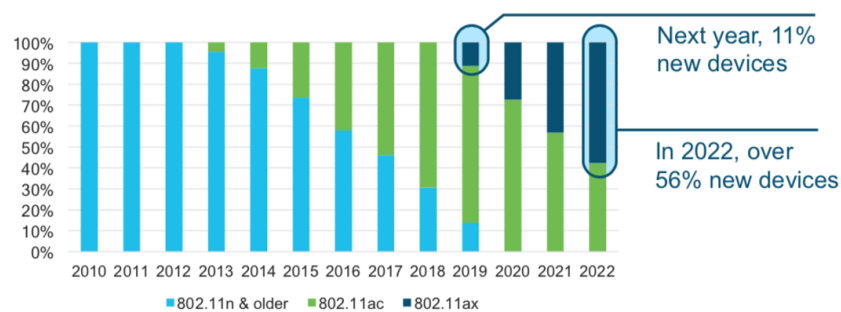
According to the Organization for Economic Cooperation and Development, the average family of four has 10 wireless connected devices

The cross-government trade group estimates that number will reach 50 by 2022

All these devices will compete for the same bandwidth, over the same connection.



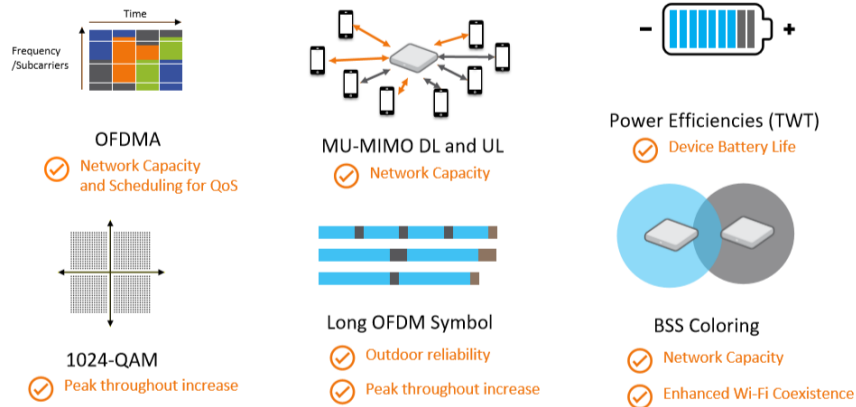
Anexo D. Hiperconectividad en los hogares.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Technicolor 2019).



Anexo E. Crecimiento exponencial en dispositivos terminales Wi-Fi, en los siguientes años.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Technicolor 2019, vía WI-FI NOW).



Wi-Fi 6 building blocks & benefits



27% more improvement even with Wi-Fi 5 clients ; 4x more improvement in all Wi-Fi 6 environment

**Anexo F. Beneficios de la implementación de Wi-Fi6.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Commscope 2019).**

MCS : Index											
802.11n						802.11ac					
HT MCS Index	Spatial Streams	Modulation & Coding	Data Rate GI = 800ns 20MHz	Data Rate SGI = 400ns 20MHz	Data Rate GI = 800ns 40MHz	Data Rate SGI = 400ns 40MHz	Data Rate GI = 800ns 80MHz	Data Rate SGI = 400ns 80MHz	Data Rate GI = 800ns 160MHz	Data Rate SGI = 400ns 160MHz	VHT MCS Index
0	1	BPSK 1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65	0
1	1	QPSK 1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130	1
2	1	QPSK 3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195	2
3	1	16-QAM 1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260	3
4	1	16-QAM 3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390	4
5	1	64-QAM 2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520	5
6	1	64-QAM 3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585	6
7	1	64-QAM 5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650	7
	1	256-QAM 3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780	8
	1	256-QAM 5/6	n/a	n/a	180	200	390	433.3	780	866.7	9
8	2	BPSK 1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130	0
9	2	QPSK 1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260	1
10	2	QPSK 3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390	2
11	2	16-QAM 1/2	52	57.8	108	120	234	260	468	520	3
12	2	16-QAM 3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780	4
13	2	64-QAM 2/3	104	115.6	216	240	468	520	936	1040	5
14	2	64-QAM 3/4	117	130.3	243	270	526.5	585	1053	1170	6
15	2	64-QAM 5/6	130	144.4	270	300	585	650	1170	1300	7
	2	256-QAM 3/4	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560	8
	2	256-QAM 5/6	n/a	n/a	360	400	780	866.7	1560	1733.3	9
16	3	BPSK 1/2	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195	0
17	3	QPSK 1/2	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390	1
18	3	QPSK 3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585	2
19	3	16-QAM 1/2	78	86.7	162	180	351	390	702	780	3
20	3	16-QAM 3/4	117	130	243	270	526.5	585	1053	1170	4
21	3	64-QAM 2/3	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560	5

