



# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

### MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES MENCIÓN: GESTIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES

*Resolución: RPC-SE-01-No.016-2020*

#### PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER

<b>Título del proyecto:</b>
Evaluación de QoS, rendimiento, capacidad y seguridad de una red inalámbrica con estándar IEEE 802.11ax
<b>Línea de Investigación:</b>
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
<b>Campo amplio de conocimiento:</b>
Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)
<b>Autor/a:</b>
Diego Fernando Cevallos Troya
<b>Tutor/a:</b>
Ph. D. Fidel David Parra Balza / Mg. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico

Quito – Ecuador

2022

## APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Fidel David Parra Balza con C.I: 1757469950 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: Evaluación de QoS, rendimiento, capacidad y seguridad de una red inalámbrica con estándar IEEE 802.11ax.

Elaborado por: Diego Fernando Cevallos Troya, C.I: 171813671-4, estudiante de la Maestría: Maestría En Telecomunicaciones, mención: Gestión de las Telecomunicaciones de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 4 de abril de 2022

---

**Firma**

## Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del tema	1
Problema de investigación	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	4
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
1.1. Contextualización general del estado del arte	5
1.2. Proceso investigativo metodológico	8
1.2.1. Tipo de Investigación	8
1.2.2. Metodología de desarrollo	9
1.3. Análisis de resultados	9
1.3.1. Simulación sin <i>BSS Coloring</i> con dos AP y doce usuarios	10
1.3.2. Simulación con <i>BSS Coloring</i> con dos AP y ocho usuarios	14
CAPÍTULO II: PROPUESTA	17
1.1. Fundamentos teóricos aplicados	17
1.1.1. Campo Electromagnético	17
1.1.2. Comunicación por ondas radioeléctricas (Radiocomunicación)	17
1.1.3. Cobertura o Alcance, Ruido y Atenuación	18
1.1.4. Parámetros de Propagación que afectan a las ondas de radio	19
1.1.5. Modulación OFDMA (Acceso Múltiple por división de frecuencia ortogonal)	19
1.1.6. Reutilización Espacial ( <i>BSS Coloring</i> )	19
1.1.7. MU-MIMO (Multi usuarios MIMO)	21
1.1.8. TWT (Target Wake Time)	22
1.1.9. Cabecera PHY (Physical Layer)	23
1.1.10. Estándar IEEE 802.11 b/g/n/ac/ax	23
1.2. Descripción de la propuesta	24
1.2.1. Fase I Planeación: Recopilación de información y análisis de las mejoras del nuevo estándar	25
1.2.1.1. Comparativa entre el estándar 802.11ac vs 802.11ax	25
1.2.2. Fase II Planeación	28
1.2.2.1. Análisis de la situación actual	28
1.2.3. Fase III Diseño	34
1.2.4. Fase IV Simulación	38

1.3. Validación de la propuesta	38
1.4. Matriz de articulación de la propuesta	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	48

## Índice de tablas

Tabla 1 Características de los usuarios.....	11
Tabla 2 Características de los AP.....	12
Tabla 3 Resultados de simulación dos AP y doce usuarios sin utilizar BSS Coloring.....	12
Tabla 4 Resultados de simulación dos AP y doce usuarios utilizando BSS Coloring .....	15
Tabla 5 Mejoras en la capa física del estándar 802.11ax vs estándares pasados.....	28
Tabla 6 Mejoras en la capa MAC del estándar 802.11ax vs estándares pasados .....	28
Tabla 7 Descripción de perfil de validadores .....	38
Tabla 8 Criterios de Evaluación .....	39
Tabla 9 Escala de evaluación de criterios.....	40
Tabla 10 Preguntas Instrumento de validación .....	40
Tabla 11 Matriz de articulación.....	42

## Índice de figuras

Figura 1 Topología de simulación en el software Multi WLAN Analyzer Tool .....	10
Figura 2 Tiempo de ocupación del espectro de los AP y usuarios .....	13
Figura 3 Topología de simulación en el software Multi WLAN Analyzer Tool .....	14
Figura 4 Tiempo de ocupación del espectro de los AP y usuarios utilizando BSS Coloring .....	16
Figura 5 Interferencia Co-canal Provocada por un Usuario y varios AP .....	20
Figura 6 Reutilización de Frecuencias BSS Coloring .....	21
Figura 7 Tecnología SU-MIMO vs MU-MIMO.....	22
Figura 8 Evolución cronológica del estándar IEEE 802.11.....	24
Figura 9 Fases para el desarrollo del trabajo de investigación .....	25
Figura 10 Características del estándar 802.11n vs 802.11ac .....	26
Figura 11 Comparativa de las distintas modulaciones por amplitud cuadrada que existen .....	26
Figura 12 Topología del bloque “A” planta baja de la red WiFi existente .....	29
Figura 13 Topología del bloque “A” planta alta de la red WiFi existente .....	30
Figura 14 Topología del bloque “B” área técnica de la red WiFi existente.....	30
Figura 15 Redes inalámbricas cercanas en el bloque “A” planta baja .....	31
Figura 16 Redes inalámbricas cercanas en el bloque “A” planta alta .....	32
Figura 17 Redes inalámbricas cercanas en el bloque “B” área técnica.....	32
Figura 18 Desempeño de la red WiFi actual en el programa TAMOSOFT.....	33
Figura 19 Paquetes perdidos de la red actual en el programa TAMOSOFT .....	34
Figura 20 Cobertura WiFi 2.4GHz planta baja bloque “A” con el equipo Ubiquiti U6-LR. ....	35
Figura 21 Cobertura WiFi 5GHz planta baja bloque “A” con el equipo Ubiquiti U6-LR. ....	35
Figura 22 Cobertura WiFi 2.4GHz planta alta bloque “A” con el equipo Ubiquiti U6-LR.....	36
Figura 23 Cobertura Wifi 5GHz planta alta bloque “A” con el equipo Ubiquiti U6-LR.....	36
Figura 24 Cobertura WiFi 2.4GHz área técnica bloque “B” con el equipo Ubiquiti U6-LR .....	37
Figura 25 Cobertura WiFi 5GHz área técnica bloque “B” con el equipo Ubiquiti U6-LR.....	37

## INFORMACIÓN GENERAL

### Contextualización del tema

En el presente trabajo de investigación se ve la necesidad de identificar los avances en las tecnologías de transporte inalámbricas utilizando como base el estándar del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) normado en concreto el nuevo estándar IEEE 802.11ax el cual permite el transporte de grandes volúmenes de información con una latencia más baja por medio del espectro electromagnético.

Para cumplir el objetivo es necesario analizar las características y mejoras del estándar IEEE 802.11ax, debido a que en la actualidad la utilización del servicio de internet por conexiones inalámbricas (WLAN) ha tenido un crecimiento exponencial debido a la flexibilidad y movilidad que se tiene con esta tecnología por lo que es muy útil para entornos cambiantes o que requieren gran capacidad de adaptación. Con la utilización de nuevos servicios como el internet de las cosas (IoT), industria 4.0, realidad virtual e inteligencia artificial existen muchos dispositivos y sensores que se conectan de forma inalámbrica ya que no cuentan con una interface Ethernet, estos necesitan de un ancho de banda más elevado, latencia menor y una conexión estable para que el servicio funcione de forma adecuada, esto provoca que las redes actuales colapsen y que disminuya la calidad de servicios de las demás aplicaciones que utilizan la red (López, 2018).

Se observa la necesidad de optimizar la red inalámbrica actual que está funcionando en el área de entrega de servicios corporativos CNT Monteserrin, realizando el análisis del nuevo estándar, efectuando el diseño para la migración de la infraestructura actual a una nueva que utilice el protocolo IEEE 802.11ax y ejecutando la simulación de la red para aprovechar las ventajas que presenta el nuevo estándar tanto en calidad de servicios, rendimiento, capacidad y seguridad.

El estándar 802.11ax trabaja en las dos bandas de frecuencias tanto en la banda de 2.4 Ghz como en la de 5 Ghz estos es de gran ventaja ya que *WiFi 5* solo trabaja en la banda de 5 Ghz y todavía existen dispositivos que no trabajan en esa frecuencia, *WiFi 6* permite alcanzar velocidades de hasta 2402 Mbps, lo cual supone una ventaja frente a su antecesor.

Con la implementación de *WiFi 6* se pretende mitigar la falta de conectividad, disminuir los tiempos de latencia, elevar la velocidad de conexión, incrementar la seguridad de la red con el cifrado *WPA3* y aumentar la estabilidad del enlace ya que presenta menos interferencias y brindar mayor cobertura en el área de trabajo.

## Problema de investigación

Las redes inalámbricas locales *WLAN* han evolucionado mucho desde finales del siglo XX cuando se diseñó el estándar IEEE 802.11 para mejorar su rendimiento y adaptarse a las nuevas tecnologías. En la actualidad el constante adelanto en la tecnología permite la creación de nuevos dispositivos que necesitan mayor ancho de banda, menor latencia y estar conectados a la red para su funcionamiento, por lo que las redes inalámbricas actuales necesitan más capacidad y estabilidad, es ahí donde el nuevo estándar IEEE 802.11ax nos ofrece la solución a estos problemas (Zhao, 2019).

El problema se presenta debido a que la gran mayoría de los hogares, oficinas y lugares públicos cuentan con redes inalámbricas para que sus usuarios se conecten a la red y tengan acceso a los servicios que estas ofrecen, con la implementación de nuevas tecnologías como son internet de las cosas (IoT), domótica, industria 4.0, telemedicina, voz sobre protocolo de internet (VoIP) y *streaming* de video de ultra alta definición, ha proliferado el aumento de nuevos dispositivos inteligentes y sensores que necesitan estar conectados entre sí y tener una conexión a la red para enviar datos, es ahí donde se cuestiona si las redes actuales pueden ofrecer el rendimiento, capacidad y seguridad que las aplicaciones y servicios actuales requieren, si bien es cierto las redes *WLAN* que están implementadas permiten la conexión de los dispositivos pero en su gran mayoría estas ya están llegando a colapsar

Cabe destacar, que si no se realiza una actualización de la infraestructura actual el rendimiento de la red no será el adecuado y la calidad de servicio (QoS) será deficiente, de igual manera la seguridad de los datos no se encontrará tan expuesta ya que el nuevo estándar implementa un nuevo cifrado. Por lo tanto, es necesario evaluar el rendimiento de las redes actuales para realizar su mejora implementando el estándar IEEE 802.11ax, el cual fue diseñado para mejorar la estabilidad y escalabilidad de las redes inalámbricas en las que existe gran abundancia de usuarios, esto beneficia a redes que estén implementadas en lugares públicos, empresas, oficinas y en la actualidad hogares.

Según el informe anual de internet de Cisco se espera que para el 2023 casi dos tercios de las personas en el mundo tengan acceso a internet que serían 5.300 millones de usuarios con servicio de internet esto es el 66% de la población. Habrá 3.6 dispositivos por persona conectados a la red los cuales serán aproximadamente 29.300 millones de dispositivos inteligentes que se conecten a internet (Cisco, 2020).

Por lo antes expuesto es necesario realizar un análisis de la evolución de la tecnología inalámbrica ya que como se mencionó la mayoría de los dispositivos en la actualidad acceden al internet por conexiones inalámbricas, a su vez cuenta con grandes ventajas frente a las redes cableadas como el

uso eficaz del espectro, utiliza bandas no licenciadas, interoperabilidad entre los dispositivos, bajo coste de implementación y proporciona movilidad y flexibilidad (Mosquera, 2019).

Esto es de gran utilidad para las empresas, hogares y sitios con mucha afluencia de personas que necesiten conectarse a internet de forma segura y eficiente. El presente trabajo es importante porque se realiza las simulaciones del estándar 802.11ax para verificar las mejoras ya que en Ecuador la mayor parte de usuarios utiliza en la actualidad *WiFi 4* y *WiFi 5* por lo que es necesario presentar los avances en la tecnología *WiFi* para que los usuarios comprendan las ventajas del nuevo estándar *WiFi 6*. Esto repercute en el ámbito económico ya que con las nuevas funcionalidades del estándar 802.11ax los dispositivos diseñados para IoT consumen menos energía y por lo tanto las baterías tiene más tiempo de vida útil y los dispositivos son menos costosos, a su vez las redes *WLAN* de alta eficiencia cuentan con mayor fiabilidad por lo tanto para el diseño de redes se puede prescindir de conectar mediante cables todos los dispositivos y así se genera un menor coste de implementación al diseñar una red.

Cabe resaltar que la investigación aporta desde el punto de vista científico debido a que con el aumento diario de los dispositivos que se conectan a internet y de las aplicaciones que requieren un ancho de banda y calidad de servicio elevados, existe la necesidad de los usuarios de disponer de redes que se adapten al tráfico actual de los servicios y aplicaciones que se utilizan en el día a día, por lo tanto, es necesario profundizar en el estudio de redes *WLAN* que dispongan y mejoren las experiencias de los usuarios. En consecuencia, no solo es necesario realizar un estudio del dimensionamiento del ancho de banda, cobertura de la red, etc, si no que se requiere realizar un estudio más profundo sobre los protocolos estandarizados del IEEE 802.11 que se enfoca en las redes inalámbricas para observar los cambios que se han producido de un estándar a otro y así comprender su funcionamiento y la evolución que ha tenido para su mejoría.

### **Objetivo general**

Analizar las características y mejoras del estándar IEEE 802.11ax para la actualización de la red inalámbrica del área de servicios corporativos de la CNT EP.

### **Objetivos específicos**

- Determinar las características principales y relevantes del estándar IEEE 802.11ax
- Identificar las modificaciones tecnológicas realizadas en la capa física del estándar 802.11ax para incrementar la velocidad de transmisión de datos.
- Establecer las modificaciones en la capa de control de acceso al medio del estándar para mejorar la calidad de servicio y seguridad.

- Diseñar la topología de red utilizando el estándar IEEE 802.11ax para el área de entrega de servicios corporativos.
- Evaluar mediante simulaciones la capa física del estándar IEEE 802.11ax.

#### **Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:**

Con los estudios realizados en el presente proyecto, la vinculación con la sociedad viene dada para los usuarios en general y empresas ya que la mayor parte de la población en Ecuador cuenta con dispositivos inalámbricos los cuales por la demanda actual necesitan utilizar redes *WLAN* más seguras y confiables debido a que estas redes son de fácil implementación y bajo coste para los usuarios.

Con el presente trabajo se pretende generar un documento de consulta de las ventajas y funcionalidades nuevas del estándar 802.11ax el cual fue diseñada para mitigar las interferencias entre puntos de acceso (*AP*) que están en una misma zona, esto con el afán de que en lugares con mucha afluencia de personas como pueden ser estadios, auditorios, oficinas, centros comerciales entre otros en los cuales muchas personas requieren estar conectados a la red *WiFi* no exista intermitentes producidas por las interferencias de los diferentes puntos de acceso cercanos.

Los beneficiarios directos con la investigación y diseño de una red inalámbrica mediante el estándar IEEE 802.11ax son todos los colaboradores o usuarios que estén conectados a dicha red ya que este protocolo ofrece grandes ventajas como es mayor seguridad y estabilidad en las conexiones.

También se benefician las personas que deseen entender como *WiFi 6* mejora las redes inalámbricas y comprender más sobre su funcionamiento, las ventajas que tendría al utilizarla y tener una idea de cómo poder implementar en sus hogares, casas u oficinas.

## CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 1.1. Contextualización general del estado del arte

Para el desarrollo de la investigación se debe estudiar y comprender los campos eléctricos y magnéticos (Johnk, 2004), ya que es indispensable entender cómo se produce y realiza la transmisión por medio de ondas electromagnéticas, asimismo se debe conocer el comportamiento de las ondas dependiendo del medio por el que se transmite y la frecuencia que se utilice, para lo cual se realiza una revisión en (Pozar, 2004). Otros conceptos importantes que se debe entender para analizar el funcionamiento de las redes *WiFi* son las interferencias que producen que la señal transmitida se degrade y las magnitudes utilizadas para medir las señales emitidas por ondas electromagnéticas para verificar estos conceptos se realiza la revisión de (Stallings, 2006).

