



**ESTUDIO Y RECOMENDACIONES PARA MITIGAR LA INTERFERENCIA  
EN REDES WIFI EN ZONAS NO CONTROLADAS NO LICENCIADAS**

**MARCO FIDEL SUÁREZ SALGADO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA  
COMUNICACIÓN (TIC)  
ÁREA TELECOMUNICACIONES  
MEDELLÍN**

**2016**



**ESTUDIO Y RECOMENDACIONES PARA MITIGAR LA INTERFERENCIA  
EN REDES WIFI EN ZONAS NO CONTROLADAS NO LICENCIADAS**

**MARCO FIDEL SUÁREZ SALGADO**

**Proyecto Presentado para la Obtención del Título de Magister en Tecnologías de la  
Información y la Comunicación (TIC)**

**Director**

**Phd. Roberto Carlos Hincapié Reyes**

**Universidad Pontificia Bolivariana  
Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)**

**Área Telecomunicaciones**

**Medellín**

**2016**

## DECLARACIÓN ORIGINALIDAD

*“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad”.*

*Art. 82 Régimen Discente de Formación Avanzada, Universidad Pontificia Bolivariana.*

Firma autor(es) MAURO FIDEL S.S.

Ciudad y fecha,

## DEDICATORIA

*A mi esposa, por cada una de sus palabras de aliento, cada minuto de su tiempo para escucharme y acompañarme; por cada abrazo cuando estuve desanimado, por cada consejo o recomendaciones dadas para seguir adelante, por su comprensión, por su ayuda, por confiar en mí y por la seguridad que me brindó, y que me ayudaron a concluir con éxito este proyecto de vida.*

*A mi madre, por haberme dado la vida y que gracias a su grandeza y esfuerzo llegué a ser la persona que soy.*

*A mi hermana, sobrina y cuñado por su apoyo emocional.*

*A todos ellos les dedico este trabajo, realizado con entusiasmo y esmero, y quiero así demostrar que no he defraudado la confianza que han depositado en mí.*

## AGRADECIMIENTOS

*De manera muy sincera y especial quiero agradecer por el apoyo, colaboración, paciencia y acertada orientación en la realización de este proyecto, a mi director de trabajo de grado Roberto Carlos Hincapié Reyes.*

*A todos mis profesores de la Universidad Pontificia Bolivariana, quienes con su labor de enseñanza han compartido sus conocimientos y experiencias profesionales.*

*A mis compañeros de estudio, con quienes he aprendido de esa relación de afecto, confianza y aprecio mutuo.*

*Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera han acompañado mi camino hasta estos momentos, y que en cada una de las dificultades y obstáculos me ofrecieron su gran apoyo para continuar y hacer que este trabajo se hiciera realidad.*

*¡Gracias!*

**CONTENIDO**

|   | <b>pp.</b> |
|---|------------|
| <b>GLOSARIO</b>                             | 14         |
| <b>RESUMEN</b>                              | 16         |
| <b>ABSTRACT</b>                             | 18         |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                         | 20         |
| Planteamiento del problema                  | 20         |
| Formulación de la pregunta de investigación | 21         |
| Delimitación de la investigación            | 21         |
| <b>JUSTIFICACIÓN</b>                        | 22         |
| Limitaciones                                | 23         |
| <b>OBJETIVOS</b>                            | 24         |
| Objetivo general                            | 24         |
| Objetivos específicos                       | 24         |

|   |    |
|---|----|
| <b>MARCO TEÓRICO</b>  | 25 |
| Redes de computadores   | 25 |
| <i>Clasificación de redes de computadores</i>   | 25 |
| Redes inalámbricas  | 26 |
| <i>Clasificación de redes inalámbricas</i>  | 28 |
| <i>Elementos que componen una red inalámbrica</i>   | 29 |
| <i>Uso e importancia de las redes inalámbricas en la actualidad</i>                                     | 31 |
| <i>Ventajas de las redes inalámbricas</i>   | 36 |
| <i>Desventajas de las redes inalámbricas</i>  | 38 |
| <i>Redes inalámbricas no controladas no licenciadas</i>   | 41 |
| <i>Reglamentación del uso de redes inalámbricas no controladas no licenciadas</i>                       | 46 |
| <i>Problemas asociados al uso de redes inalámbricas no controladas no licenciada</i>                    | 53 |
| <i>Cómo afrontar los problemas asociados al uso de redes inalámbricas no controladas no licenciadas</i> | 58 |
| <br>  |    |
| <b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>  | 65 |
| Tipo de investigación   | 65 |
| Población y muestra   | 65 |
| Materiales y métodos  | 66 |
| <br>  |    |
| <b>RESULTADOS</b>   | 75 |
| Mediciones realizadas en centros comerciales  | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Interferencia centro comercial Premium Plaza</i>                            | 75  |
| <i>Cobertura Centro Comercial Premium Plaza</i>                                | 84  |
| <i>Reducción de interferencia centro comercial Premium Plaza</i>               | 89  |
| <i>Interferencia centro comercial San Diego</i>                                | 96  |
| <i>Cobertura centro comercial San Diego</i>                                    | 102 |
| <i>Reducción de interferencia centro comercial San Diego</i>                   | 113 |
| Mediciones en conjuntos habitacionales   | 118 |
| <i>Cobertura conjunto habitacional Torres del Rio</i>                          | 118 |
| <i>Reducción de interferencia conjunto habitacional Altos de la Visitación</i> | 121 |
| Discusión  | 123 |
| <br>   |     |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>  | 125 |
| Conclusiones   | 125 |
| Recomendaciones  | 126 |
| Medios de divulgación de los resultados  | 128 |
| <br>   |     |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | 129 |



**LISTA DE TABLAS****pp.**

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Estándares de la familia 802.11                           | 49 |
| Tabla 2. Cuadro comparativo de software analizadores de redes WiFi | 64 |