Anexo G. Tabla de índice de modulación y codificación del estándar 802.11n y 802.11ac para 1, 2 y 3 streams espaciales.

Tomado de (<http://mcsindex.com/>)



MCS Table (HT/VHT/HE) : MCS Table HE

MCS Index	Spatial Stream	Modulation	Coding	OFDM (802.11ax)											
				20MHz			40MHz			80MHz			160MHz		
				0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI
0	1	BPSK	1/2	8.6	8.1	7.3	17.2	16.3	14.6	36	34	30.6	72.1	68.1	61.3
1	1	QPSK	1/2	17.2	16.3	14.6	34.4	32.5	29.3	72.1	68.1	61.3	144.1	136.1	122.5
2	1	QPSK	3/4	25.8	24.4	21.9	51.6	48.8	43.9	108.1	102.1	91.9	216.2	204.2	183.8
3	1	16-QAM	1/2	34.4	32.5	29.3	68.8	65	58.5	144.1	136.1	122.5	288.2	272.2	245
4	1	16-QAM	3/4	51.6	48.8	43.9	103.2	97.5	87.8	216.2	204.2	183.8	432.4	408.3	367.5
5	1	64-QAM	2/3	68.8	65	58.5	137.6	130	117	288.2	272.2	245	576.5	544.4	490
6	1	64-QAM	3/4	77.4	73.1	65.8	154.9	146.3	131.6	324.3	306.3	275.6	648.5	612.5	551.3
7	1	64-QAM	5/6	86	81.3	73.1	172.1	162.5	146.3	360.3	340.3	306.3	720.6	680.6	612.5
8	1	256-QAM	3/4	103.2	97.5	87.8	206.5	195	175.5	432.4	408.3	367.5	864.7	816.7	735
9	1	256-QAM	5/6	114.7	108.3	97.5	229.4	216.7	195	480.4	453.7	408.3	960.8	907.4	816.7
10	1	1024-QAM	3/4	129	121.9	109.7	258.1	243.8	219.4	540.4	510.4	459.4	1080.9	1020.8	918.8
11	1	1024-QAM	5/6	143.4	135.4	121.9	286.8	270.8	243.8	600.5	567.1	510.4	1201	1134.3	1020.8
0	2	BPSK	1/2	17.2	16.3	14.6	34.4	32.5	29.3	72.1	68.1	61.3	144.1	136.1	122.5
1	2	QPSK	1/2	34.4	32.5	29.3	68.8	65	58.5	144.1	136.1	122.5	288.2	272.2	245
2	2	QPSK	3/4	51.6	48.8	43.9	103.2	97.5	87.8	216.2	204.2	183.8	432.4	408.3	367.5
3	2	16-QAM	1/2	68.8	65	58.5	137.6	130	117	288.2	272.2	245	576.5	544.4	490
4	2	16-QAM	3/4	103.2	97.5	87.8	206.5	195	175.5	432.4	408.3	367.5	864.7	816.7	735
5	2	64-QAM	2/3	137.6	130	117	275.3	260	234	576.5	544.4	490	1152.9	1088.9	980
6	2	64-QAM	3/4	154.9	146.3	131.6	309.7	292.5	263.3	648.5	612.5	551.3	1297.1	1225	1102.5
7	2	64-QAM	5/6	172.1	162.5	146.3	344.1	325	292.5	720.6	680.6	612.5	1441.2	1361.1	1225
8	2	256-QAM	3/4	206.5	195	175.5	412.9	390	351	864.7	816.7	735	1729.4	1633.3	1470
9	2	256-QAM	5/6	229.4	216.7	195	458.8	433.3	390	960.8	907.4	816.7	1921.6	1814.8	1633.3
10	2	1024-QAM	3/4	258.1	243.8	219.4	516.2	487.5	438.8	1080.9	1020.8	918.8	2161.8	2041.7	1837.5
11	2	1024-QAM	5/6	286.8	270.8	243.8	573.5	541.7	487.5	1201	1134.3	1020.8	2402	2268.5	2041.7