El estándar 802.11 es una normativa creada a finales del siglo XX por el Instituto de Ingenieros eléctricos y Electrónicos (IEEE) para estandarizar las redes inalámbricas y que su uso fuese lo más eficiente posible, con el paso de los años el IEEE han implementado varias modificaciones en los estándares 802.11 ya que en la actualidad la mayor parte de los dispositivos se conectan de forma inalámbrica, algunas de las mejoras de un estándar a otros son mayor velocidad, aumento de calidad de servicios y mayor seguridad. Mediante este estudio se pretende entender qué mejoras presenta el estándar actual IEEE 802.11ax y comprender su funcionamiento ya que este estándar fue diseñado para solventar los problemas de interferencias que se presentan en las redes inalámbricas al tener varios *AP* en zonas donde se conectan varios dispositivos a la red como pueden ser oficinas, hospitales y diferentes lugares públicos con gran afluencia de personas que necesitan conectarse a la red *WiFi*.

Así mismo, se tiene el estudio "*Analysis and simulation of Wireless Networks, IEEE 802.11ax DL*" en el cual se analizan las mejoras sufridas en el estándar y se implementa un software muy intuitivo para el usuario en el que se pueden simular diversos escenarios y observar las ventajas que tiene este tipo de redes *WLAN*, se aprecia que el autor ocupa una metodología investigativa ya que se implementa un software de simulación para verificar la variable de estudio, según los resultados obtenidos de las simulaciones se puede deducir que cuando un usuario se encuentra más alejado del *access point* el esquema de modulación es más bajo que uno que está más cerca y esto repercute en la experiencia que este tenga, por otro lado se observa que cuando se utiliza el *BSS coloring* esto permite que las frecuencias se reutilicen y así la red se vuelve más robusta y escalable, ya que permite que futuros usuarios que requieran conectarse a la red lo realicen sin ningún problema, mediante los resultados obtenidos los autores concluyen que el algoritmo utilizado para la simulación trata a todos los dispositivos por igual, si se detecta que un *AP* está sobrecargado de usuarios se recalcula para brindar una mayor estabilidad en la red y si existen canales que irradian y no están siendo ocupados

se ocupan los necesarios y los demás se almacenan para futuro crecimiento de la red, la relación que tiene con el trabajo en desarrollo describe las mejoras del estándar, aunque el autor se centra solo en la simulación para determinar si el código de su software funciona en el presente trabajo se va a ocupar para simular y determinar si la reutilización de frecuencias mejora la eficiencia de la red, estas contribuciones son muy importantes para la presente investigación ya que se tiene una idea clara de cómo realizar la simulación y cuál fue el escenario con más eficiencia de la red para poder implementar en el área de entrega de servicios corporativos (Galceran y Talló, 2019).

El artículo denominado “*A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs*” se consideró como relevante para el desarrollo de la investigación ya que la finalidad del mismo es ayudar al lector a entender los principales avances realizados en el estándar y describiendo de forma más exhaustivas las tecnologías que hacen que 802.11ax sea más eficiente y seguro. Para el desarrollo del artículo los autores se basan en la recolección de información de los repositorios de la organización *WiFi Alliance*. Mediante el análisis se observa que la implementación más significativa en el nuevo estándar es la modulación OFDMA tanto en el enlace de bajada como el de subida sin descartar todas las modificaciones que se implementan, llegan a la conclusión que OFDMA es la implementación más relevante para mejorar la velocidad de transmisión. Uno de los objetivos de la actual investigación es definir qué tecnología se implementa para mejorar la velocidad en 802.11ax. Este artículo se relaciona con el trabajo ya que hace una revisión de las mejoras implementadas en el nuevo estándar con relación a sus antecesores y presenta de forma muy detallada todos los avances, esto es de gran aporte para la investigación ya que se tiene información de cómo repercuten las mejoras en el rendimiento de la red (Khorov *et al*, 2019).

De igual manera se realizó una revisión de una investigación previa que se articula con los lineamientos del trabajo actual el cual es realizado por Cid (2020) denominado “Diseño de mecanismos de scheduling sobre IEEE 802.11ax usando *Target Wake Up Time* (Implementación en NS-3)” la importancia de esta investigación es el análisis de la tecnología *Target Wake Up Time* introducida en el nuevo estándar, la cual reduce el consumo energético en los dispositivos que se conectan a la red en concreto para los dispositivos IoT. Para desarrollar esta investigación el autor dos métodos de investigación el primer método es de análisis matemático basado en simulaciones, el segundo método es el estudio empírico para analizar la evolución de las redes inalámbricas, mediante el proceso de investigación el autor llega a la conclusión que el estándar IEEE 802.11ax fue diseñado para cubrir dos necesidades que su antecesor no lo hacía que son el aumento de número de usuarios conectados y incremento de la tasa de tráfico. En base a los resultados el autor concluye que el modelo *Broadcast TWT* es más eficiente que el *Individual TWT* ya que el AP tiene solo una sesión TWT en lugar de varias sesiones individuales para cada dispositivo y así se reduce el gasto energético de los dispositivos, a sí

mismo llega a la conclusión de que si bien TWT si mejora el consumo de energía no se compara con redes Zigbee o Bluetooth para uso de IoT, por lo que se recomienda verificar que diseño de red y para que se va a utilizar se implemente una tecnología u otra, la relación que tiene esta tesis de maestría con relación a la desarrollado son las simulaciones realizadas cabe destacar que el autor se centra en verificar si TWT es eficiente, pero de igual manera evalúa si el rendimiento de la red mejora con la implementación de las mejoras sufridas. Esta investigación aporta para el desarrollo de la investigación debido a que en el presente proyecto es necesario entender las mejoras que presenta la capa MAC del estándar IEEE 802.11ax y la tecnología TWT es implementada en dicha capa y es una de las mejoras más importantes para la tecnología IoT o sensores que necesiten estar conectados a la red.

Por otra parte, se realizó una revisión del estudio nombrado "*Evolution of Wi-Fi Protected Access: Security Challenges*", el objetivo primordial de esta investigación es realizar un análisis de la evolución, mejoras y funcionamiento del nuevo protocolo de seguridad con referencia a sus antecesores. El escritor realiza una investigación teórica en la que realiza una comparativa entre los cifrados anteriores y WPA3. Mediante el análisis comparativo de los protocolos el autor determinó y concluyó que WPA3 presenta varias modificaciones significativas para la seguridad de las redes *WiFi*, las principales mejoras son en la encriptación y autenticación, este artículo se relaciona ya que hace un análisis del cifrado *WPA 3* el cual se implementa en el estándar 802.11ax para mejorar la seguridad. Esto aporta a la investigación ya que se requiere conocer cómo funciona esta actualización de seguridad y las mejoras que presenta ya que uno de los objetivos planteados en la actual investigación es establecer las modificaciones en la capa de control de acceso al medio del estándar para mejorar la calidad de servicio y seguridad (Kwon y Choi, 2020).

Por otra parte, se hizo una revisión de trabajos previos relacionadas con la variable principal del proyecto la cual es estudiar las mejoras que tiene una red inalámbrica con estándar IEEE 802.11ax, entre ellas se tiene el trabajo desarrollado por Torres (2021) titulado "Análisis y simulación del estándar 802.11ax para evaluar el rendimiento de despliegues WLAN en escenarios con tráfico de red elevado" en el cual el objetivo principal fue la simulación de distintos escenarios, diferentes topologías y variando la cantidad de usuarios conectados a la red para observar cual es el más adecuado de implementar en cada circunstancia, el autor utiliza una metodología investigativa y analítica, debido a que se observa las simulaciones obtenidas con varios usuarios conectados a la red para determinar si existe mejoría en la implementación del nuevo estándar, con los resultados obtenidos se puede deducir que cuanto más dispositivos están conectados a la red la señal se empieza a degradar por lo que se recomienda monitorear el AP cuando se emplea la multiplexación OFDMA, este trabajo tiene relación con la investigación en desarrollo debido a que el autor realiza una serie de simulaciones para

determinar cuál topología sería mejor para cumplir el objetivo propuesto el cual es realizar la simulación del estándar IEEE 802.11ax en el área de entrega de servicios corporativos de CNT Monteserrin.

## **1.2. Proceso investigativo metodológico**

El proceso de investigación que se llevará a cabo en el presente trabajo es analizar e investigar los problemas que presenta la red inalámbrica que se encuentran en funcionamiento en la actualidad y los cambios sufridos a lo largo del tiempo, estudiar las mejoras en cada una de sus capas del protocolo IEEE 802.11ax para realizar el diseño de la red con el mismo, mediante una simulación verificar si la implementación del nuevo estándar mejora la calidad de la conexión inalámbrica, por lo que la investigación se hará bajo el paradigma de la investigación cuantitativa.

### **1.2.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación que se desarrollará en el presente proyecto es la investigación aplicada en la cual Murillo (2009) afirma:

Este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Sin embargo, en una investigación empírica, lo que le interesa al investigador, primordialmente, son las consecuencias prácticas. Si una investigación involucra problemas tanto teóricos como prácticos, recibe el nombre de mixta. En realidad, un gran número de investigaciones participa de la naturaleza de las investigaciones básicas y de las aplicadas. (p. 5)

La investigación aplicada se utiliza puesto que se va a realizar una revisión de las mejoras en el estándar 802.11ax y posterior a ello se realizará una simulación para determinar si existe mejoría en la implementación del nuevo estándar.

También se ocupa la investigación de tipo descriptivo la cual según afirma Glass y Hopkins (1984) “Consiste en la recopilación de datos que describen los acontecimientos y luego organiza, tabula, representa y describe la recopilación de datos. Suele utilizar ayudas visuales como gráficos y tablas para ayudar en la comprensión de la distribución de los datos”. Se ocupa este tipo de investigación ya que se recopila información de los avances que han tenido las conexiones inalámbricas para mejorar su funcionamiento.

En el presente trabajo de investigación para cumplir con los objetivos planteados se realizaron diferentes simulaciones mediante un software libre para poder evaluar los resultados obtenidos y determinar si el nuevo estándar cumple con lo expuesto en la teoría.

### **1.2.2. Metodología de desarrollo**

Para el desarrollo de la investigación se apoya en la metodología PPDIIO (Preparar Planear Diseñar Implementar Operar Optimizar) de Cisco la cual consta de seis fases la cual es utilizada para el diseño e implementación de redes, por el alcance del proyecto se modifica el orden de las fases de la metodología escogida y de la cual solo se ocupan cuatro fases y consta de las siguientes:

- **Fase 1 Preparación.** Consiste en la recopilación de información y estudio del estándar 802.11ax tanto en la capa física como en la capa MAC para determinar cómo influye en la calidad de servicio que requieren las aplicaciones en las redes de alta eficiencia.
- **Fase 2 Planeación.** En esta fase se realiza un recorrido para poder elaborar un plano y determinar las debilidades de la red WLAN implementada y se concretan los requerimientos para el diseño de la nueva infraestructura.
- **Fase 3 Diseño.** Desarrollo del diseño de la nueva red.
- **Fase 4 Simulación.** Consta de las simulaciones que se realizan bajo el estándar 802.11ax, según los resultados obtenidos se determinará cuál es la mejor opción de diseño para la red.

### **1.3. Análisis de resultados**

Mediante el análisis realizado de la evolución del estándar IEEE 802.11 normado se pudo evidenciar que el nuevo protocolo 802.11ax presenta grandes ventajas para las conexiones inalámbricas tanto para hogares, empresas y lugares con mucha densidad de usuarios, ya que como se observa durante el desarrollo de la investigación se implementó una nueva técnica de reutilización de frecuencias mediante colores, se implementa un nuevo esquema de multiplexación y de modulación los cuales permiten que la velocidad de transmisión aumenta para satisfacer las necesidades que se requiere en la actualidad, por otro lado añade un nuevo cifrado de seguridad para proteger de forma más eficiente los datos que circulan por la red inalámbrica.

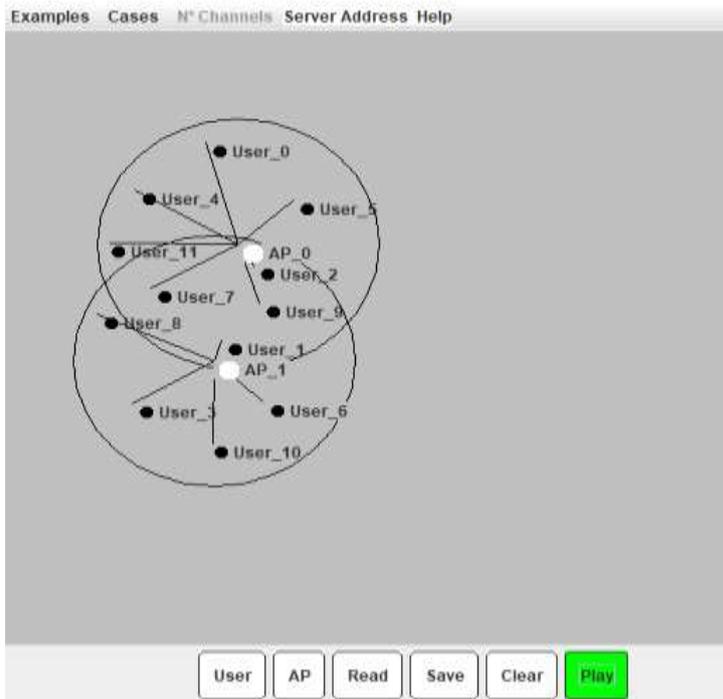
Para poder verificar el rendimiento de una red con estándar 802.11ax se realizó simulaciones mediante un software libre que se diseñó en la tesis de maestría denominada "*Analysis and simulation of Wireless Networks, IEEE 802.11ax DL*". El programa cuenta con interfaz gráfica y permite simular distintos escenarios con varios AP y con diferente número de usuarios.

### 1.3.1. Simulación sin *BSS Coloring* con dos AP y doce usuarios

Para este escenario se dispone de dos AP y doce usuarios como se puede observar en la figura 1 del software.

**Figura 1**

*Topología de simulación en el software Multi WLAN Analyzer Tool*



*Nota.* Simulación con dos AP y doce usuarios sin ocupar *BSS Coloring*. Elaboración propia.

Los AP están configurados de tal manera que no ocupan el nuevo sistema implementado para mejorar la superposición de frecuencias *BSS Coloring*, en la tabla uno y dos se muestran los valores de configuración inicial de los usuarios y AP, en donde podemos distinguir los siguientes parámetros:

- Carga: Ancho de banda requerido por el usuario, este valor será modificado por el AP si no se dispone del ancho de banda solicitado.
- L: Tamaño de los paquetes que se envían entre el usuario y el AP.

**Tabla 1***Características de los usuarios*

User ID	Posición [m]	Carga [Mbps]	L [bits]
User 0	(36.0 , 22.0)	4	12000
User 1	(38.75 , 61.5)	4	12000
User 2	(44.5 , 46.5)	4	12000
User 3	(23.0 , 74.0)	4	12000
User 4	(23.5 , 31.5)	4	12000
User 5	(51.5 , 33.5)	4	12000
User 6	(46.25 , 73.75)	4	12000
User 7	(26.25 , 51.0)	4	12000
User 8	(16.75 , 56.25)	4	12000
User 9	(45.5 , 54.0)	4	12000
User 10	(37.25 , 82.0)	4	12000
User 11	(19.0 , 42.0)	4	12000

*Nota.* Características de los usuarios para realizar la simulación. Elaboración propia.

**Tabla 2***Características de los AP*

AP ID	Posición [m]	Canal
AP 0	(41.75 , 42.25)	1
AP 1	(37.5 , 65.5)	1

*Nota.* Elaboración propia.

Los resultados de la simulación se pueden evidenciar en la tabla tres, los parámetros más importantes son el rendimiento que tiene cada usuario, para observar los resultados completos ver anexo 1.