**LISTA DE FIGURAS**

|  | <b>pp.</b> |
|--|------------|
| Figura 1. Red inalámbrica  | 27         |
| Figura 2. Crecimiento de las redes inalámbricas de área local                  | 32         |
| Figura 3. Separación de canales wireless en 2.4 GHz                            | 56         |
| Figura 4. Asignación de canales sin interferencia                              | 61         |
| Figura 5. Fases de desarrollo del proyecto                                     | 66         |
| Figura 6. Diagrama de flujo del Algoritmo                                      | 74         |
| Figura 7. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 1, sector A | 75         |
| Figura 8. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 1, sector B | 76         |
| Figura 9. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 1, sector C | 77         |

|   |    |
|---|----|
|   | 10 |
| Figura 10. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 2, sector A     | 78 |
| Figura 11. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 2, sector B     | 79 |
| Figura 12. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 2, sector C     | 80 |
| Figura 13. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 3, sector A     | 81 |
| Figura 14. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 3, sector B     | 82 |
| Figura 15. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 3, sector C     | 83 |
| Figura 16. Cobertura AP centro comercial Premium Plaza, piso 1.<br>AP ThomsonC69B35 | 84 |
| Figura 17. Cobertura AP centro comercial Premium Plaza, piso 1.<br>AP ThomsonFE25E1 | 85 |
| Figura 18. Cobertura de AP centro comercial Premium Plaza, piso 1, AP LATINPRO      | 86 |
| Figura 19. Cobertura AP centro comercial Premium Plaza, piso 1<br>AP UNEPREMIUM     | 87 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 20. Cobertura AP centro comercial Premium Plaza, piso 1.             |    |
| APUNE <sub>p</sub> REMIUM <sub>1</sub> 0                                    | 88 |
| Figura 21. Interferencia actual centro comercial Premium Plaza, piso 1      | 90 |
| Figura 22. Interferencia reducida centro comercial Premium Plaza, piso 1    | 91 |
| Figura 23. Interferencia actual centro comercial Premium Plaza, piso 2      | 92 |
| Figura 24. Interferencia reducida centro comercial Premium Plaza, piso 2    | 93 |
| Figura 25. Interferencia actual centro comercial Premium Plaza, piso 3      | 94 |
| Figura 26. Interferencia reducida centro comercial Premium Plaza, piso 3    | 95 |
| Figura 27. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 1, sector A | 96 |
| Figura 28. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 1, sector B | 97 |
| Figura 29. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 1, sector C | 98 |

|  |     |
|--|-----|
|  | 12  |
| Figura 30. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 2, sector A        | 99  |
| Figura 31. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 2, sector B        | 100 |
| Figura 32. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 2, sector C        | 101 |
| Figura 33. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP SANDIEGO         | 103 |
| Figura 34. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP SANDIEGO         | 104 |
| Figura 35. Cobertura AP centro comercial San Diego, piso 1.<br>AP Samsung-Urbalink | 105 |
| Figura 36. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP SANDIEGO         | 106 |
| Figura 37. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP Falacorp         | 107 |
| Figura 38. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2. AP SANDIEGO         | 108 |
| Figura 39. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2. AP SAN JUAN 33      | 109 |
| Figura 40. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2. AP LACHAIRA         | 110 |

Figura 41. Cobertura AP centro comercial San Diego, piso 2. AP Thomson2FA777 111

Figura 42. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2.

AP SEXAINA 2281 112

Figura 43. Interferencia actual centro comercial San Diego, piso 1 114

Figura 44. Interferencia reducida centro comercial San Diego, piso 1 115

Figura 45. Interferencia actual centro comercial San Diego, piso 2 116

Figura 46. Interferencia reducida centro comercial San Diego, piso 2 117

Figura 47. Cobertura AP conjunto habitacional Torres del Rio, piso 3. AP 75818781 118

Figura 48. Cobertura de AP conjunto habitacional Torres del Rio, piso 3.

AP VELÁSQUEZ 119

Figura 49. Interferencia actual conjunto habitacional Altos de la Visitación, piso 1 121

Figura 50. Interferencia actual conjunto habitacional Altos de la Visitación, piso 3 122

## GLOSARIO

**Algoritmo.** Conjunto o grupo de sentencias/instrucciones en lenguaje nativo, el cual formula la lógica de un programa para hallar soluciones a diferentes tipos de problemas mediante una secuencia de pasos a seguir.

**AP.** Access Point. Punto de Acceso.

**Bluetooth.** Tecnología de ondas de radio de corto alcance (2.4 gigahertzios de frecuencia) cuyo objetivo es simplificar las comunicaciones entre dispositivos informáticos como ordenadores móviles, teléfonos móviles, otros dispositivos de mano y entre estos dispositivos e Internet.

**Femtoceldas.** Pequeñas estaciones base (tanto en tamaño como en potencia) que sirven para conectar terminales convencionales a las redes de los operadores móviles, utilizando conexiones residenciales de banda ancha como ADSL, Cable, o fibra óptica.

**HetNet.** Red heterogénea.

**IEEE.** Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

**Interferencia.** Alteración, perturbación o destrucción de una señal que interviene en el proceso de la comunicación entre el emisor y el receptor.

**LTE.** Long Term Evolution (estándar de comunicaciones móviles desarrollado por la 3GPP).

**Nodo.** Punto de intersección, conexión o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar.

**OFDMAA.** Acceso múltiple por división de frecuencia (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

**Redes WiFi.** Redes con soluciones informáticas que utilizan tecnología inalámbrica.

**Software.** Programa o aplicación lógica programada para realizar tareas específicas.

**WiFi Analyzer.** Software que permite analizar la señal de diferentes puntos de acceso WiFi en cobertura.

**Wimax.** Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas).



## RESUMEN

El t3pico de inter3s en el presente trabajo es la interferencia en redes inal3mbricas no controladas no licenciadas.