Anexo H. Tabla de índice de modulación y codificación del estándar 802.11ax para 1 y 2 streams espaciales para OFDM.

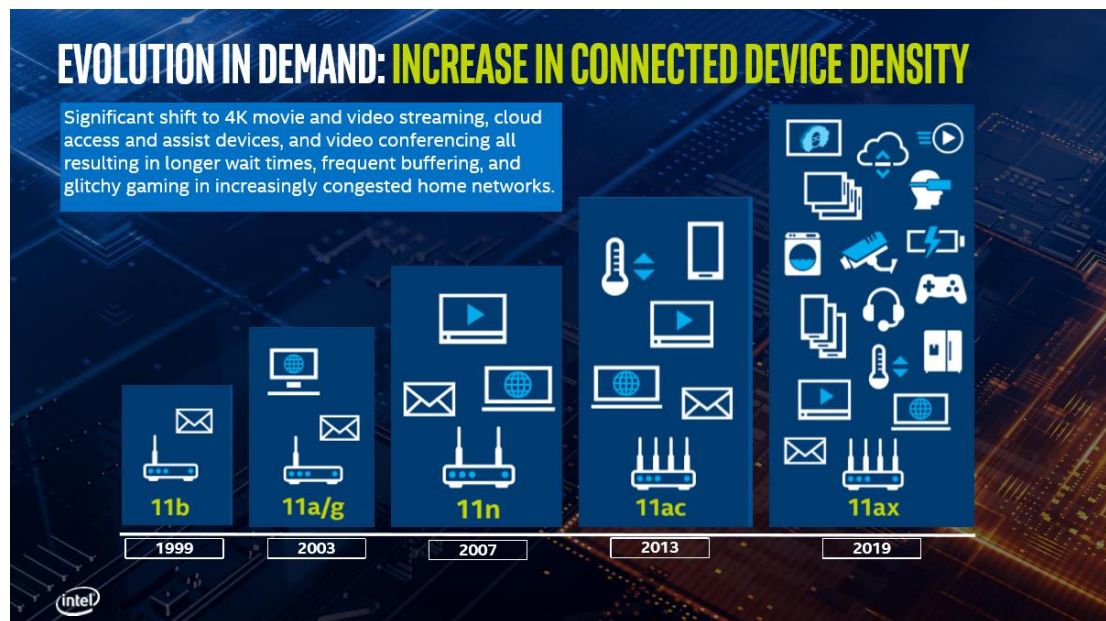
Tomado de (https://docs.google.com/spreadsheets/d/e/2PACX-1vQXoEYLGWwR1aGyGaTXOOaDQSPLfeC4rv70KRFuRP6eZ5fL-Ku_YI6DgS6zZMNyIhQpQmnKQ1O7abij/pubhtml?gid=381862114&single=true).