**Tabla 3***Resultados de simulación dos AP y doce usuarios sin utilizar BSS Coloring*

User/AP	Distancia (m)	Tasa TX (Mbps)	Modulación	Canal	Rendimiento (Mbps)
User 0 – AP 0	21.05	1.89	QPSK	1	1.86
User 1 – AP 1	4.19	1.57	1024-QAM	1	4.54
User 2 – AP 0	5.06	1.41	1024-QAM	1	4.19
User 3 – AP 1	16.80	3.78	16-QAM	1	2.68
User 4 – AP 0	21.18	1.89	QPSK	1	1.86
User 5 – AP 0	13.10	5.67	16-QAM	1	3.49

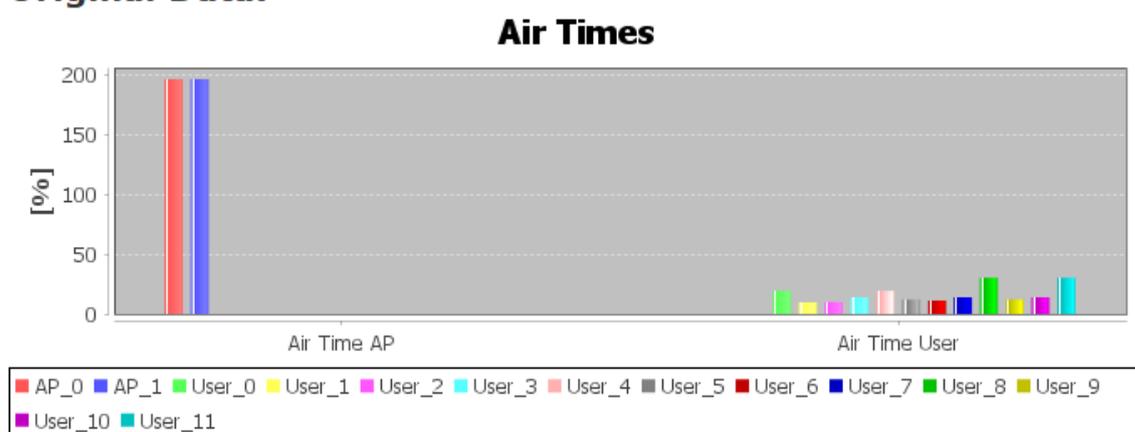
<b>User 6 – AP 1</b>	12.02	7.56	64-QAM	1	4.30
<b>User 7 – AP 0</b>	17.79	3.78	16-QAM	1	2.68
<b>User 8 – AP 1</b>	22.71	9.45	BPSK	1	1.46
<b>User 9 – AP 0</b>	12.33	5.67	16-QAM	1	3.49
<b>User 10 – AP 1</b>	16.50	3.78	16-QAM	1	2.68
<b>User 11 – AP 0</b>	22.75	9.45	BPSK	1	1.46

*Nota.* Resultados obtenidos de la simulación, el apartado de Tasa TX hace referencia a la velocidad a la que viaja la información entre el usuario y el AP. Elaboración propia.

**Figura 2**

*Tiempo de ocupación del espectro de los AP y usuarios*

**Original Data:**



*Nota.* El tiempo de ocupación de los AP se mide en porcentaje y como valor máximo tendría que estar en cien por ciento. Elaboración propia.

Como podemos observar los dos AP transmiten por el canal 1 y funcionan como si fuera un solo AP ya que cuentan con el mismo SSID, por lo tanto, los usuarios no van a saber a qué *acces point* realizar las solicitudes. También podemos observar que el usuario más cercano al AP tiene una

modulación de 1024-QAM y esto hace que estos usuarios tengan mayor rendimiento en la red, cuanto más se alejen del punto emisor la señal se va a degradar y por ende se asignará una modulación menos compleja para evitar la pérdida de información.

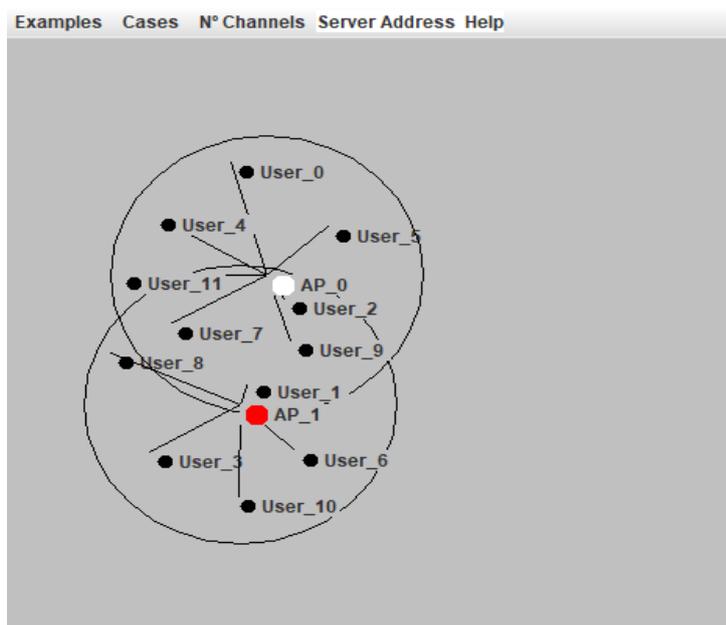
La parte más importante a resaltar de la figura 2 es el tiempo de ocupación de los AP que supera el 100% esto indica que se encuentran sobrecargados, esto quiere decir que el rendimiento de los usuarios no será el óptimo y por ende el AP no da preferencia a ningún usuario en base a sus solicitudes.

### 1.3.2. Simulación con BSS Coloring con dos AP y ocho usuarios

Para esta simulación se utiliza el escenario anterior, la modificación se realiza en los AP en los cuales se configura el *BSS Coloring* para así mejorar la interferencia cocanal producida.

**Figura 3**

*Topología de simulación en el software Multi WLAN Analyzer Tool*



*Nota.* Simulación con dos AP y doce usuarios ocupando *BSS Coloring*. Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 2 el AP 1 es de color rojo ya que existe superposición en el radio de cobertura del AP 0 por lo que tiene que cambiar de color, de la misma manera los usuarios conectados al AP 1 se modifica la trama PHY añadiendo bits adicionales para incluir el color del *access point* al que pertenecen.

Los valores de configuración inicial de los usuarios y AP son los mismos del caso anterior por lo que se puede observar en la tabla uno y dos.

**Tabla 4***Resultados de simulación dos AP y doce usuarios utilizando BSS Coloring*

<b>User/AP</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Tasa TX (Mbps)</b>	<b>Modulación</b>	<b>Canal</b>	<b>Rendimiento (Mbps)</b>
<b>User 0 – AP 0</b>	21.05	1.89	QPSK	1	3.13
<b>User 1 – AP 1</b>	4.19	1.57	1024-QAM	2	7.83
<b>User 2 – AP 0</b>	5.06	1.41	1024-QAM	1	7.15
<b>User 3 – AP 1</b>	16.80	3.78	16-QAM	2	5.27
<b>User 4 – AP 0</b>	21.18	1.89	QPSK	1	3.13
<b>User 5 – AP 0</b>	13.10	5.67	16-QAM	1	5.85
<b>User 6 – AP 1</b>	12.02	7.56	64-QAM	2	8.47
<b>User 7 – AP 0</b>	17.79	3.78	16-QAM	1	4.49
<b>User 8 – AP 1</b>	22.71	9.45	BPSK	2	2.87
<b>User 9 – AP 0</b>	12.33	5.67	16-QAM	1	5.85
<b>User 10 – AP 1</b>	16.50	3.78	16-QAM	2	5.27
<b>User 11 – AP 0</b>	22.75	9.45	BPSK	1	2.44

*Nota.* Elaboración propia.

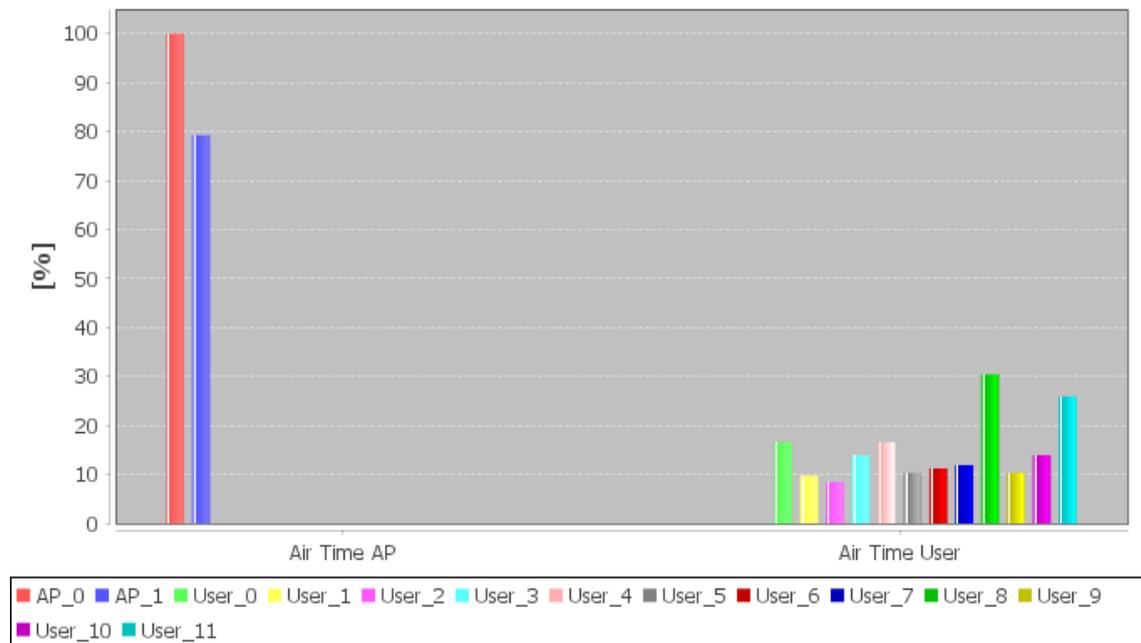
En la tabla 4 podemos observar la clara mejora del rendimiento de cada usuario con respecto a la simulación anterior en la que no se ocupó la reutilización de frecuencias por colores, con esto podemos evidenciar que las características implementadas en el nuevo estándar si mejoran el rendimiento de la red.

**Figura 4**

*Tiempo de ocupación del espectro de los AP y usuarios utilizando BSS Coloring*

**Channel Optimization: true**

**Air Times**



*Nota.* El tiempo de ocupación de los AP se mide en porcentaje y como valor máximo tendría que estar en cien por ciento. Elaboración propia.

Como podemos observar en la figura 4 el tiempo de ocupación de los AP son menores esto hace que la red ya no esté saturada lo que permite que nuevos usuarios se conecten a la red sin afectar el rendimiento de los que ya están operando. Esta mejora es producto de la ocupación de la nueva tecnología de reutilización de frecuencias por colores (*BSS Coloring*) implementada en el nuevo estándar 802.11ax.

## CAPÍTULO II: PROPUESTA

### 1.1. Fundamentos teóricos aplicados

#### 1.1.1. Campo Electromagnético

Se produce por una mezcla de fuerzas eléctricas y magnéticas que están presentes en conductores que están con energía eléctrica y transportan corriente.

Estas ondas eficazmente tratadas y moduladas permiten el envío de información y así brindar un servicio de telecomunicaciones. En la actualidad las ondas electromagnéticas dependiendo de su frecuencia se utilizan para brindar diferentes servicios de telecomunicaciones ya sea por medios guiados o no guiados. La frecuencia que se utilice dependerá de la velocidad a la que se desea enviar los datos y del medio comportamiento que tiene en el medio que se transmita (Ordóñez, 2016).

#### 1.1.2. Comunicación por ondas radioeléctricas (Radiocomunicación)

Es un modo de transmisión que funciona mediante ondas de radio, en ella intervienen el movimiento de los campos magnéticos y eléctricos. Dentro del espectro radioeléctrico donde se produce la comunicación por radio existen diferentes bandas de frecuencias dependiendo del servicio que se desea brindar o del ancho de banda requerido (Varo, 2017).

Se puede definir la comunicación como el intercambio de información entre dos puntos, para que esto se pueda dar se necesita conocer los elementos que intervienen:

- Emisor: desde donde proviene la información o el mensaje.
- Canal: medio por el cual se transmite el mensaje.
- Código: símbolos y reglas utilizadas en la comunicación. Las reglas deben ser conocidas por el emisor y por el receptor.
- Mensaje: información que se desea enviar desde un punto a otro.
- Receptor: es donde se recibe la información.

La magnitud es la propiedad física que puede medirse como la superficie, peso, altura, etc. Las magnitudes que se utilizan para medir las comunicaciones por ondas electromagnéticas son las siguientes:

- Amplitud: Es la distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.

- Frecuencia y periodo: el periodo es el lapso de tiempo en el que se demora una señal en completar un ciclo. La frecuencia es el número de repeticiones por segundo en el que se repite un fenómeno.
- Longitud de onda: distancia que viaja una onda a lo largo de un periodo. Depende del medio en el que la onda esté viajando los valores varían.
- Ancho de banda: es la longitud entre la frecuencia menor y mayor en donde se concentra la mayor potencia de la señal y se mide en hercios (Hz).

### 1.1.3. Cobertura o Alcance, Ruido y Atenuación

Se puede definir la cobertura como la distancia a la que se puede recibir la señal que se transmite con buena intensidad. Esto depende de varios factores como puede ser la intensidad del equipo que transmite, la altura de la antena transmisora, la línea de vista, etc.

Por medio de una fórmula podemos determinar el alcance teórico que proporciona una antena emisora, la fórmula es la siguiente.

$$\text{Alcance (Km)} = 3.6 * (\sqrt{H} + \sqrt{h})$$

Donde:

- H: altura de la antena emisora.
- h: altura de la antena receptora.

El ruido es un grupo de señales no deseadas que interfieren con la señal emitida, esto hace que la calidad de la señal se degrade y que el alcance se reduzca. Un parámetro importante que afecta a un sistema de comunicación es la relación señal a ruido y se utiliza la siguiente fórmula:

$$SNR [dB] = P_{señal} - P_{ruido}$$

Un parámetro importante a tener en cuenta en las telecomunicaciones es la atenuación, podemos decir que la atenuación es la pérdida de potencia de una señal conforme se aleja del punto de emisión. Tanto la atenuación como el ruido afectan a la señal emitida haciendo que esta se degrade y que la calidad de la señal sea baja (Varo, 2017).

#### **1.1.4. Parámetros de Propagación que afectan a las ondas de radio**

Es el conjunto de fenómenos físicos que guían las ondas desde el emisor hacia el receptor. Por lo tanto, hay que tener en cuenta estos parámetros que afectan a la señal algunos de estos son los siguientes:

- Reflexión: es producida cuando la señal electromagnética choca en una zona, causando que parte de la señal se refleje en otra dirección. Esto depende de diversos elementos del material en el que la onda choca.
- Refracción: modificación de la trayectoria producida en una señal al pasar de un medio material a otro.
- Difracción: es el cambio sufrido por una onda cuando encuentra un obstáculo o al atravesar una rendija.
- Dispersión: se produce por la degradación de la señal debido a la reflexión en diferentes trayectorias.

#### **1.1.5. Modulación OFDMA (Acceso Múltiple por división de frecuencia ortogonal)**

Es una versión multiusuario de OFDM y es una de las características principales para mejorar el rendimiento de la red en el estándar IEEE 802.11ax debido a que con esta modulación se reducen las colisiones y mejora la manera de realizar QoS. Para transmitir simultáneamente pequeñas cantidades de datos, OFDMA lo que hace es subdividir el canal en sub-portadoras llamadas unidades de recursos (RUs), el conjunto de subportadoras se concede de forma individual a los usuarios como unidades de recurso por cada PPDU (*PLCP Protocol Data Unit*) o en español Unidad de datos del protocolo PHY por lo que los paquetes de datos pueden ser transmitidos simultáneamente a varios dispositivos a la vez.