El t3rmino red inal3mbrica (Wireless Network) hace referencia a la conexi3n a un nodo sin necesidad de utilizar un elemento f3sico o cable. Este sistema tiene ventajas al disminuir costos y mejorar la accesibilidad; sin embargo, presenta desventajas como una mayor exigencia en la seguridad y la posibilidad de interferencia, entendi3ndose como interferencia cualquier fen3meno que altera, modifica o destruye una se1al durante su trayecto, en el canal existente entre el emisor y el receptor.

Es as3 como en los 3ltimos a1os las tasas de transmisi3n de datos utilizando redes inal3mbricas no controladas no licenciadas han crecido de manera constante con los avances de la tecnolog3a y el despliegue de infraestructura inal3mbrica. No obstante, la interferencia sufrida por este tipo de se1ales sigue siendo uno de los principales problemas en su uso.

Para el an3lisis de la interferencia se cuenta en la actualidad con distintas herramientas de software (SW). En el presente estudio se utilizar3 el WiFi Analyzer, el cual permite examinar diferentes par3metros de las conexiones inal3mbricas que se pueden encontrar en sitios espec3ficos; realiza mediciones de las se1ales mostrando

gráficamente las redes inalámbricas no controladas no licenciadas; proporciona una base de datos sobre calidad, intensidad, atenuación, canal por el cual se está transmitiendo la señal, cantidad de señales que se encuentren en el área donde se realiza la medición, y ofrece información sobre la causa por la cual se puede presentar la interferencia.

De esta manera, el objetivo del presente trabajo es desarrollar un modelo de medición de interferencia en redes inalámbricas WiFi y bandas no licenciadas en centros comerciales y conjuntos residenciales de la ciudad de Medellín, que apoye la definición de políticas de mitigación de interferencia.

**Palabras clave:** interferencia; red inalámbrica; punto de acceso; software; señal.

## ABSTRACT

The topic of interest in this study is the interference in wireless networks uncontrolled unlicensed.

The term wireless network (Wireless Network) refers to the connection node without using a physical cable or element. This system has advantages by reducing costs and improving accessibility, however, has disadvantages such as greater emphasis on security and the possibility of interference. Any interference is understood that alter, modify or destroy a signal during its passage in the channel between the transmitter and receiver.

In recent years the rates of data transmission using wireless networks uncontrolled unlicensed have grown steadily with advances in technology and the deployment of wireless infrastructure. However, the interference suffered by such signals remains one of the major problems in its use.

For the analysis of interference there are at present different software tools (SW), in this study the WiFi Analyzer, which allows examination of different parameters of wireless connections that can be found at specific sites will be used. Performs signal measurements, graphically showing the wireless networks controlled unlicensed. Provides a database of quality, intensity, attenuation, channel which is transmitting,

number of signals present in the area where the measurement is made, and provides information on the cause for which you can submit the interference.

Measurements were carried out in malls and housing complexes in the city of Medellin.

**Key Words:** interference, access point; software; wireless network; signal.

## INTRODUCCIÓN

### Planteamiento del problema

La conexión utilizando redes inalámbricas no controladas y no licenciadas disminuye costos y facilita el despliegue de infraestructura rápidamente; sin embargo, presenta desventajas como deficiencias en la seguridad y degradación de la señal por causa de interferencia, lo que las hace muy vulnerables a fenómenos externos (hackers, perturbaciones climáticas, interferencias, atenuaciones o pérdida de señal).

Dentro de las desventajas que presentan las redes inalámbricas no controladas no licenciadas, se cuentan la interferencia y la atenuación - que son las principales causas de degradación de la señal- y están directamente relacionadas con: la cantidad de puntos de acceso (Access Point - AP) que se encuentren en el mismo canal y están ubicados en la misma área de cobertura de la señal, la cantidad de fuentes de radio interferentes y los obstáculos físicos (paredes, puertas, ventanas) que hay en el lugar.

Estos factores pueden coexistir en un espacio físico local donde múltiples usuarios se conectan, dando como resultado una pobre calidad del servicio.

### **Formulación de la pregunta de investigación**

Teniendo en cuenta la amplia utilización de las redes inalámbricas no controladas y no licenciadas en espacios cotidianos, y la frecuencia con que se presentan dificultades en su uso, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo medir la interferencia existente en redes WiFi en bandas no licenciadas y en zonas donde no hay control en el despliegue de estas redes - centros comerciales y complejos habitacionales - y hacer recomendaciones a sus propietarios para mitigar el efecto de dicha interferencia?

### **Delimitación de la investigación**

La investigación se realizó en dos centros comerciales y dos conjuntos habitacionales de la ciudad de Medellín, tomando muestras en espacios de uso público durante los meses de mayo a septiembre de 2013. Las variables registradas permitieron evaluar las características de los AP presentes en cuanto a cantidad, cobertura, canal de uso, potencia y directividad.

## JUSTIFICACIÓN

Las nuevas tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC) permiten aportes primordiales para mejorar la calidad de vida de las personas y posibilitar el desarrollo de instituciones y empresas.

No obstante, aún existe desconocimiento y una utilización inadecuada de las redes inalámbricas por falta de acuerdos entre los usuarios, que reduzcan la interferencia entre los puntos de acceso vecinos; lo que origina insatisfacción y resultados limitados (Bertocco; Gamba & Sona, 2008). La atenuación de la señal, la pérdida intermitente o completa de la conexión, la dificultad para el enlace entre dispositivos, la velocidad inadecuada en la transferencia de datos o la pérdida de información, son quejas frecuentes entre los usuarios de tecnología inalámbrica (Vanheel; Verhaevert & Moerman, 2008). Varios de estos fenómenos se deben a interferencia entre equipos cercanos.