MU-OFDMA (802.11ax)																	
26-tone RU			52-tone RU			106-tone RU			242-tone RU			484-tone RU			996-tone RU		
0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI	0.8μs GI	1.6μs GI	3.2μs GI
0.9	0.8	0.8	1.8	1.7	1.5	3.8	3.5	3.2	8.6	8.1	7.3	17.2	16.3	14.6	36	34	30.6
1.8	1.7	1.5	3.5	3.3	3	7.5	7.1	6.4	17.2	16.3	14.6	34.4	32.5	29.3	72.1	68.1	61.3
2.6	2.5	2.3	5.3	5	4.5	11.3	10.6	9.6	25.8	24.4	21.9	51.6	48.8	43.9	108.1	102.1	91.9
3.5	3.3	3	7.1	6.7	6	15	14.2	12.8	34.4	32.5	29.3	68.8	65	58.5	144.1	136.1	122.5
5.3	5	4.5	10.6	10	9	22.5	21.3	19.1	51.6	48.8	43.9	103.2	97.5	87.8	216.2	204.2	183.8
7.1	6.7	6	14.1	13.3	12	30	28.3	25.5	68.8	65	58.5	137.6	130	117	288.2	272.2	245
7.9	7.5	6.8	15.9	15	13.5	33.8	31.9	28.7	77.4	73.1	65.8	154.9	146.3	131.6	324.3	306.3	275.6
8.8	8.3	7.5	17.6	16.7	15	37.5	35.4	31.9	86	81.3	73.1	172.1	162.5	146.3	360.3	340.3	306.3
10.6	10	9	21.2	20	18	45	42.5	38.3	103.2	97.5	87.8	206.5	195	175.5	432.4	408.3	367.5
11.8	11.1	10	23.5	22.2	20	50	47.2	42.5	114.7	108.3	97.5	229.4	216.7	195	480.4	453.7	408.3
13.2	12.5	11.3	26.5	25	22.5	56.3	53.1	47.8	129	121.9	109.7	258.1	243.8	219.4	540.4	510.4	459.4
14.7	13.9	12.5	29.4	27.8	25	62.5	59	53.1	143.4	135.4	121.9	286.8	270.8	243.8	600.5	567.1	510.4
1.8	1.7	1.5	3.5	3.3	3	7.5	7.1	6.4	17.2	16.3	14.6	34.4	32.5	29.3	72.1	68.1	61.3
3.5	3.3	3	7.1	6.7	6	15	14.2	12.8	34.4	32.5	29.3	68.8	65	58.5	144.1	136.1	122.5
5.3	5	4.5	10.6	10	9	22.5	21.3	19.1	51.6	48.8	43.9	103.2	97.5	87.8	216.2	204.2	183.8
7.1	6.7	6	14.1	13.3	12	30	28.3	25.5	68.8	65	58.5	137.6	130	117	288.2	272.2	245
10.6	10	9	21.2	20	18	45	42.5	38.3	103.2	97.5	87.8	206.5	195	175.5	432.4	408.3	367.5
14.1	13.3	12	28.2	26.7	24	60	56.7	51	137.6	130	117	275.3	260	234	576.5	544.4	490
15.9	15	13.5	31.8	30	27	67.5	63.8	57.4	154.9	146.3	131.6	309.7	292.5	263.3	648.5	612.5	551.3
17.6	16.7	15	35.3	33.3	30	75	70.8	63.8	172.1	162.5	146.3	344.1	325	292.5	720.6	680.6	612.5
21.2	20	18	42.4	40	36	90	85	76.5	206.5	195	175.5	412.9	390	351	864.7	816.7	735
23.5	22.2	20	47.1	44.4	40	100	94.4	85	229.4	216.7	195	458.8	433.3	390	960.8	907.4	816.7
26.5	25	22.5	52.9	50	45	112.5	106.3	95.6	258.1	243.8	219.4	516.2	487.5	438.8	1080.9	1020.8	918.8
29.4	27.8	25	58.8	55.6	50	125	118.1	106.3	286.8	270.8	243.8	573.5	541.7	487.5	1201	1134.3	1020.8

Anexo I. Tabla de índice de modulación y codificación del estándar 802.11ax para 1 y 2 streams espaciales para OFDMA.

Tomado de (https://docs.google.com/spreadsheets/d/e/2PACX-1vQXoEYLGWwR1aGyGaTXOOaDQSPLfeC4rv70KRFuRP6eZ5fL-Ku_YI6DgS6zZMNyIhQpQmnKQ1O7abij/pubhtml?gid=381862114&single=true).





Anexo J. Evolución en demanda, incremento en densidad de los dispositivos por estándar.
Tomado de (Tigo Wi-Fi Summit Medellín, por Intel 2019).