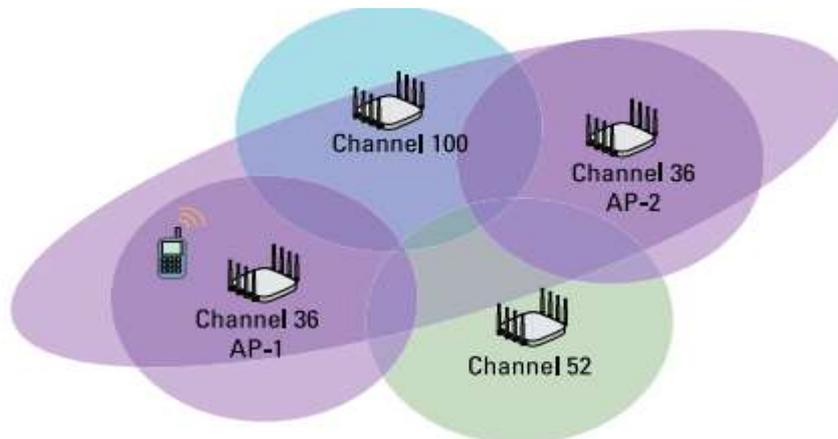
OFDMA permite utilizar subportadoras de otros grupos para enviar la información a diferentes clientes o dispositivos y la latencia disminuye, es así como con esta técnica de comunicación flexible y descentralizada aumenta el ancho de banda y el rendimiento de la red (Asus, 2020).

#### **1.1.6. Reutilización Espacial (BSS Coloring)**

Esta tecnología fue introducida por primera vez en el estándar 802.11ah para mitigar la interferencia que se produce cuando existen varios AP y usuarios en una misma zona que se interfieren uno con otro, ha esto se le denomina interferencia cocanal (CCI), el principal problema es debido a la movilidad que se tiene con Wi-Fi ya que el usuario al trasladarse desde un punto a otro se va a conectar a diferentes AP los cuales pueden estar ocupando el mismo número de canal.

**Figura 5**

*Interferencia Co-canal Provocada por un Usuario y varios AP*



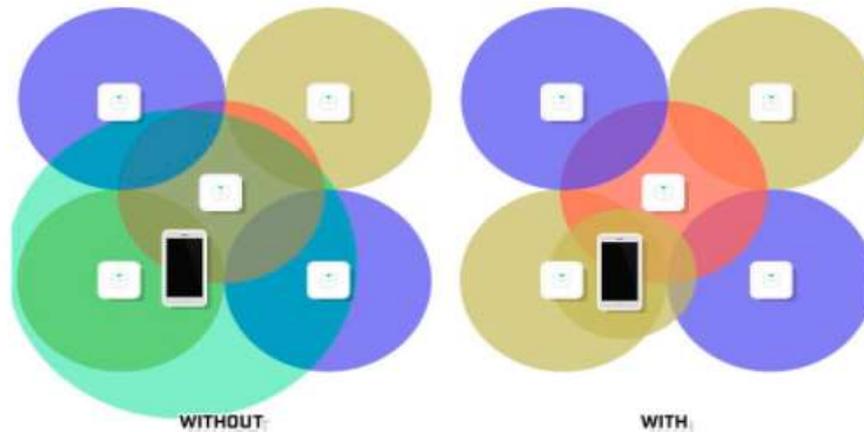
*Nota.* La interferencia co-canal se produce cuando varios AP o usuarios están transmitiendo por el mismo canal en una misma red. Reproducida de *OBSS interference caused by client*, 2018 Miller y Coleman.

El estándar 802.11ax resuelve el problema con la interferencia co-canal que se presentaban en las tecnologías anteriores y así aumentar la estabilidad de la conexión donde existan varios AP, esto se consigue optimizando la reutilización de frecuencias con la técnica que se denomina *Basic Service Set Coloring* (Coloración BSS), este es un campo que envía el AP en los mensajes de preámbulo para asignar un color diferente a cada frecuencia para esto se modifica la trama PHY añadiendo bits adicionales para esto, los colores son asignados aleatoriamente por el *access point*, por lo que puede ser que existan colores iguales entre vecinos BSS para corregir esto se incrementó los bits de 3 a 6.

Las STA (estaciones) o usuarios que utilizan este mecanismo son capaces de detectar cuando dos o más BSS trabajan en la misma frecuencia y proceden a enviar un mensaje al AP e informar, una vez notificado el AP empieza el proceso de cambio de color. También son capaces de distinguir si una trama es para esa estación o no, para ello verifican si el *BSS colour* es igual y acepta la trama (Cid, 2020).

**Figura 6**

*Reutilización de Frecuencias BSS Coloring*



*Nota.* Con BSS Coloring al cliente se le asigna el color *Beige* para que las peticiones las realice al AP con el mismo color. Adaptada de *Bss Coloring Reduce co-channel Interference*, 2021 Pinzón.

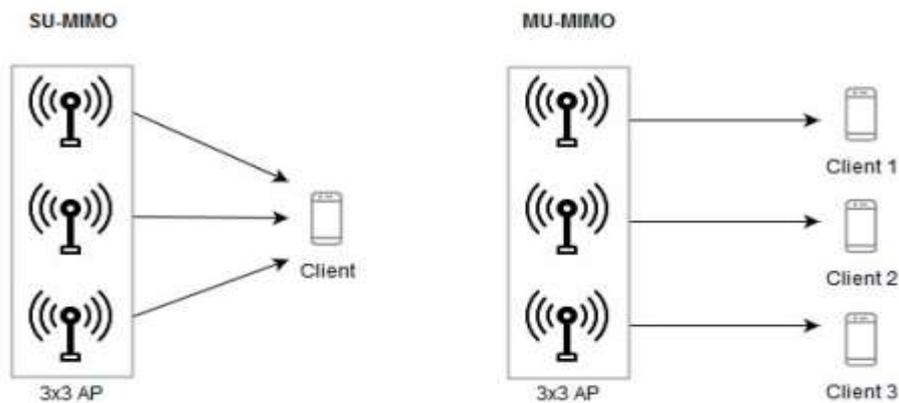
### **1.1.7. MU-MIMO (Multi usuarios MIMO)**

Es una tecnología que combina varias antenas transmisoras y receptoras con el fin de poder enviar más datos al mismo tiempo y por el mismo canal, para que esta tecnología funcione adecuadamente tanto el transmisor como el receptor deben admitir MU-MIMO. Ocupa múltiples flujos espaciales que brindan mayor robustez. Se ocupa tanto para el enlace *DownLink* y para el *UpLink* en el estándar 802.11ax, se establece la agrupación de tramas de sondeo, tramas de datos y otras tramas en la transmisión de varios dispositivos para que el canal de subida no se sobre cargue y aumentar el tiempo de respuesta. MU-MIMO utiliza tramas de activación para indicar a los usuarios que dispongan de esta tecnología que ocupen la misma, un AP con esta tecnología puede soportar conexiones de 2x2, 3x3, 4x4 y 8x8, que se refiere a la cantidad de flujos que crea el enrutador y permite brindar una mayor eficiencia en la red.

Las RU (Unidad de recurso) mínimo que se requiere para ocupar MU-MIMO es de 106 subportadoras tanto para el enlace de bajada como para el de subida (Miller y Coleman, 2018).

**Figura 7**

Tecnología SU-MIMO vs MU-MIMO



*Nota.* Mediante Multi-MIMO se observa que el AP envía de forma simultánea a los tres clientes. Reproducida de *Differences between SU-MIMO and MU-MIMO*, 2019 Galceran y Talló.

La utilización de esta tecnología estaría orientada y ofrece mayor rendimiento en entornos donde exista baja densidad de clientes y los cuales requieren un elevado ancho de banda.

#### 1.1.8. TWT (Target Wake Time)

La funcionalidad de *TWT* es brindar a los dispositivos que están conectados a la red permanecer en *standby* más tiempo para ahorrar energía y planificar su activación cuando necesite enviar o recibir datos. Los dispositivos establecen con el AP con qué frecuencia y cuando necesitan conectarse a la red. Esto es de gran utilidad para redes que cuenten con dispositivos IoT o con sensores los cuales no necesitan estar transmitiendo todo el tiempo, esto repercute en la vida útil de las baterías de estos dispositivos ya que las mismas se desgastan menos. La capacidad de la red también mejora con la implementación de *Target Wake Time* debido a que al no estar conectados todo el tiempo los dispositivos al punto de acceso el procesamiento del mismo será menor y así se priorizan otros servicios demandados en la red.

*TWT* se subdivide en dos conceptos el *TWT Agreement* que se puede definir como el acuerdo entre la negociación que se llevó a cabo por el AP y la estación, mientras que *TWT SP (Session Period)* la cual es el lapso de tiempo en el que una estación se encuentra en actividad para enviar o recibir datos (Miller y Coleman, 2018).

### 1.1.9. Cabecera PHY (Physical Layer)

La cabecera de la capa física del estándar 802.11ax se renovó para mantener las funciones nuevas que presenta el estándar y para mantener la compatibilidad con estándares pasados. Mediante los mensajes de preámbulo que se usan para realiza la sincronización del usuario con el punto de acceso, esta cuenta con dos partes, el preámbulo heredado es sencillo de leer para las estaciones con estándares anteriores a 802.11ax, los elementos de preámbulo HE (*High Efficiency*) se emplea para el envío de información sobre OFDMA, MU-MIMO, *BSS Coloring* y demás información necesaria para la correcta operabilidad entre radios 802.11ax.

Dentro del nuevo encabezado de PHY se especifican cuatro nuevos encabezados de alta eficiencia que son los siguientes:

- HE SU: se define como encabezado PHY de alta eficiencia de usuario único, se ocupa para la transmisión de un solo usuario en la red.
- HE MU: descrito como encabezado PHY de alta eficiencia multiusuario, se emplea para asignar unidades de recursos (RU) para MU-OFDMA Y MU-MIMO.
- HE EXT SU: descrito como encabezado PHY de alta eficiencia monousuario de rango extendido, se aumenta la potencia en 3 dB más para garantizar una mayor distancia en lugares al aire libre.
- HE TB: formato basado en la activación de alta eficiencia, utilizada para transmitir la respuesta de la trama de inicio, es ocupado por el canal de bajada solamente.

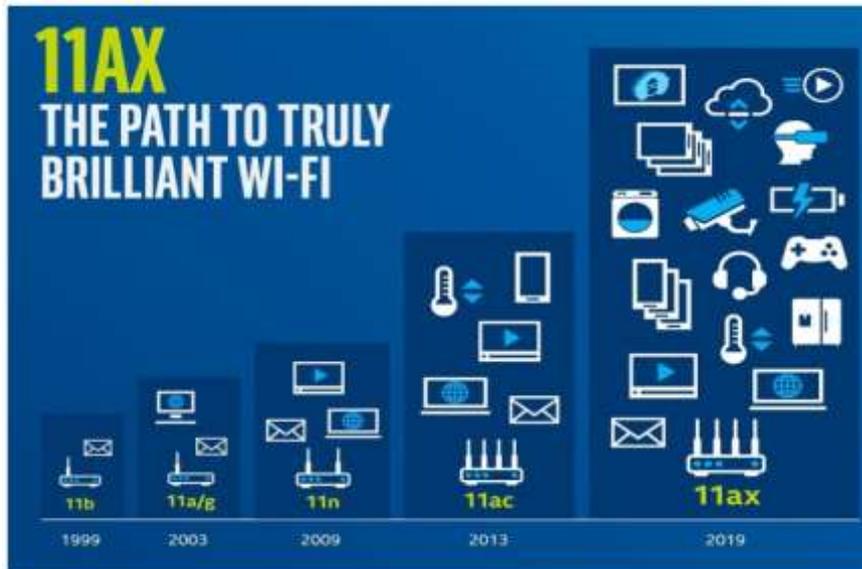
### 1.1.10. Estándar IEEE 802.11 b/g/n/ac/ax

Es un conjunto de normas para las redes inalámbricas, consta de una serie de técnicas de modulación semidúplex para transmitir por medios no guiados y está basado en una arquitectura celular, pertenece a la capa física del modelo OSI. Es el protocolo más utilizado para la creación de redes *WLAN*.

El estándar 802.11 es una normativa creada a finales del siglo XX por el IEEE para estandarizar las redes inalámbricas y que su uso fuese lo más eficiente posible, los desarrolladoras han ido desarrollando mejoras y en 1990 se lanza el estándar 802.11a y 802.11b, años después se mejora el estándar y en 2003 se da a conocer el estándar 802.11g, en 2009 se presenta el estándar 802.11n, en 2014 se despliega el estándar 802.11ac y a finales del 2018 es presentado por el IEEE el estándar 802.11ax o *WiFi 6*.

**Figura 8**

*Evolución cronológica del estándar IEEE 802.11*



*Nota.* Evolución cronológica del estándar IEEE 802.11 desde el primer diseño comercial hasta el utilizado en la actualidad. Reproducida de Tipos de *WiFi* a b g n 6, 2020 easystem.

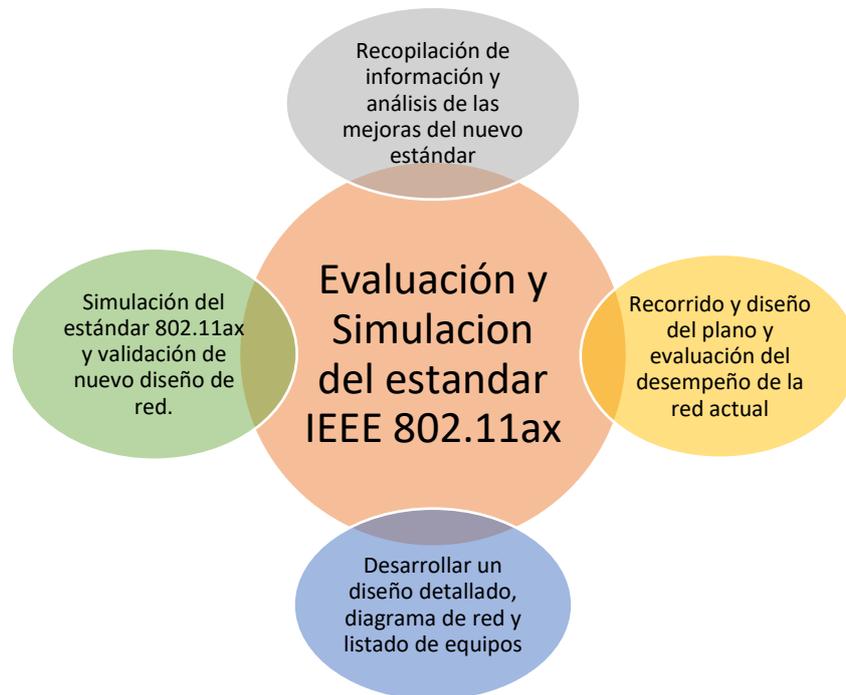
## 1.2. Descripción de la propuesta

Para poder cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación es necesario analizar y estudiar el funcionamiento del estándar IEEE 802.11ax para lo cual es importante entender cómo se propagan las ondas electromagnéticas, que genera que se degrade las ondas electromagnéticas y el funcionamiento básico de las comunicaciones inalámbricas. Es necesario analizar la evolución de la seguridad en las redes *WiFi* ya que como se indicó anteriormente la gran mayoría de usuarios usa la tecnología *WiFi* como medio de conexión a internet.

Por otra parte como se describió en el capítulo I, en el apartado de Metodología de la investigación se tendrá como base el método PPDIOO de Cisco para el diseño de la red, en primer lugar es necesario validar el funcionamiento y topología de la red implementada y realizar un plano para eso se utiliza la herramienta de *AutoCAD*, el siguiente paso consiste en la verificación de la cobertura y validación de los equipos seleccionados para la propuesta para efectuar el análisis de la cobertura se utiliza el software online de UniFi ya que los equipos seleccionados para la propuesta son marca Ubiquiti. Para poder evaluar la mejora de la nueva solución propuesta se realizaron diversas simulaciones en el software diseñado por (Galceran y Talló, 2019) para poder comprobar que implementación es la más eficiente.