Por todo lo anterior, se hace necesario proponer un método para enfrentar especialmente el problema de la interferencia en las señales inalámbricas, que mejore su desempeño, y que pueda aplicarse tanto en empresas como en hogares.

Con este proyecto se espera obtener información general respecto a la interferencia en las redes inalámbricas no controladas no licenciadas, en centros

comerciales y conjuntos habitacionales, incluyendo la identificación de posibles estrategias para su reducción. De ahí que el proyecto permitirá describir un modelo de recolección de información y un sistema para el análisis de la misma, que pueda ser replicado en otros sistemas de redes inalámbricas no controladas no licenciadas, cuyo propósito es mejorar la calidad del servicio y evitar las dificultades que se presentan por la interferencia entre diferentes AP.

Es por ello que al utilizar herramientas del software MATLAB se mostrará de manera gráfica al cliente o usuario los sitios físicos de mejor calidad, la cobertura del AP, la potencia de la señal y el canal que está siendo utilizado; lo que permitirá tomar decisiones como la asignación de canales, el control de la potencia y la direccionalidad de los AP.

### **Limitaciones**

El proyecto tiene varias limitaciones, en primer lugar no se permitió el acceso directo a los locales comerciales ni a los apartamentos de habitación, por lo que las mediciones se realizaron en las partes de circulación pública, lo que no ofrece información acerca de la ubicación real de los AP. En segundo lugar, al no tener acceso directo al AP no se pudo manipular la direccionalidad de la señal, y finalmente, en algunos casos la cercanía entre los diferentes AP originó inconsistencias en la toma de datos.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Desarrollar un modelo de medición de interferencia en redes inalámbricas WiFi y bandas no licenciadas en centros comerciales y conjuntos residenciales, que apoye la definición de políticas de mitigación de interferencia.

### **Objetivos específicos**

1. Utilizar herramientas de medición WiFi libres para construir una metodología que permita establecer la cobertura de redes inalámbricas en una zona con todos los AP presentes.
2. Realizar el análisis de la cobertura e interferencia de los AP medidos y dentro de las regiones analizadas, por medio de curvas de intensidad de señal y matrices de interferencia, tomando los canales utilizados y la potencia recibida en múltiples puntos de prueba.
3. Proponer recomendaciones de mitigación de la interferencia a partir de los resultados obtenidos.

## MARCO TEÓRICO

### Redes de computadores

Es un sistema de comunicaciones compuesto por un conjunto o grupo de equipos (computadores y/o dispositivos) conectados entre sí a través de medios físicos como cables, y medios aéreos como señales, ondas, o cualquier otro método de transporte de datos, que permite comunicarse con uno o varios usuarios con el fin de compartir información, recursos y servicios, tales como: archivos, CD-ROM, impresoras, acceso a internet, e-mail, chat y juegos (Tanenbaum, 2003; López Guerrero, 2007).

#### *Clasificación de redes de computadores*

##### ***Redes PAN (redes de área personal)***

Red usada para la comunicación entre dispositivos fijos (computadores) y móviles (teléfonos, ayudantes digitales personales). El alcance de este tipo de redes es muy reducido a algunos metros.

##### ***Redes CAN (redes de área de campus)***

Red que conecta dos o más LAN'S en un área geográfica privada, tales como campus universitario, complejos industriales o bases militares.

***Redes LAN (redes de área local)***

Red que se limita un área relativamente pequeña como habitaciones, edificios o un avión.

***Redes MAN (redes de área metropolitana)***

Red que conecta dos o más redes locales pero no extiende más allá de los límites de un área específica, como por ejemplo, el área metropolitana.

***Redes WAN (redes de área extensa)***

Red de comunicaciones de datos que cubre un área geográfica relativamente amplia y que utiliza las instalaciones de transmisión proporcionadas por los portadores comunes, tales como compañías telefónicas (Tanenbaum, 2003; Calleja; Gerónimo y otros, 2008).

**Redes inalámbricas**

El término red inalámbrica (wireless network) hace referencia a la conexión a un nodo sin necesidad de utilizar un elemento físico o cable. El concepto de comunicación inalámbrica no es nuevo, desde principios del siglo XIX se empezó a utilizar el sistema de telegrafía sin hilos desarrollado por Guillermo Marconi (Tanenbaum, 2003).

Las redes inalámbricas utilizan ondas electromagnéticas (radio, infrarrojo, bluetooth) en lugar de cableado estructurado. Hay diferentes tipos de redes que dependen de la frecuencia de transmisión utilizada, así como la velocidad y el alcance de las transmisiones.

La facilidad de conexión y la reducción de elementos físicos necesarios han popularizado y extendido el uso de esta tecnología (figura 1); sin embargo, el hecho de que las ondas electromagnéticas sean utilizadas por muchos dispositivos, las hace susceptible de interferencias, por lo que se requiere una regulación de los rangos de frecuencia y de la potencia de transmisión. De igual manera, por no estar confinadas a un área física específica pueden ser interceptadas y manipuladas convirtiéndose en un riesgo para la seguridad de la comunicación (López Guerrero, 2007).

**Figura 1. Red inalámbrica**



Fuente: elaboración propia

### ***Clasificación de redes inalámbricas***

Según el tipo de cobertura las redes inalámbricas se clasifican en:

#### ***Wireless PAN (WPAN) (red de área personal inalámbrica)***

Permiten hacer conexiones entre equipos de corto alcance para intercambiar información, siendo la más común el Bluetooth; utilizado, por ejemplo, para conectar elementos como cámaras digitales, auriculares, impresoras, celulares y computadoras portátiles. Ofrecen una velocidad de 10 kbps – 10 Mbps y una cobertura entre 9 y 30 metros.