**Figura 9**

*Fases para el desarrollo del trabajo de investigación*



### **1.2.1. Fase I Planeación: Recopilación de información y análisis de las mejoras del nuevo estándar**

En esta fase se realiza una revisión bibliográfica de artículos y libros para desarrollar una evaluación comparativa entre el estándar 802.11ac y el nuevo estándar para analizar las modificaciones que este tiene y así poder evaluar las ventajas que ofrece.

#### **1.2.1.1. Comparativa entre el estándar 802.11ac vs 802.11ax**

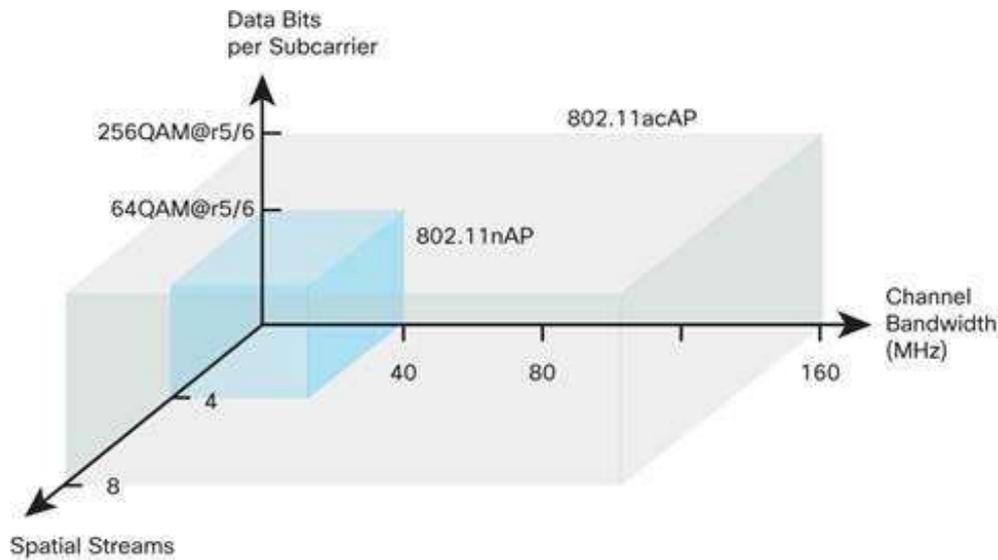
El estándar 802.11ac fue publicado a finales del 2014 y es considera la quinta generación de redes inalámbricas locales también es conocida como *WiFi 5*, este presenta una WLAN multiestación con una velocidad máxima de 1 Gbps con un ancho de canal de 160 MHz para poder alcanzar estas velocidades de transmisión se integraron nuevas características que son las siguientes:

- Incremento en el ancho de los canales que se utilizan que son de 40 MHz hasta 160 MHz.
- Ocupa hasta 8 flujos espaciales que aumenta la velocidad de transmisión al doble.
- Integra un esquema de modulación más complejo que es 256 QAM, esto permite un incremento en la ráfaga de velocidad en pequeños tramos.

Este estándar fue diseñado con la finalidad de aumentar el rendimiento de la red inalámbrica en los domicilios, empresas y sectores públicos, en la figura 10 podemos observar las mejoras que presenta frente a su antecesor el 802.11n (Fatchur, *et al* 2020)

**Figura 10**

*Características del estándar 802.11n vs 802.11ac*

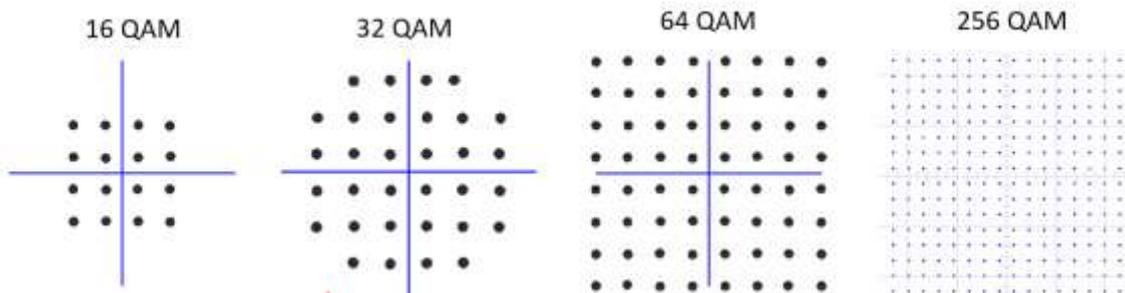


*Nota.* Comparativa del esquema de modulación, flujo espacial y ancho de banda del canal del estándar 802.11n vs 802.11ac. Reproducida de *802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi*, 2018 Cisco.

Como se observa en la Figura 10 se pasa de 64 QAM a 256 QAM para lograr mayor velocidad esto hace que con esta modulación los puntos de constelación estén más cerca uno de otro por lo se vuelve más sensible al ruido.

**Figura 11**

*Comparativa de las distintas modulaciones por amplitud cuadrada que existen*



*Nota.* Evolución de la modulación de amplitud en cuadratura. Reproducida de *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*, 2022 Marc Lichtman.

El incluir 256QAM como modulación no quiere decir que se requiere más ancho de banda del canal ni tampoco que se utilicen más antenas que con 64 QAM. Lo que sí requiere un incremento en el número de antenas es el flujo espacial.

Integra cifrado *WPA2 (WiFi Protected Access)* este protocolo cuenta con dos fases, en la primera fase se genera una cadena con la clave, dirección MAC del emisor y el vector de chequeo de inicialización. En la siguiente fase se adiciona una llave dinámica de 48 bits para cada paquete transmitido, además cuenta con la comprobación de integridad mejorada AES CCMP que proporciona mayor robustez al protocolo (Chica, 2019).

Por otro lado, tenemos el estándar 802.11ax diseñado para satisfacer las necesidades de las redes inalámbricas actuales, en las que se requiere una latencia muy baja, anchos de banda extremadamente altos y alta densidad de dispositivos conectados a la red. Una de las principales necesidades que mejora este nuevo estándar es el aumento progresivo de dispositivos inteligentes que se conectan a las redes, esto debido a la implementación de nuevas tecnologías como son el internet de las cosas IoT y la industria 4.0, en las cuales numerosos dispositivos se conectan a la red inalámbricamente para enviar diversos datos, por lo que las redes inalámbricas de nueva generación deben realizar un mejor trabajo de administración y brindar una calidad de servicio QoS a todos los usuarios.

802.11ax cuenta con un nuevo protocolo PHY el cual utiliza una mayor modulación y un esquema de codificación diferente. En comparación con su antecesor 802.11ac el estándar 802.11ax no incrementa el número de transmisiones espaciales MIMO y ocupa los mismos canales, por lo tanto, el incremento en la velocidad de transmisión es de 37 % en comparación con el estándar anterior, dando una velocidad máxima teórica de 9,6 Gbps.

El aumento del rendimiento para el usuario se logra mediante una mayor eficiencia en el uso del espectro, la característica principal para esto es la implementación del esquema de modulación OFDMA la cual se implementa en redes de telefonía móvil (Khorov *et al*, 2019).

También se mejora el rendimiento de la red y se disminuye la interferencia en redes superpuestas y densas para ello se enfoca en la mejora de los diferentes componentes:

- *BSS Coloring* o reutilización espacial
- Modificaciones en el vector de Asignación de Red (NAV)
- Virtualización.
- Operación de *microsleep* o *stanby*, la cual permite a una STA que se apague si interfiere con una trama ajena.
- Target Wake Time (TWT)
- 1024 modulación de amplitud en cuadratura (1024-QAM)

**Tabla 5**

*Mejoras en la capa física del estándar 802.11ax vs estándares pasados*

PHY		
	Legacy feature	New 802.11ax features
<b>Spectrum</b>	Up to 40 MHz at 2.4 (11n), up to 160 MHz al 5GHz (11ac), or up to 16 MHz at 0.9 GHz (11ah)	Up to 40 MHz at 2.4, up to 160 MHz at 5 GHz
<b>OFDM Constellation Order</b>	256-QAM (11ac)	1024-QAM
<b>OFDM Symbol duration</b>	3.2 $\mu$ s	0.8, 1.6 or 3.2 $\mu$ s (5, 10 o 20% overhead)
<b>OFDM Guard Interval</b>	0.4 o 0.8 $\mu$ s	0.8, 1.6 o 3.2 $\mu$ s
<b>MIMO Order</b>	4 (11n), 8 (11ac)	8
<b>Maximal Data Rate</b>	Aporx. 7 Gbps	9.6 Gbps

*Nota.* Reproducida de MAIN FEATURES OF 802.11AX, 2019 Khorov et al.

**Tabla 6**

*Mejoras en la capa MAC del estándar 802.11ax vs estándares pasados*

CHANNEL ACCESS		
	Legacy feature	New 802.11ax features
<b>Basic channel access</b>	CSMA/CA	OFDMA o CSMA/CA
<b>Random channel access</b>	DCF, EDCA	UL OFDMA
<b>Contention-free access</b>	PCF, HCCA	Tigger based UL OFDMA
<b>MU Technology</b>	MU-MIMO (11 ac)	MU-MIMO, OFDMA
<b>MU transmisión direcction</b>	DL (11ac)	DL y UL
<b>Fragmentation</b>	Static	Flexible
<b>Aggregation</b>	A-MSDU, A-MPDU (11n)	A-MPDU, A-MSDU
<b>HE/Legacy Faimess</b>		2 EDCA

*Nota.* Reproducida de MAIN FEATURES OF 802.11AX, 2019 Khorov et al.

### 1.2.2. Fase II Planeación

Se realiza un reconocimiento del área de trabajo para elaborar un plano mediante el software *AutoCad*, se verifican los problemas que presenta la red inalámbrica implementada y se determinan los requerimientos para realizar el nuevo diseño.

#### 1.2.2.1. Análisis de la situación actual

Mediante las visitas realizadas en el área donde se requiere ejecutar la simulación se pudo constatar que existen dos edificios, los cuales se les llamó bloque “A” área administrativa, el cual cuenta con dos pisos y bloque “B” área técnica.

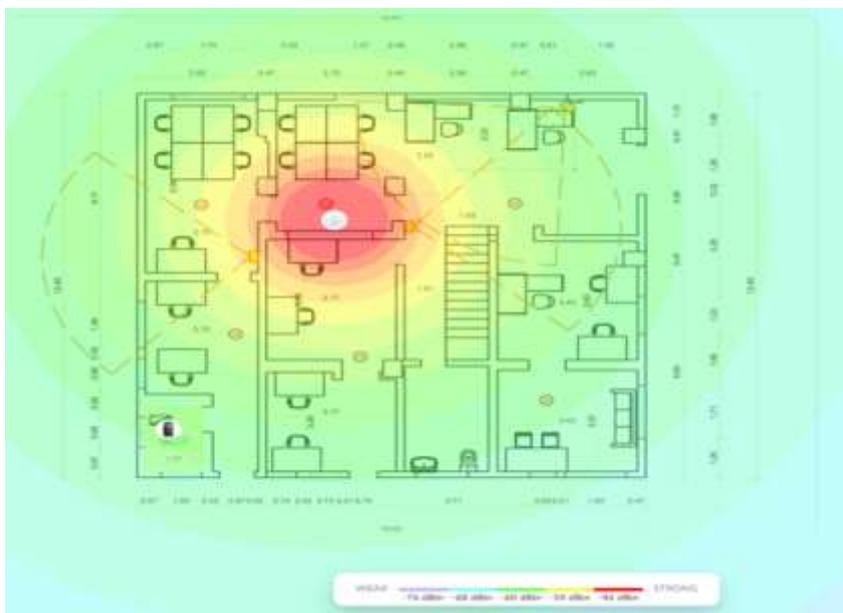
### Bloque "A" planta baja

Se puede evidenciar que en la planta baja del bloque "A" están habilitados 12 puestos de trabajo, en esa zona existe un AP marca Cisco Aironet 1600 series el cual trabaja bajo el estándar 802.11n. Las características del AP son las siguientes:

- 3 x 3 multiple-input multiple-output (MIMO) with two spatial streams
- Maximal ratio combining (MRC)
- 20- and 40-MHz channels
- PHY data rates up to 300 Mbps

### Figura 12

*Topología del bloque "A" planta baja de la red WiFi existente*



*Nota.* La simulación del mapa de cobertura WiFi fue realizada en el software de Unifi. Elaboración propia.

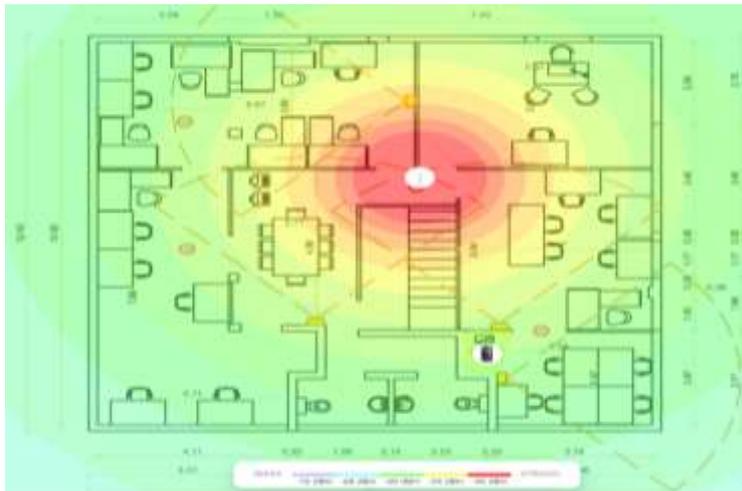
Por lo antes expuesto y la mala ubicación del AP la cobertura del WiFi es deficiente en las zonas más alejadas, en el mapa de calor de cobertura se debe indicar que no toma en cuenta paredes, puertas, ventanas y demás obstáculos que interfieren la propagación de la señal WiFi, por lo tanto, se debe tener en cuenta que la cobertura mostrada en la figura 12 será menor.

### Bloque "A" planta alta

Por otro lado, se observó que en la primera planta se dispone de 15 puestos de trabajo y de igual manera un solo *access point* de las mismas características, por lo que presenta los mismos problemas de cobertura ya que el AP no abastece para toda el área.

**Figura 13**

*Topología del bloque "A" planta alta de la red WiFi existente*



*Nota.* La simulación del mapa de cobertura WiFi fue realizada en el software de Unifi. Elaboración propia.

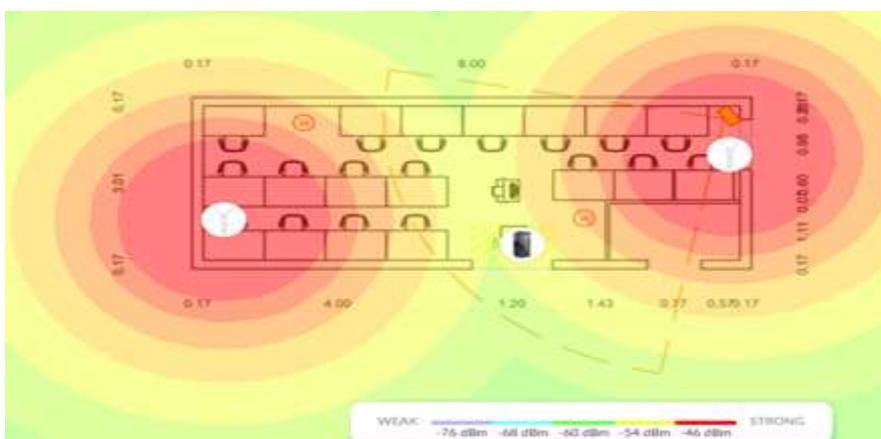
Por otro lado, también se verifica que existen problemas de solapamiento ya que la señal del AP de la planta baja llega a determinadas zonas de la planta alta y por ende los dispositivos no saben con certeza a que AP enviar las solicitudes.

### **Bloque "B" área técnica**

En esta zona se evidencio que al momento cuenta con 18 espacios de trabajo, dos *access point* Cisco Aironet 1600 series, se observó que no existen problemas de cobertura ya que hay dos AP, por otro lado, se evidencia que existe problemas de interferencia co-canal ya que al estar funcionando dos AP en un lugar reducido se interfieren el uno con el otro.