#### ***Wireless LAN (WLAN) (red de área local inalámbrica)***

Son redes locales que permiten acceso a archivos y recursos, así como compartir información. Tienen un alcance de 10 a 300 m, incluso a través de paredes, y ofrecen una velocidad de 11 Mbps – 54 Mbps. Es el tipo de red más utilizada en empresas, para tener acceso a ella se requiere de una red física estructurada ubicada en un campus, y disponer de estaciones base o puntos de acceso que permiten la conexión final del cliente inalámbricamente, para hacer uso de los servicios y recursos disponibles. Los puntos de acceso están conectados mediante cables de cobre o fibra óptica (López Guerrero, 2007).

### ***Wireless WAN (WWAN) (red de área extensa inalámbrica)***

Tienen un alcance mayor que los otros tipos de redes inalámbricas, por lo que cubren territorios más amplios como países completos o el mundo entero. Están conformadas por la unión de una gran cantidad de redes de menor cobertura y combinan varios tipos de tecnologías, por lo tanto, estas comunicaciones se pueden realizar por medios telefónicos, enlaces satelitales, antenas de microondas, antenas de radio, permitiendo que las comunicaciones sean más económicas y de fácil instalación (Tanenbaum, 2003; López Guerrero, 2007; Montiel, 2006; Fernández, 2006).

### ***Elementos que componen una red inalámbrica***

#### ***Punto de acceso o access point (AP)***

Un punto de acceso inalámbrico es un elemento que permite a los dispositivos de comunicación inalámbrica conectarse a una red inalámbrica mediante Wi-fi, bluetooth u otro estándar. El punto de acceso recibe la información de las diferentes interfaces de red, bien para su centralización o para su encaminamiento; además complementa los hubs, switches o routers y los sustituye, pues muchos de ellos ya incorporan su funcionalidad.

#### ***Equipo de interconexión (Gateway)***

Gateway o pasarela, es un dispositivo que conecta entre sí redes con diferentes protocolos; puede aplicarse a equipos que conectan redes con diferentes rangos IP.

### ***Router inalámbrico***

El router o enrutador permite conectar dos o más ordenadores u otros dispositivos electrónicos entre ellos, y a Internet a través de señales de radio y/o cables. Generalmente el router inalámbrico se conecta a Internet por cable y a los ordenadores por ondas mediante una antena de radio; es decir, que el router es una combinación entre un punto de acceso y un gateway. Cuando se trata específicamente de los routers domésticos, éstos suelen tener un puerto de entrada (de Internet) y cuatro puertos de salida que pueden ser conectados a otros ordenadores por cable, además de los dispositivos wireless que se conectan a través de su antena por ondas.

### ***Clientes inalámbricos (tarjeta inalámbrica)***

Son los dispositivos que permiten la conectividad inalámbrica, sirviendo de interfaz entre el ordenador y el resto de la red. Las más conocidas son las de formato PCMCIA para portátiles, también vienen en formato PCI, CompactFlash, Smart Card, USB y similares; las cuales son equivalentes a una tarjeta de red normal pero sin cables; su configuración a nivel de IP se realiza igual que una tarjeta Ethernet, pero se diferencian en el cifrado de datos, el ESSID, el canal y el ajuste de velocidad.

### ***Cables (Pigtail)***

El pigtail es un cable corto que permite la adaptación entre la tarjeta WIFI (o el AP) y la antena o su cable; tiene dos conectores: el correspondiente a cada tarjeta en un extremo, y en el otro un conector estándar; los más frecuentes son los RSMA y RTNC.

### ***Antenas***

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia o desde el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas y una receptora realiza la función inversa. Sus características pueden modificar la capacidad de transmisión o recepción de un punto de acceso o de una tarjeta de red (Garzón, 2010; Monzón, 2009).

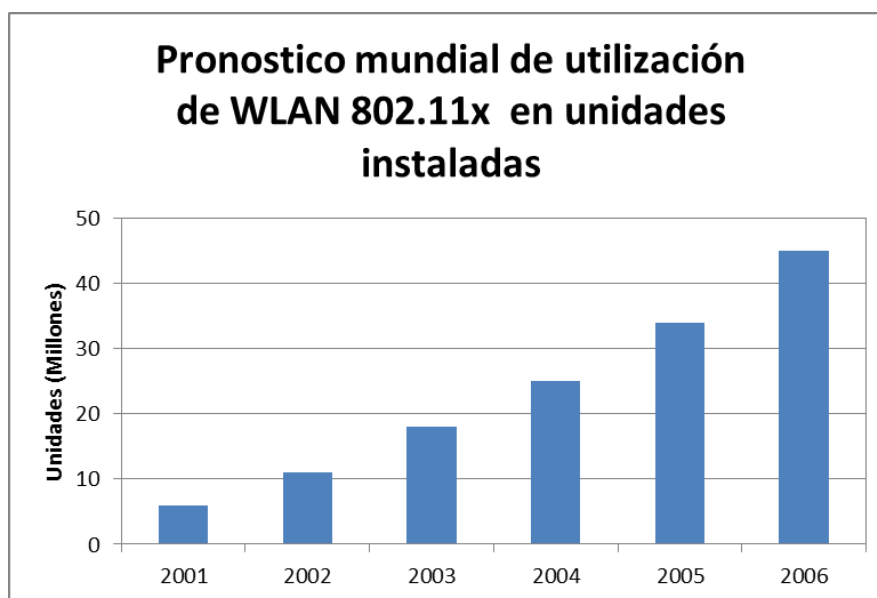
### ***Uso e importancia de las redes inalámbricas en la actualidad***

El uso de las redes inalámbricas se ha generalizado en los últimos años, convirtiéndose en una de las principales opciones para la conexión a Internet, tanto a nivel doméstico como empresarial, siendo utilizadas no sólo como complemento a las redes cableadas, sino también como una opción para sustituirlas.