**Figura 14**

*Topología del bloque "B" área técnica de la red WiFi existente*



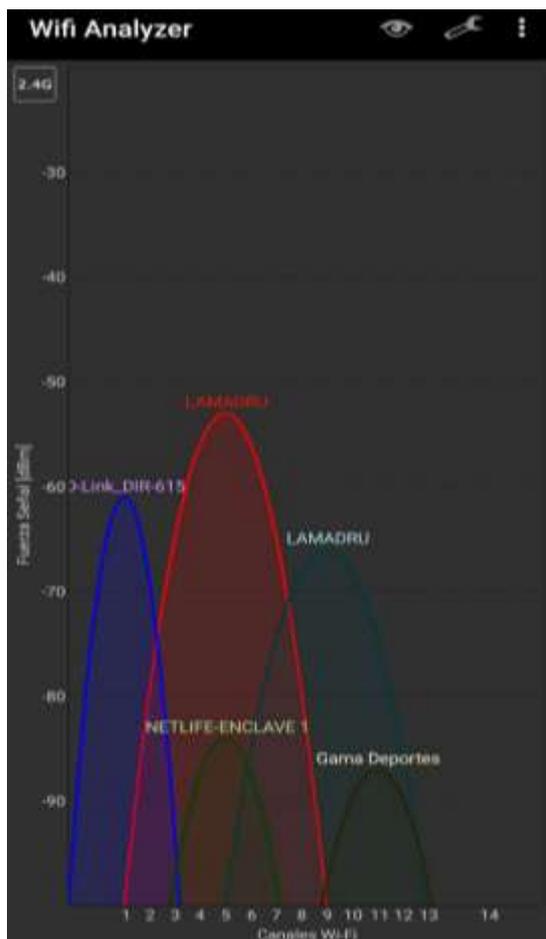
*Nota.* La simulación de la cobertura WiFi fue realizada en el software de Unifi. Elaboración propia

## Evaluación de rendimiento de la red actual

Para poder estimar el rendimiento de la red implementada se utiliza el software denominado *WiFi Analyzer* el cual permite analizar las redes *WiFi* cercanas tanto de 2.4 y 5 GHz para poder determinar en qué canal trabaja cada una, también nos indica el nivel de señal de cada red, mediante esta aplicación se puede determinar de manera más clara el nivel de señal *WiFi* en cada parte de la oficina.

**Figura 15**

*Redes inalámbricas cercanas en el bloque "A" planta baja*

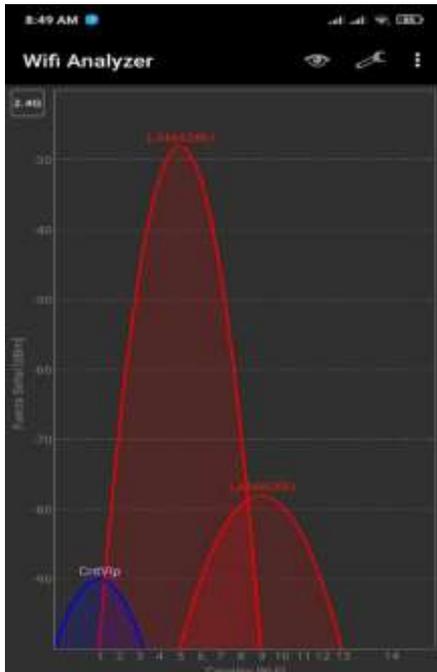


*Nota.* Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 15 la red con SSID "LAMADRU" es la que se encuentra en funcionamiento en la actualidad, como se verifica existen dos redes con el mismo nombre ya que la de menos intensidad es la que irradia el AP de la planta alta, se aprecia en la imagen que las dos señales se interfieren entre sí produciendo un desempeño bajo de la red.

**Figura 16**

*Redes inalámbricas cercanas en el bloque "A" planta alta*

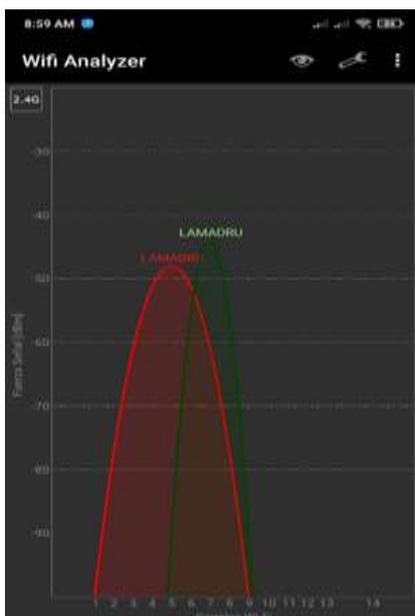


*Nota.* Elaboración propia.

En la figura 16 evidencia que se tiene el mismo resultado de la planta baja en la que la señal del AP del otro piso se superpone a la frecuencia de irradiación del AP de la planta alta ocasionando el mismo problema de la interferencia co-canal.

**Figura 17**

*Redes inalámbricas cercanas en el bloque "B" área técnica*



*Nota.* Elaboración propia.

En la figura 17 se contemplan la cobertura de las redes del bloque “B” en las cuales como se indicó en la figura 14 existen dos AP en un área reducida por lo que la cobertura de los AP se van interferir ocasionado un bajo rendimiento de la red.

Así mismo para verificar el desempeño de la red se ocupó el programa *TamoSoft Throughput Test* el cual sirve para medir el rendimiento de redes WLAN o LAN y funciona bajo sistema operativo Linux o Windows. Para su funcionamiento necesita tener un servidor y un cliente, el software envía tramas TCP o UDP por toda la red y realiza un monitoreo de los paquetes perdidos, latencia y velocidad del enlace (TamoSoft, 2021).

**Figura 18**

*Desempeño de la red WiFi actual en el programa TAMOSOFT*



*Nota.* Se puede verificar el *Throughput* y la latencia de la red implementada. Elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior la velocidad de transmisión máxima entre el AP y el usuario es de 16 Mbps la cual es aceptable para realizar las actividades que se llevan a cabo, pero también se pudo visualizar que en ocasiones la velocidad de transmisión es 0 Mbps por lo que existe pérdida de paquetes afectando al desempeño de la red.

**Figura 19**

*Paquetes perdidos de la red actual en el programa TAMOSOFT*



*Nota. Elaboración propia.*

### 1.2.3. Fase III Diseño

En esta fase se desarrolla el nuevo diseño de red, se presentan las características de los AP escogidos para el diseño y se presenta el diagrama de la red *WiFi* nueva.

#### **Bloque "A" planta baja y primera planta rediseño de la red**

Como se observó en la fase anterior existen problemas de cobertura *WiFi* por la mala ubicación del *access point* y por qué solo existe un AP, para el diseño se tiene previsto implementar dos AP de la marca Ubiquiti modelo U6-LR que tiene las siguientes características:

- Procesador de doble núcleo a 1,3 GHz (ahora actualizado para admitir el rendimiento de TCP / IP full-duplex de 1 Gbps)
- Tecnología *Wi-Fi 6* de alta eficiencia de cuatro flujos
- Banda de 5 GHz 4x4 MU-MIMO y OFDMA con velocidad de radio de 2,4 Gbps
- MIMO 4x4 de banda de 2,4 GHz con velocidad de radio de 600 Mbps
- Alimentado con 802.3at PoE (inyector PoE no incluido)
- Administrado por la versión del controlador de red UniFi: 6.0.34 o superior
- Bluetooth 5

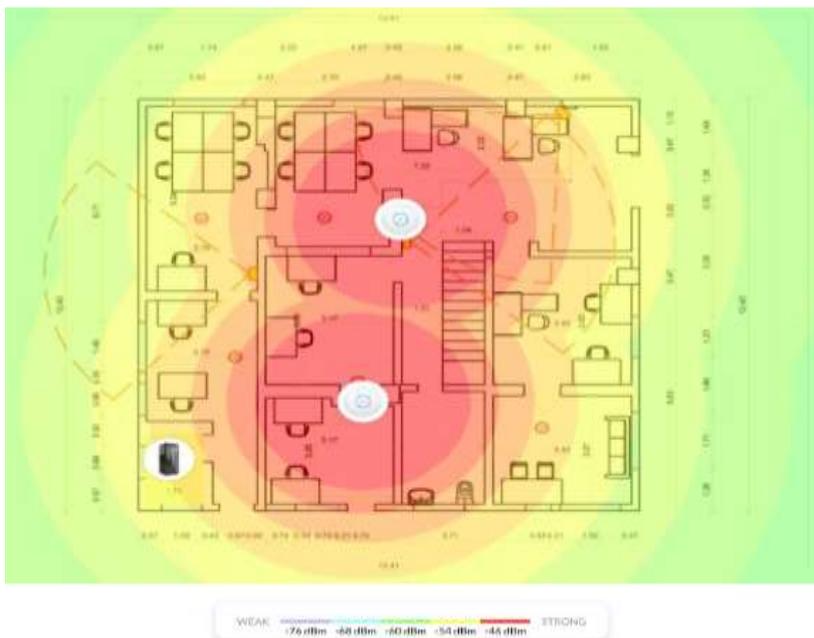
Para simular las áreas de cobertura se utilizó el mismo software de Ubiquiti denominado *UniFi Design Center*.

**Figura 20**  
Cobertura WiFi 2.4GHz planta baja bloque "A" con el equipo Ubiquiti U6-LR.



*Nota.* Se puede visualizar que por la ubicación de los equipos se brinda cobertura a toda el área garantizando la señal WiFi a todos los usuarios. Elaboración propia

**Figura 21**  
Cobertura WiFi 5GHz planta baja bloque "A" con el equipo Ubiquiti U6-LR.



*Nota.* Se observa que la cobertura alcanza a cubrir toda el área. Elaboración propia

**Figura 22**

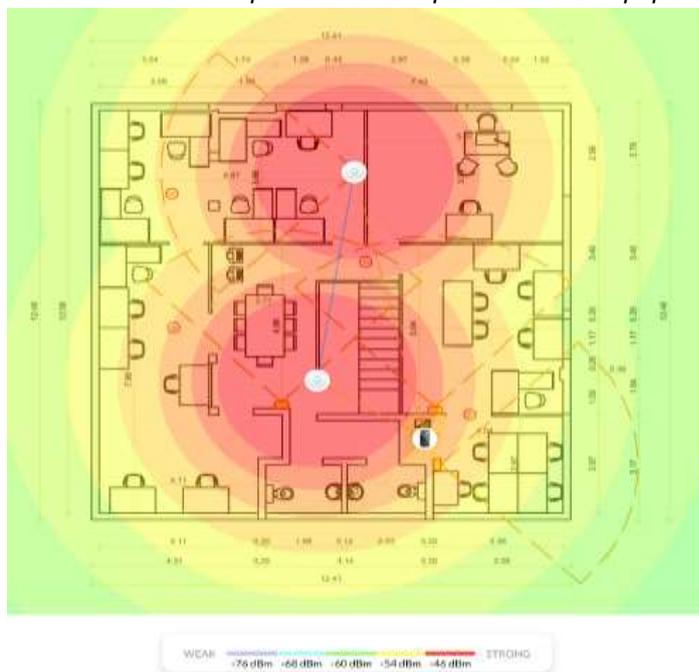
*Cobertura WiFi 2.4GHz planta alta bloque "A" con el equipo Ubiquiti U6-LR.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 23**

*Cobertura Wifi 5GHz planta alta bloque "A" con el equipo Ubiquiti U6-LR*



*Nota.* Elaboración propia.

Como podemos observar en las imágenes ya no existen zonas sin cobertura *WiFi*, inclusive los usuarios y equipos más distantes del AP tendrán un nivel de -60 dBm que es el valor mínimo que

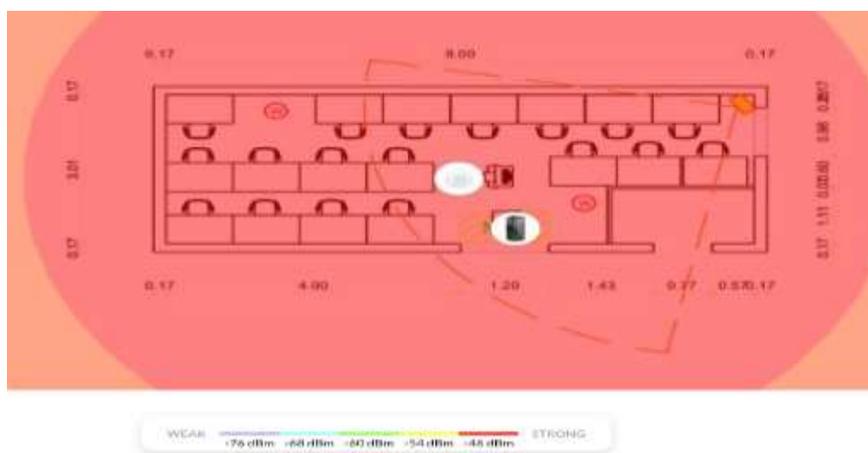
recomienda el fabricante para que no existan problemas de conectividad. De igual forma al ocupar *access point* con estándar 802.11ax y estos tener *BSS Coloring* no existirá interferencias por los otros AP que se están ocupando en el bloque "A".

### Bloque "B" área técnica rediseño de la red

Para esta área se consideró la utilización de un solo AP con las mismas características que el ocupado para el bloque "A", el AP será ubicado en un lugar céntrico con el fin de que cubra todas las partes de la oficina con un único AP y se elimine el problema de las interferencias cocanal que se tenía anteriormente.

**Figura 24**

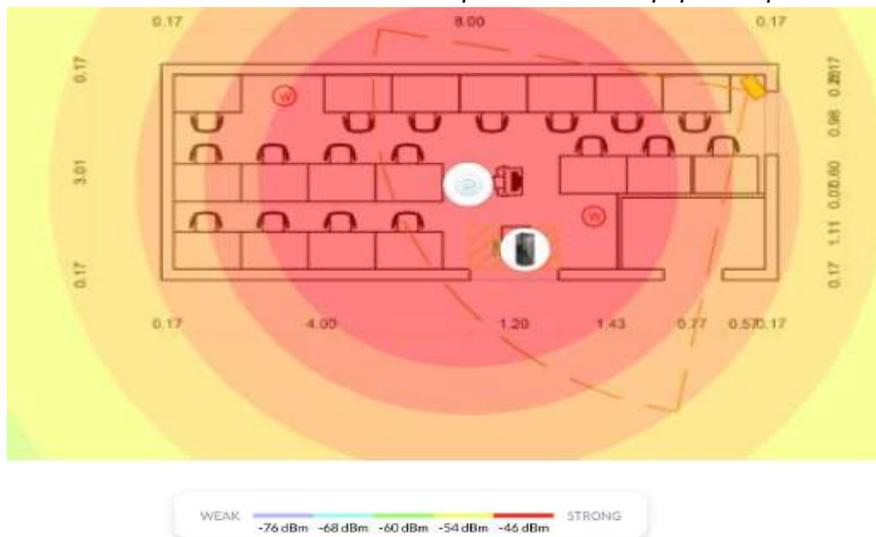
*Cobertura WiFi 2.4GHz área técnica bloque "B" con el equipo Ubiquiti U6-LR*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 25**

*Cobertura WiFi 5GHz área técnica bloque "B" con el equipo Ubiquiti U6-LR*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 1.2.4. Fase IV Simulación

Los resultados de las simulaciones realizadas bajo el estándar 802.11ax nos permitirá determinar si existe mejora en la utilización del nuevo estándar y se podrá identificar qué configuración es la más óptima ya que podremos observar cómo las nuevas funciones del estándar trabajan y cuál aplicar en cada caso. Para las simulaciones se utiliza el software descrito en el trabajo “*Analysis and simulation of Wireless Networks, IEEE 802.11ax DL*”, las simulaciones se pueden analizar en el capítulo I en el apartado de análisis de resultados.

#### 1.3. Validación de la propuesta

Para la elección de especialistas se ha considerado un perfil acorde a los siguientes criterios: formación académica relacionada con el tema investigativo, experiencia académica y/o laboral orientada a la gestión administrativa y motivación para participar. La siguiente tabla presenta información detallada de los actores seleccionados para la validación del modelo.

**Tabla 7**

*Descripción de perfil de validadores*

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Años de experiencia</b>	<b>Titulación Académica</b>	<b>Cargo</b>
<b>Edward Kleber Illescas Robalino</b>	28	MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES MENCION EN GESTION DE LAS TELECOMUNICACIONE	ANALISTA ENTREGA SERVICIOS CORPORATIVOS
<b>Jaime Xavier Caiza Tipán</b>	10	MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES MENCION EN GESTION DE LAS TELECOMUNICACIONE	ANALISTA ENTREGA SERVICIOS CORPORATIVOS
<b>Barahona Toapanta Leyla Marina</b>	15	MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES MENCION EN GESTION DE LAS TELECOMUNICACIONE	ANALISTA SOPORTE TECNICO NIVEL 1

*Nota.* Elaboración propia

Los objetivos perseguidos mediante la validación son los siguientes:

- Validar la metodología de trabajo aplicada en el desarrollo de la investigación.
- Aprobar los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas.
- Redefinir (si es necesario) el enfoque de los elementos desarrollados en la propuesta,

considerando la experiencia de los especialistas.

- Constatar las posibilidades potenciales de aplicación del modelo de gestión propuesto.

Instrumento para validar

Luego de seleccionar a los profesionales que conformaron el panel para la validación, se procedió a desarrollar los criterios de evaluación; facilitando un link de acceso que detalla los parámetros considerados a cada validador. A continuación, se especifican los criterios en mención:

**Tabla 8**

*Criterios de Evaluación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

*Nota.* Elaboración propia

Una vez puntualizados los criterios utilizados en la validación, se determinó la escala de criterios cualitativos para su evaluación, según el nivel de importancia y representatividad

**Tabla 9***Escala de evaluación de criterios*

CRITERIOS	En Total	En	Ni de Acuerdo	De	Totalmente de Acuerdo
	Desacuerdo	Desacuerdo	Ni en Desacuerdo	Acuerdo	
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 10***Preguntas Instrumento de validación*

Crterios	Preguntas
<b>Impacto</b>	¿Considera que el modelo de gestión propuesto representará un impacto significativo en la generación de valor público?
<b>Aplicabilidad</b>	¿Los contenidos de la propuesta son aplicables?
<b>Conceptualización</b>	¿Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías de la gestión por resultados?
<b>Actualidad</b>	¿Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y nuevos cambios que puedan producirse?
<b>Calidad Técnica</b>	¿El modelo propicia el cumplimiento de los protocolos de atención analizados desde la óptica técnico-científica?
<b>Factibilidad</b>	¿Es factible incorporar un modelo de gestión por resultados en el sector?
<b>Pertinencia</b>	¿Los contenidos de la propuesta pueden dar solución al problema planteado?

*Nota.* Elaboración propia

Se han establecido los niveles de importancia y representatividad y un valor máximo de cinco puntos, el cual, será otorgado según el desempeño adecuado del criterio; y un mínimo de un punto en el caso de observarse un cumplimiento insuficiente.

Presente la validación de la propuesta a través del método de criterios de especialistas.

#### 1.4. Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

**Tabla 11**

*Matriz de articulación*

EJES O PARTES PRINCIPALES	SUSTENTO TEÓRICO	SUSTENTO METODOLÓGICO	ESTRATEGIAS / TÉCNICAS	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	INSTRUMENTOS APLICADOS
<b>Recopilación de información y análisis de las mejoras del estándar 802.11ax.</b>	OFDMA, MU-MIMO, BSS <i>Coloring</i> , 1024-QAM, WPA3	Revisión bibliográfica de artículos y libros	Desarrollo el marco conceptual del estándar 802.11ax	Verificación de las mejoras implementadas para garantizar un mejor rendimiento y seguridad a las redes WLAN	Recolección de información mediante internet y libros
<b>Recorrido, diseño del plano y evaluación del desempeño de la red actual.</b>	Elaboración del plano, generación mapa cobertura <i>WiFi</i> , verificación del desempeño de la red actual	Investigación de campo y simulación	Analizar el rendimiento actual de la red <i>WiFi</i> y determinar los problemas de cobertura que presenta	Evidenciar el desempeño de la red, cantidad de paquetes perdidos, velocidad de conexión entre el AP y los usuarios y cobertura de los AP	<i>AutoCad</i> para la elaboración del plano. Se ocupó el software <i>Unifi Design Center</i> para la elaboración del mapa de cobertura y se realizó un análisis de la aplicación <i>Wifi Analizar</i> y <i>Tamasoft</i> para ver cómo trabaja la red actual.

<b>Desarrollar el nuevo diseño de la red y listado de equipos</b>	Validación de cobertura y AP que trabajen con el estándar 802.11ax	Investigación experimental y simulación	Simulación de área de cobertura con las características de los AP seleccionados para determinar la mejor topología a implementar	Optimización del espectro para que no exista interferencia entre AP y que todos los usuarios dispongan de cobertura Wifi	<i>Unifi design center</i> se ocupó para determinar el área de cobertura ya que integra las características del AP seleccionado como mejor opción para implementar.
<b>Simulación del estándar 802.11ax y validación de nuevo diseño de red.</b>	Verificación si las mejoras que implementa el nuevo estándar mejoran el rendimiento de la red <i>WiFi</i> .	Investigación experimental y simulación	Análisis de las simulaciones para verificar si existe mejora	Se observó que con la utilización de <i>BSS Coloring</i> y la modulación 1024-QAM se incrementó el rendimiento de la red	<i>Multi WLAN Analyzer Tool</i> fue la herramienta utilizada para realizar las simulaciones.

*Nota.* Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Por la demanda de recursos que necesitan las redes WLAN en la actualidad y por el incremento de dispositivos que se conectan a las mismas es necesario disponer de redes *WiFi* que garanticen el rendimiento, *QoS*, latencia baja y seguridad, para esto el nuevo estándar IEEE 802.11ax implementa una serie de características importantes las cuales son la implantación de la modulación OFDMA en el enlace de subida, reutilización de frecuencia por colores, 1024-QAM, *Target Wake Time (TWT)* y *WPA 3*.

Las modificaciones implementadas en la capa física como 1024-QAM y el incremento de 8x8 en antenas MIMO garantiza un aumento de la velocidad de transmisión entre los usuarios y los AP, esto a su vez asegura una mayor flexibilidad y crecimiento en las redes con estándar 802.11ax.

Como se evidencio en la investigación los cambios implementados en la capa MAC como es el mecanismo de acceso al medio OFDMA tanto para el enlace de subida como para el de bajada, MU-MIMO de igual manera para el enlace ascendente y descendente, mecanismo flexibles para mitigar la interferencia en la red y el nuevo protocolo de seguridad *WPA 3* por todo lo expuesto antes el estándar IEEE802.11ax garantiza una velocidad elevada y calidad de servicios en sitios con tráfico elevado y asegura la conectividad de muchos dispositivos a un mismo AP.

Por las ventajas, fácil implementación y bajo coste las redes inalámbricas son muy utilizadas en los hogares, empresas y diferentes sitios por lo cual es necesario contar con redes *WiFi* actualizas para satisfacer la demanda de los usuarios, por lo tanto es necesario realizar un buen diseño de la red que satisfaga las necesidades, existen distintos programas para realizar diseños de redes, el programa *Unifi Design Center* muestra la cobertura que se tendrá con los diferentes AP que maneja, para así poder concluir cantos AP se requiere para la implementación.

Mediante las simulaciones obtenidas podemos concluir que el rendimiento de las redes 802.11ax no difiere tanto de las redes 802.11ac, la mejoría se evidencia en redes con gran demanda de usuarios y tráfico elevado ahí el nuevo protocolo si proporciona estabilidad y gran rendimiento.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda monitorear continuamente los avances que surjan ya que se están determinando en su totalidad los mecanismos de cifrado de WPA3, además se espera una resolución para validar si es posible ocupar la banda de 6 GHz sin licencia.

Al ocupará modulaciones altas como 1024-QAM se recomienda monitorear el nivel de señal y la distancia ya que cuanto más alto es la modulación se alcanza mayor ancho de banda, pero la señal se degrada más, por otro lado, se recomienda verificar que los dispositivos que se conecten a la red dispongan de MU-MIMO para que puedan sacar el máximo provecho de la red.

Se sugiere realizar el mapa de cobertura con otro software diferente al de Ubiquiti para determinar si existen en el mercado AP con mejores prestaciones para poder implementar redes más robustas y flexibles y garantizar un diseño de red que cumpla con las necesidades requeridas por el usuario.

Para una correcta implementación se recomienda verificar el datasheet del AP que se va a ocupar para determinar si tiene incorporado el nuevo protocolo de cifrado WPA 3, ya que los AP de primera generación de WiFi 6 no contaban con la implementación de esta mejora.

Es recordable la utilización de otro software de simulación para verificar si los datos obtenidos con el programa *Multi WLAN Analyzer Tool* son confiables para poder realizar futuras simulaciones con exactitud.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anguís Horno, J. J. (2008). Diseño de la WLAN. En J. J. Anguís Horno, *Proyecto Técnico para la Red de Área Local* (págs. 45-46). Sevilla: TCNS Limited.
- Asus. (24 de Septiembre de 2020). *Asus*. Obtenido de ¿Qué es OFDMA?: <https://www.asus.com/latin/support/FAQ/1042759/>
- C. Miller, L., & Coleman, D. (2018). 802.11ax For Dummies, Aerohive Special Edition. En D. Coleman, *802.11ax For Dummies, Aerohive Special Edition* (pág. 44). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Cid, Á. A. (Junio de 2020). Diseño de mecanismos de scheduling sobre IEEE 802.11ax usando Target Wake Up Time (Implementación en NS-3). (*Tesis de Maestría*). Universidad Oberta de Catalunya, Barcelona. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/116346/9/acidciTFM0620memoria.pdf>
- easystem. (18 de Octubre de 2020). *easystem*. Obtenido de <https://www.easystem.co/tipos-de-wifi-a-b-g-n/>
- Fatchur Rochim, A., Harijadi, B., Purbanugraha, Y. P., Fuad, S., & Adi Nugroho, K. (20 de Febrero de 2020). Performance comparison of wireless protocol IEEE 802.11ax vs 802.11ac. *2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)*, 1-5. doi:10.1109/ICoSTA48221.2020.1570609404
- Galceran Esteve, X., & Talló Domínguez, I. (2019). *POLYTECHNIC SCHOOL UPF*. Obtenido de [https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/42562/Galceran\\_Tallo\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/42562/Galceran_Tallo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Glass, G., & Hopkins., K. (1984). *Statistical methods in education and psychology*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- González Villalobos, J. U. (s.f.). Comparación entre el Estándar IEEE 802.11ax y el estándar IEEE 802.11ac para. *Especialización en Teleinformática – Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 11.
- Hernandez, R. (5 de diciembre de 2013). *SCRIB*. Obtenido de ANALISIS E INTERPRETACION DE ESTADOS FINANCIEROS: <https://es.scribd.com/document/163863508/Funciones-Del-Ejecutivo-Financiero>
- Intel. (15 de Junio de 2021). *Learn about Multiple-Input Multiple-Output*. Obtenido de What is Multiple-Input Multiple-Output?: <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005714/wireless/legacy-intel-wireless-products.html>
- Khorov, E., Kiryanov, A., Lyakhov, A., & Bianchi, G. (2019). A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 21*, 197-213.
- Kwon, S., & Choi, H.-K. (22 de Julio de 2020). Evolution of Wi-Fi Protected Access:. *IEEE Consumer Electronics Magazine Vol.10*, 74-81. doi:10.1109/MCE.2020.3010778

- López, D. G. (2018). *EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11AC CON TECNOLOGÍA MU-MIMO EN COMPARACIÓN AL ESTÁNDAR DE FIBRA ÓPTICA EN REDES DE TRANSPORTE DE DATOS*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Luque Ordóñez, J. (2016). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. 18-23.
- Mero, S. (2017). *ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA UTILIZANDO EL ESTÁNDAR 802.11 AC. (CASO DE ESTUDIO UTM)*. Quito: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Mosquera Chica, Á. L. (2019). Estudio Y Análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax Y 5G para el desarrollo del Internet de las Cosas. (*Tesis de Ingeniería en Telecomunicaciones*). Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Murillo Hernandez, W. J. (2008). *Monografias.com*. Obtenido de La investigación científica: <https://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/invest-cientifica>
- Pandora, G. S. (2001). *Campos Eléctricos y magnéticos de 50 Hz*. Madrid: GRUPO PANDORA S.A. Obtenido de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1926/course/section/2221/lectura8.pdf>
- Pinzón, O. (7 de Julio de 2021). *Cual Router tienda de Router WiFi*. Obtenido de <https://www.cualrouter.com/post/wifi-7-o-6e-conoce-las-caracteristicas-del-nuevo-estandar>
- Salazar, G. (30 de Septiembre de 2016). *Cisco*. Obtenido de Fundamentos de QoS - Calidad de Servicio en Capa 2 y Capa 3: <https://community.cisco.com/t5/blogs-routing-y-switching/fundamentos-de-qos-calidad-de-servicio-en-capa-2-y-capa-3/ba-p/3103715>
- Torres Torres, I. (Octubre de 2021). *ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL ESTÁNDAR 802.11AX PARA EVALUAR EL RENDIMIENTO DE DESPLIEGUES WLAN EN ESCENARIOS CON TRÁFICO DE RED ELEVADO*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8185/1/ANÁLISIS%20Y%20SIMULACIÓN%20DEL%20ESTÁNDAR%20802.11AX%20PARA%20EVALUAR%20EL%20RENDIMIENTO%20DE%20DESPLIEGUES%20WLAN%20EN%20ESCENARIOS%20CON%20TRÁFICO%20DE%20RED%20ELEVADO>.pdf
- Varo Martínez, E. (2 de Octubre de 2017). *SR Elena Varo*. Obtenido de CONCEPTOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES: ANTENAS: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWVpbnxzcmVsZW5hdmFyb3xneDoxNDkxYjFINjc5ZDY5NGFm>
- Zhao, J. (2019). *TIME AND FREQUENCY CHARACTERISTIC OF 802.11AX*. Oklahoma: UNIVERSITY OF OKLAHOMA.