Algunos datos estadísticos reflejan el aumento progresivo en el uso de las redes inalámbricas (Montiel, 2006), lo que permite suponer que su precio disminuirá notoriamente en la medida en que se continúen utilizando como alternativa para la implementación de redes (figura 2). Una de las razones para explicar el crecimiento de las redes inalámbricas es la gran disponibilidad en el mercado de “laptop”, “PDA”, tarjetas inalámbricas para computadoras y celulares con conexión Wi-fi.



**Figura 2. Crecimiento de las redes inalámbricas de área local**



Fuente: <http://www.instat.com>

En Colombia, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones presentó en su informe de TIC, las cifras que corresponden al primer trimestre de 2013; donde se demuestra que los suscriptores a Internet fijo y móvil fueron 7.532.594 millones, lo que representó un crecimiento del 16,5% con relación al mismo trimestre del año anterior.

En este sentido, las redes inalámbricas han permitido extender y generalizar los usos y aplicaciones de las TIC en los ámbitos social, económico, educativo y de la salud, entre otros. Desde el punto de vista social, es posible que el acceso libre a la información a través de la tecnología inalámbrica, por sí solo no reduzca la brecha social, pero sí puede aportar a su disminución y garantizar la igualdad de acceso a

fuentes de conocimiento e información, que son un factor clave para mejorar el capital social, impulsar la gestión de proyectos de vida y aumentar la inclusión social. El uso de estas tecnologías promueve la capacidad productiva a través de la potenciación de habilidades humanas para mejorar el estado de bienestar (innovación, capital social, conocimiento), además de permitir superar barreras geográficas y financieras, convirtiéndose en un pilar para el desarrollo a mediano o largo plazo (Benavides; Castro y otros, 2011).

El uso de TIC en la educación aporta a mejorar la calidad, la eficiencia de los sistemas y garantizar la equidad, dando a la educación mayor dinamismo y democratizando el desarrollo de capacidades; le permite además que brinde servicios a distancia, aumentando la cantidad y diversidad de información disponible, así como el acceso a aplicaciones multimedia que facilitan los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En este orden se da oportunidad de acceso y portabilidad a personas con limitaciones, ya sea por discapacidad, dificultades económicas o localización geográfica, además de disponibilidad para acceder a material educativo de alta calidad a bajos costos, estimular el aprendizaje personalizado y autodidacta, así como conectarse con estudiantes de otras ciudades o países (Benavides, Castro y otros, 2011).

De otro lado, los docentes pueden implementar nuevas estrategias de aprendizaje utilizando herramientas digitales, y los estudiantes pueden acceder a la información

entregada por el docente y ampliarla con nuevas búsquedas de información y compartir opiniones con otros compañeros, transformando así la sociedad del conocimiento (Ruiz, 2007).

En el campo de la salud también se observa un uso masivo de las redes inalámbricas, tanto para la prestación de servicios, como para actividades relacionadas con el cuidado de la salud. La tecnología inalámbrica puede ser una herramienta que permita a estos servicios un crecimiento coherente, rapidez en la información y mayor eficiencia en las tareas de cuidado de la salud, beneficiando la gestión y calidad de atención para la población.

Es así como el uso de TIC como parte de una estrategia integral en el sector salud, aporta a mejorar la calidad y eficiencia del sistema, reducir los costos, avanzar en la universalización de la cobertura, mejorar la oportunidad de atención y seguimiento a patologías de control epidemiológico en sectores apartados, además de permitirle hacer diagnósticos y tratamientos especializados a distancia, mediante servicios de telemedicina (Benavides, Castro y otros, 2011).

Así mismo, la disponibilidad de equipos inalámbricos permite establecer estrategias de control y seguimiento a pacientes mediante el registro y transmisión de variables fisiológicas o resultados de laboratorio, y educación en salud para enfermos de patologías crónicas o de alto riesgo.

La mayoría de las organizaciones hospitalarias utilizan la transmisión de voz, video y datos convencionales en tiempo real a través de redes inalámbricas. El nuevo funcionamiento permite contar con supervisión centralizada continua, por ejemplo dentro de una unidad de cuidados intensivos, y movilizar el paciente sin interrumpir la conexión con la central de monitoreo.

En cuanto a la administración pública, el acceso a las tecnologías inalámbricas le permite al ciudadano obtener información sobre servicios y realizar trámites gubernamentales, mejorando la cobertura, eficiencia y calidad de los servicios sociales; agiliza la atención al ciudadano, reduce las diferencias regionales y permite la inclusión de segmentos poblacionales marginados a la gestión gubernamental (Benavides, Castro y otros, 2011).

A nivel empresarial permite encontrar nuevas oportunidades de negocios, ofrecer más servicios, mantener contacto permanente con trabajadores y clientes, crecimiento de la productividad, mejorar las comunicaciones, realizar una gestión descentralizada y mantener el control a distancia (Benavides, Castro y otros, 2011).

En el ámbito personal, mejora las comunicaciones en cuanto a cobertura, movilidad y portabilidad, permitiéndole al individuos mantenerse en contacto con su círculo social, acceder a empleos, ofertas, oportunidades de entretenimiento, educación, cultura, aplicaciones de salud, y realizar transacciones bancarias, entre otras.

Por todo lo anterior, al mejorar la infraestructura de las redes inalámbricas se está dando solución a muchas de las necesidades de la sociedad y del individuo, en cuanto a conectividad, movilidad y flexibilidad en las comunicaciones (Cantillo; Roura y Sánchez, 2012).

### ***Ventajas de las redes inalámbricas***

El uso de redes inalámbricas brinda una gran cantidad de ventajas a las organizaciones que las emplean, ya que ofrecen alternativas para que los usuarios internos y externos puedan acceder a todos los servicios de comunicación desde cualquier lugar, utilizando aparatos celulares, computadores, tabletas y otros, y su uso puede repercutir favorablemente como una importante ventaja competitiva (Ramírez y Díaz, 2008). Las redes inalámbricas pueden ofrecer una gran cantidad de ventajas frente a las redes físicas, y las siguientes son algunas de ellas:

#### ***Están basadas en estándares internacionales y tienen certificación Wi-Fi***

El Wi-fi es un estándar de redes que asegura que los productos inalámbricos sean compatibles con otros productos certificados de Wi-fi de otros fabricantes; así se garantiza a los usuarios compatibilidad con el mayor número de productos inalámbricos, disminuyendo costos y evitando la utilización de las soluciones patentadas por un sólo fabricante.

### ***Fácil instalación***

La instalación de las redes inalámbricas debe ser del tipo “plug and play” que permita un acceso rápido a los servicios en red. Para obtener una instalación más fácil, se deberá incorporar un protocolo de asignación automática de direcciones IP (Dynamic Host Configuration Protocol – DHCP -), o el usuario debe seleccionar hubs inalámbricos que ofrezcan servidores DHCP incorporados.

### ***Confiabilidad y robustez***

Las redes inalámbricas robustas deben tener alcances de mínimo 100 metros para la garantizar la movilidad del usuario. Algunos sistemas pueden seleccionar automáticamente la mejor señal de frecuencia de radio disponible para obtener mejores niveles de comunicación entre el AP y las tarjetas de red, y pueden variar la velocidad de conexión, de acuerdo con la intensidad de la señal y la distancia al AP.

### ***Escalabilidad***

Facilita la ampliación de la red con equipos y usuarios adicionales, a través de tarjetas y USB inalámbricas, hubs.

### ***Fácil utilización***

Permite la conexión automática entre hubs, transmitiendo las comunicaciones al siguiente aparato sin tener que reconfigurar la dirección IP manualmente.

### ***Fácil administración***

La administración de la red inalámbrica se puede realizar a través de un servidor Web, que permita acceder a parámetros de configuración, monitorizar el rendimiento y hacer diagnósticos.

### ***Seguridad***

Las redes inalámbricas pueden ofrecer diferentes niveles de seguridad utilizando la encriptación y la autenticación de usuarios.

### ***Menor costo de instalación***

Aunque la instalación inicial de una red inalámbrica puede ser más costosa, los costos finalmente son menores debido a que su ciclo de vida útil es mayor y permite realizar cambios y mejoras fácilmente.

### ***Facilidad de configuración para el usuario***

La configuración es automática una vez que la tarjeta detecta la red (López, 2007; Ramírez y Díaz, 2008; Jenkins & Schatt, 1996).

### ***Desventajas de las redes inalámbricas***

La desventaja más relevante en las redes inalámbricas es la poca seguridad con la que se diseñan o estructuran, permitiendo que cualquier persona no autorizada pueda acceder a información confidencial (Frodigh; Johansson & Larsson, 2000).

Otro aspecto a considerar, es que aún faltan estándares que permitan transmisiones más rápidas y eficaces, pues no se han establecido los mecanismos para obtener las licencias de las redes que utilizan el espectro radioeléctrico, y son pocas las que tienen compatibilidad con los estándares de las redes fijas (Ramírez y Díaz, 2008). Entre las principales desventajas se citan:

### ***Interferencia***

La interferencia es un problema frecuente, puede ocasionarse por teléfonos inalámbricos que operen a la misma frecuencia, por redes inalámbricas cercanas, o incluso por otros equipos conectados inalámbricamente a la misma red.

### ***Velocidad***

Comparadas con las redes cableadas que alcanzan velocidades de 100 Mbps, las redes inalámbricas no superan los 54 Mbps.

### ***Calidad de servicio***

Las redes inalámbricas ofrecen una calidad de servicio inferior a las redes cableadas, teniendo en cuenta la velocidad y la tasa de error debida a las interferencias (aproximadamente  $10^{-4}$  frente a  $10^{-10}$  de las redes cableadas). Esto puede llegar a limitar seriamente su uso en algunos entornos industriales con fuertes campos electromagnéticos y ciertos requisitos de calidad.



### ***Costo***

Con la generalización de su uso los costos han disminuido, pero aún es más costosa su instalación inicial frente a una red cableada.

### ***Soluciones propietarias***

Ante las dificultades en la estandarización de la funcionalidad de los equipos los fabricantes ofrecen en el mercado soluciones propietarias que sólo funcionan en un entorno homogéneo. Esto origina problemas para el mantenimiento, la recuperación ante posibles fallos y la ampliación del sistema, obligando a las empresas o a los particulares a acudir siempre al mismo fabricante en busca de soluciones.

### ***Restricciones***

Las redes inalámbricas operan en un segmento del espectro radioeléctrico que se comparte con otras aplicaciones originando saturación, por lo que las redes deben ajustarse a la reglamentación de cada país. En ciertos países como España, Francia y Japón existen limitaciones para el uso del ancho de banda según ciertos estándares.

### ***Estabilidad y rendimiento***

La señal de una red inalámbrica es muy inestable, es por ello que puede haber grandes variaciones en su velocidad y capacidad dependiendo de la cercanía con el dispositivo de un router Wi-fi.

## ***Seguridad***

Las fallas en la seguridad se pueden presentar por fallas en la integridad de la información que se trasmite, por lo que los estándares actuales no recomiendan su uso en entornos críticos de manejo de información clasificada. Por otro lado, el uso de estas redes puede interferir con el funcionamiento de otras redes de comunicación vitales (policía, bomberos, hospitales, etc.) (Ramírez y Díaz, 2008; Varela y Domínguez, 2002).

### ***Redes inalámbricas no controladas no licenciadas***

Las redes inalámbricas no controladas no licenciadas son las que hacen conexiones a nodos sin necesidad de utilizar un elemento físico o cable, permitiendo un acceso a las bandas libres de frecuencia, entre 2.4 y 5.8 GHz. Se utilizan con fines sociales y para tener acceso a múltiples recursos en red, tales como: internet, utilización de impresoras, cámaras, fax, juegos, adaptadores USB, entre otros (Ramírez y Díaz, 2008; Carrión, 2009).