ANEXOS

ANEXO 1

SIMULACIÓN 1

## FI PRINT ##

#####

#####

|=====

====|

LIST USERAP (FINAL)

|-----|

For: User\_0 and AP\_0

User position: (36.0 , 22.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 21.050534435020882

Pathloss: 97.59181575952177

PR: -77.59181575952177

Modulation: QPSK

Rc: 0.5

Rate: 1.890625E7

Lambda: 333.0

Tdata: 5.099768595041322E-4

Tack: 2.3543801652892565E-5

Ti: 5.835206611570248E-4

AirTimeUser: 0.19431238016528926

AirTimeAP: 1.9663463960330576

Throughput: 1868296.6769799183

For: User\_1 and AP\_1

User position: (38.75 , 61.5) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 4.190763653560053

Pathloss: 70.16686067054691

PR: -50.16686067054691

Modulation: 1024-QAM

Rc: 0.8333333333333334

Rate: 1.5755208333333334E8

Lambda: 333.0

Tdata: 2.2311722314049588E-4

Tack: 2.042525619834711E-5

Ti: 2.93542479338843E-4

AirTimeUser: 0.09774964561983472

AirTimeAP: 0.7927013811570247

Throughput: 4.5400660312500002E7

For: User\_2 and AP\_0

User position: (44.5 , 46.5) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 5.062114182829147

Pathloss: 72.5279516936177

PR: -52.527951693617695

Modulation: 1024-QAM

Rc: 0.75

Rate: 1.41796875E8

Lambda: 333.0

Tdata: 2.2746358126721764E-4  
Tack: 2.0472506887052344E-5  
Ti: 2.9793608815427E-4  
AirTimeUser: 0.084533837828171  
AirTimeAP: 1.0  
Throughput: 4.1986634035791436E7

For: User\_3 and AP\_1

User position: (23.0 , 74.0) (meters, NO px)  
Load: 4000000.0  
L: 12000  
AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)  
Channel: 1  
Distance: 16.80773631397161  
Pathloss: 92.3103883728143  
PR: -72.3103883728143  
Modulation: 16-QAM  
Rc: 0.5  
Rate: 3.78125E7  
Lambda: 333.0  
Tdata: 3.469884297520661E-4  
Tack: 2.1771900826446283E-5  
Ti: 4.187603305785124E-4  
AirTimeUser: 0.1394471900826446  
AirTimeAP: 1.9663463960330576  
Throughput: 2681545.268746918

For: User\_4 and AP\_0

User position: (23.5 , 31.5) (meters, NO px)  
Load: 4000000.0  
L: 12000  
AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)  
Channel: 1

Distance: 21.180769579975134  
Pathloss: 97.7472989660727  
PR: -77.7472989660727  
Modulation: QPSK  
Rc: 0.5  
Rate: 1.890625E7  
Lambda: 333.0  
Tdata: 5.099768595041322E-4  
Tack: 2.3543801652892565E-5  
Ti: 5.835206611570248E-4  
AirTimeUser: 0.19431238016528926  
AirTimeAP: 1.9663463960330576  
Throughput: 1868296.6769799183

For: User\_5 and AP\_0

User position: (51.5 , 33.5) (meters, NO px)  
Load: 4000000.0  
L: 12000  
AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)  
Channel: 1  
Distance: 13.100572506573902  
Pathloss: 87.22591309777212  
PR: -67.22591309777212  
Modulation: 16-QAM  
Rc: 0.75  
Rate: 5.671875E7  
Lambda: 333.0  
Tdata: 2.9265895316804406E-4  
Tack: 2.1181267217630855E-5  
Ti: 3.638402203856749E-4  
AirTimeUser: 0.12115879338842975  
AirTimeAP: 1.9663463960330576  
Throughput: 3494793.860513918

For: User\_6 and AP\_1

User position: (46.25 , 73.75) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 12.026013470805694

Pathloss: 85.63264165606377

PR: -65.63264165606377

Modulation: 64-QAM

Rc: 0.6666666666666666

Rate: 7.5625E7

Lambda: 333.0

Tdata: 2.6549421487603305E-4

Tack: 2.0885950413223142E-5

Ti: 3.3638016528925624E-4

AirTimeUser: 0.11201459504132233

AirTimeAP: 1.9663463960330576

Throughput: 4308042.452280919

For: User\_7 and AP\_0

User position: (26.25 , 51.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 17.79922751132756

Pathloss: 93.58678382678171

PR: -73.58678382678171

Modulation: 16-QAM

Rc: 0.5

Rate: 3.78125E7

Lambda: 333.0

Tdata: 3.469884297520661E-4  
Tack: 2.1771900826446283E-5  
Ti: 4.187603305785124E-4  
AirTimeUser: 0.1394471900826446  
AirTimeAP: 1.9663463960330576  
Throughput: 2681545.268746918

For: User\_8 and AP\_1

User position: (16.75 , 56.25) (meters, NO px)  
Load: 4000000.0  
L: 12000  
AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)  
Channel: 1  
Distance: 22.718384625672662  
Pathloss: 99.55850730666985  
PR: -79.55850730666985  
Modulation: BPSK  
Rc: 0.5  
Rate: 9453125.0  
Lambda: 333.0  
Tdata: 8.359537190082645E-4  
Tack: 2.7087603305785124E-5  
Ti: 9.130413223140494E-4  
AirTimeUser: 0.3040427603305785  
AirTimeAP: 1.9663463960330576  
Throughput: 1461672.3810964182

For: User\_9 and AP\_0

User position: (45.5 , 54.0) (meters, NO px)  
Load: 4000000.0  
L: 12000  
AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)  
Channel: 1

Distance: 12.33389638354401  
Pathloss: 86.09592473694866  
PR: -66.09592473694866  
Modulation: 16-QAM  
Rc: 0.75  
Rate: 5.671875E7  
Lambda: 333.0  
Tdata: 2.9265895316804406E-4  
Tack: 2.1181267217630855E-5  
Ti: 3.638402203856749E-4  
AirTimeUser: 0.12115879338842975  
AirTimeAP: 1.9663463960330576  
Throughput: 3494793.860513918

For: User\_10 and AP\_1

User position: (37.25 , 82.0) (meters, NO px)  
Load: 4000000.0  
L: 12000  
AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)  
Channel: 1  
Distance: 16.50189383070925  
Pathloss: 91.91054212704874  
PR: -71.91054212704874  
Modulation: 16-QAM  
Rc: 0.5  
Rate: 3.78125E7  
Lambda: 333.0  
Tdata: 3.469884297520661E-4  
Tack: 2.1771900826446283E-5  
Ti: 4.187603305785124E-4  
AirTimeUser: 0.1394471900826446  
AirTimeAP: 1.9663463960330576  
Throughput: 2681545.268746918

For: User\_11 and AP\_0

User position: (19.0 , 42.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 22.75137358490691

Pathloss: 99.59689615891315

PR: -79.59689615891315

Modulation: BPSK

Rc: 0.5

Rate: 9453125.0

Lambda: 333.0

Tdata: 8.359537190082645E-4

Tack: 2.7087603305785124E-5

Ti: 9.130413223140494E-4

AirTimeUser: 0.3040427603305785

AirTimeAP: 1.9663463960330576

Throughput: 1461672.3810964182

## FI PRINT ##

#####

#####

<SERVER>Connection Closing..

<SERVER>Socket Input Stream Closed

<SERVER>Socket Out Closed

<SERVER>Socket Closed

**ANEXO 2**  
**SIMULACIÓN 2**

## FI PRINT ##

#####

#####

Coloring of graph:

Vertex (AP) 0 ---> Color (ch) 1

Vertex (AP) 1 ---> Color (ch) 2

|=====|  
====|

LIST APtoAP (FINAL)

|-----|

For:AP\_0 (reference) to AP\_1

Channel Reference: 1

Channel: 2

Distance between APs: 23.635249099596983

Pathloss between APs: 100.61861776226678

Power Received between APs: -80.61861776226678

## FI PRINT ##

#####

#####

|=====|  
====|

LIST USERAP (FINAL)

|-----|

For: User\_0 and AP\_0

User position: (36.0 , 22.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 21.050534435020882

Pathloss: 97.59181575952177

PR: -77.59181575952177

Modulation: QPSK

Rc: 0.5

Rate: 1.890625E7

Lambda: 333.0

Tdata: 5.099768595041322E-4

Tack: 2.3543801652892565E-5

Ti: 5.835206611570248E-4

AirTimeUser: 0.1655631623722388

AirTimeAP: 1.0

Throughput: 3130178.53860014

For: User\_1 and AP\_1

User position: (38.75 , 61.5) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)

Channel: 2

Distance: 4.190763653560053

Pathloss: 70.16686067054691

PR: -50.16686067054691

Modulation: 1024-QAM

Rc: 0.8333333333333334

Rate: 1.5755208333333334E8

Lambda: 333.0

Tdata: 2.2311722314049588E-4

Tack: 2.042525619834711E-5

Ti: 2.93542479338843E-4

AirTimeUser: 0.09774964561983472

AirTimeAP: 1.9663463960330576

Throughput: 7832119.6832712535

For: User\_2 and AP\_0

User position: (44.5 , 46.5) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 5.062114182829147

Pathloss: 72.5279516936177

PR: -52.527951693617695

Modulation: 1024-QAM

Rc: 0.75

Rate: 1.41796875E8

Lambda: 333.0

Tdata: 2.2746358126721764E-4

Tack: 2.0472506887052344E-5

Ti: 2.9793608815427E-4

AirTimeUser: 0.09921271735537192

AirTimeAP: 1.9663463960330576

Throughput: 7154412.52346542

For: User\_3 and AP\_1

User position: (23.0 , 74.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)

Channel: 2

Distance: 16.80773631397161

Pathloss: 92.3103883728143

PR: -72.3103883728143

Modulation: 16-QAM

Rc: 0.5

Rate: 3.78125E7

Lambda: 333.0

Tdata: 3.469884297520661E-4

Tack: 2.1771900826446283E-5

Ti: 4.187603305785124E-4

AirTimeUser: 0.1394471900826446

AirTimeAP: 0.7927013811570247

Throughput: 5272846.874999999

For: User\_4 and AP\_0

User position: (23.5 , 31.5) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 21.180769579975134

Pathloss: 97.7472989660727

PR: -77.7472989660727

Modulation: QPSK

Rc: 0.5

Rate: 1.890625E7

Lambda: 333.0

Tdata: 5.099768595041322E-4

Tack: 2.3543801652892565E-5

Ti: 5.835206611570248E-4

AirTimeUser: 0.1655631623722388

AirTimeAP: 1.0

Throughput: 3130178.53860014

For: User\_5 and AP\_0

User position: (51.5 , 33.5) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 13.100572506573902

Pathloss: 87.22591309777212

PR: -67.22591309777212

Modulation: 16-QAM

Rc: 0.75

Rate: 5.671875E7

Lambda: 333.0

Tdata: 2.9265895316804406E-4

Tack: 2.1181267217630855E-5

Ti: 3.638402203856749E-4

AirTimeUser: 0.10323291272295587

AirTimeAP: 1.0

Throughput: 5855241.768505153

For: User\_6 and AP\_1

User position: (46.25 , 73.75) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)

Channel: 2

Distance: 12.026013470805694

Pathloss: 85.63264165606377

PR: -65.63264165606377

Modulation: 64-QAM

Rc: 0.6666666666666666

Rate: 7.5625E7

Lambda: 333.0

Tdata: 2.6549421487603305E-4

Tack: 2.0885950413223142E-5

Ti: 3.3638016528925624E-4

AirTimeUser: 0.11201459504132233

AirTimeAP: 0.7927013811570247

Throughput: 8471103.750000002

For: User\_7 and AP\_0

User position: (26.25 , 51.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 17.79922751132756

Pathloss: 93.58678382678171

PR: -73.58678382678171

Modulation: 16-QAM

Rc: 0.5

Rate: 3.78125E7

Lambda: 333.0

Tdata: 3.469884297520661E-4

Tack: 2.1771900826446283E-5

Ti: 4.187603305785124E-4

AirTimeUser: 0.11881547513527659

AirTimeAP: 1.0

Throughput: 4492710.153552646

For: User\_8 and AP\_1

User position: (16.75 , 56.25) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)

Channel: 2

Distance: 22.718384625672662

Pathloss: 99.55850730666985

PR: -79.55850730666985

Modulation: BPSK

Rc: 0.5

Rate: 9453125.0

Lambda: 333.0

Tdata: 8.359537190082645E-4

Tack: 2.7087603305785124E-5

Ti: 9.130413223140494E-4

AirTimeUser: 0.3040427603305785

AirTimeAP: 0.7927013811570247

Throughput: 2874154.2187499995

For: User\_9 and AP\_0

User position: (45.5 , 54.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 12.33389638354401

Pathloss: 86.09592473694866

PR: -66.09592473694866

Modulation: 16-QAM

Rc: 0.75

Rate: 5.671875E7

Lambda: 333.0

Tdata: 2.9265895316804406E-4

Tack: 2.1181267217630855E-5

Ti: 3.638402203856749E-4

AirTimeUser: 0.10323291272295587

AirTimeAP: 1.0

Throughput: 5855241.768505153

For: User\_10 and AP\_1

User position: (37.25 , 82.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (37.5 , 65.5) (meters, NO px)

Channel: 2

Distance: 16.50189383070925

Pathloss: 91.91054212704874

PR: -71.91054212704874

Modulation: 16-QAM

Rc: 0.5

Rate: 3.78125E7

Lambda: 333.0

Tdata: 3.469884297520661E-4

Tack: 2.1771900826446283E-5

Ti: 4.187603305785124E-4

AirTimeUser: 0.1394471900826446

AirTimeAP: 0.7927013811570247

Throughput: 5272846.874999999

For: User\_11 and AP\_0

User position: (19.0 , 42.0) (meters, NO px)

Load: 4000000.0

L: 12000

AP position: (41.75 , 42.25) (meters, NO px)

Channel: 1

Distance: 22.75137358490691

Pathloss: 99.59689615891315

PR: -79.59689615891315

Modulation: BPSK

Rc: 0.5

Rate: 9453125.0

Lambda: 333.0

Tdata: 8.359537190082645E-4

Tack: 2.7087603305785124E-5

Ti: 9.130413223140494E-4

AirTimeUser: 0.25905853684616315

AirTimeAP: 1.0

Throughput: 2448912.731123886

##

FI PRINT

##

### ANEXO 3

#### VINCULACIÓN CON LA SOCIEDAD

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL / ESCUELA DE POSGRADOS

#### FORMATO PARA DESCRIBIR LOS APORTES A LA INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA SOCIEDAD EN EL TRABAJO DE TITULACIÓN – (RESUMEN INV+VCS)

*(según el Instructivo de Estructura y Normas de Trabajos de Titulación para Grado y Posgrado UISRAEL 2021)*

<b>Estudiante(s):</b>	<b>Diego Fernando Cevallos Troya</b>
<b>Programa de maestría:</b>	<b>Semipresencial</b>
<b>Proyecto desarrollado:</b>	<b>Evaluación de QoS, rendimiento, capacidad y seguridad de una red inalámbrica con estándar IEEE 802.11ax</b>
<b>Fecha de entrega final del TT:</b>	<b>19 de marzo del 2022</b>
<b>Línea de investigación institucional a la cual tributa el proyecto:</b>	<b>Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable</b>
<b>Beneficiarios directos e indirectos del proyecto:</b>	
<p>Los beneficiarios directos con la investigación y diseño de una red inalámbrica mediante el estándar IEEE 802.11ax son todos los colaboradores o usuarios que estén conectados a dicha red ya que este protocolo ofrece grandes ventajas como es mayor seguridad y estabilidad en las conexiones.</p> <p>Con los estudios realizados en el presente proyecto, la vinculación con la sociedad viene dada para los usuarios en general y empresas ya que la mayor parte de la población en Ecuador cuenta con dispositivos inalámbricos los cuales por la demanda actual necesitan utilizar redes WLAN más seguras y confiables debido a que estas redes son de fácil implementación y bajo coste para los usuarios.</p>	
<b>Resumen de los aportes de la investigación para el área del conocimiento</b>	
<p>Es necesario profundizar en el estudio de redes WLAN que dispongan y mejoren las experiencias de los usuarios. En consecuencia, no solo es necesario realizar un estudio del dimensionamiento del ancho de banda, cobertura de la red, etc, si no que se requiere realizar un estudio más profundo sobre los protocolos estandarizados del IEEE 802.11 que se enfoca en las redes inalámbricas para observar los cambios que se han producido de un estándar a otro y así comprender su funcionamiento y la evolución que ha tenido para su mejoría, por lo antes expuesto se pretende generar un documento de consulta de</p>	

las ventajas y funcionalidades nuevas del estándar 802.11ax, y mediante simulaciones determinar si las mejoras incrementan el rendimiento de la red.

**Resumen de los aportes de vinculación con la sociedad: empresas, organizaciones y comunidades**

Esto es de gran utilidad para las empresas, hogares y lugares públicos con mucha afluencia de personas que necesiten conectarse a internet como hospitales, escuelas, parques, etc, ya que el estándar 802.11ax ofrece grandes beneficios que mejoran la seguridad y rendimiento de las redes inalámbricas, es beneficioso para el público en general debido a que en la actualidad la mayor parte de la población cuenta con dispositivos WiFi para conectarse al internet y necesitan que estas redes satisfagan la exigencia del usuario.

**Nota: se adjunta al proyecto**

**Firmas de responsabilidad:**

<b>Estudiante</b>	<b>Profesor-tutor del proyecto</b>	<b>Coordinador del programa de maestría</b>

**Revisado por:**

<b>Coordinación de Vinculación con la Sociedad</b>	<b>Coordinación de Investigación</b>