Así mismo, estas redes no cuentan con una administración principal, están conformadas por nodos móviles que usan una interfaz inalámbrica para enviar o recibir paquetes de datos, y dado que los nodos de una red de este tipo pueden servir de enrutadores (emisores-receptores), pueden enviar paquetes a nombre de otros nodos y realizar las aplicaciones del usuario (Frodigh; Johansson & Larsson, 2000).

Este tipo de redes permiten el acceso inalámbrico a diferentes recursos y servicios disponibles, ya sea en internet o en otras redes (local, personal, extensa o de cualquier uso), y se caracterizan por ser estructuradas e implementadas con el fin de contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad (Chamorro & Pietrosemoli, 2008).

Una red inalámbrica comunitaria puede responder a diferentes necesidades, pero, dadas las características de cada comunidad, se requiere identificar las propiedades culturales y sociales, carencias, actores clave y grupos vulnerables, entre otros aspectos, que permitan utilizar las redes inalámbricas en el proceso de idear soluciones adecuadas. Además, se debe tener en cuenta que la vinculación de la comunidad en la creación y administración de las redes hacen que se aumente la creatividad y se den respuestas eficientes pertinentes a problemas locales.

Por ello, una vez definida la función que la red va a cumplir para la comunidad, se deben considerar aspectos técnicos como la topología de la red; es decir, cómo va a ser la disposición de sus nodos y cuál es el camino que van a seguir los datos a través de ellos para alcanzar su objetivo dentro de la red.

En este sentido existen diferentes topologías para las redes inalámbricas, cada una con características que la hacen más indicada para ciertos servicios. Un enlace punto a punto (Ad-Hoc) corresponde a una topología en línea y puede permitir la

interconexión entre dos puntos o lugares que se encuentren a varios kilómetros de distancia. Este tipo de topología permite, por ejemplo, que una comunidad alejada sin servicios de comunicaciones pueda conectarse a una red (internet o una red local independiente) para acceder a sus servicios; también son útiles para interconectar varias redes locales generando redes regionales con mayor cobertura (Chamorro & Pietrosemoli, 2008).

Otro tipo de topología es la de infraestructura, en la que un nodo central (AP) sirve de enlace para todos los demás (tarjetas de red Wi-fi). El nodo permite enrutar las tramas hacia una red convencional o hacia otras redes distintas, y para que se establezca la comunicación todos los nodos deben encontrarse en la zona de cobertura del AP (Varela y Domínguez, 2002; Monzón, 2009).

Es así como teniendo en cuenta la contribución que pueden prestar las redes inalámbricas en el desarrollo social y económico de las poblaciones, su acceso debería ser considerado como un servicio público, de acceso gratuito o de bajo costo. Dentro de su normatividad también se deben tener en cuenta los entornos urbanos, donde compartir información se convierte en un factor integrador de grupos sociales con posibilidades de generar conocimiento y trabajo colectivo (Chamorro & Pietrosemoli, 2008).

Las redes abiertas permiten la prestación de nuevos servicios y el intercambio de información para promover la interacción e integración de las comunidades, facilitando, por ejemplo, la realización y solicitud de trámites y servicios, tanto públicos como privados, que son de difícil acceso debido a dificultades para trasladarse o comunicarse. Idealmente todos los trámites gubernamentales deberían poder realizarse en línea a través de redes comunitarias, disminuyendo tiempo y costos del trámite.

Otros servicios prestados a través de redes inalámbricas públicas tales como: intranets, mensajería instantánea, correo electrónico, intercambio de archivos y sitios web, brindan herramientas para el desarrollo empresarial, cultural, académico y comercial. La disponibilidad de una red inalámbrica gratuita incentiva la creación de nuevos servicios y facilidades que apuntan a satisfacer las necesidades y ser de interés para las personas y las comunidades (Chamorro & Pietrosevoli, 2008).

De esta manera, la tecnología de redes inalámbricas se ha generalizado gracias al desarrollo dentro de las bandas de frecuencias ICM y UNII. Las bandas ICM son bandas definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. Por su parte, las bandas UNI (Unlicensed National Information Infrastructure) se definieron por la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos – FCC en el espectro de frecuencias cercano a 5GHz, para la implementación de redes inalámbricas de área local.

Cuando se habla de bandas libres se refiere a aquellas bandas de frecuencias que no necesitan ser licenciadas; por ello es importante aclarar que el concepto de “libertad” se entiende como el acceso al espectro, pero no significa que estas bandas no deban ser controladas, pues a pesar de sus beneficios existe un riesgo de saturación, por lo cual la regulación y la aplicación de normas técnicas es indispensable.

El reglamento de radiocomunicaciones de la International Telecommunication Union (UIT) define un marco general de referencia, y a pesar de que muchos de los aspectos tratados por este organismo tienen el carácter de recomendaciones, la estandarización de la industria ha marcado la pauta para la adopción de tecnologías modernas.

Del mismo modo, las bandas libres tampoco significan gratuidad, pero sí costos que sean accesibles para la mayoría. No deben ser licenciadas; es decir, no se debe exigir un título habilitante para su uso, pero sí debe realizarse un proceso de registro para tener un control mínimo, el cual puede hacerse en grupos de personas o comunidades a través de “*proxies*” o delegados, y acogerse a una normatividad técnica básica que asegure un adecuado aprovechamiento del espectro, teniendo en cuenta que estas bandas no tienen protección en cuanto a la interferencia (Carrión, 2009).

En tal sentido, el acceso a las bandas libres debe seguir unos mecanismos que aseguren la transparencia y la equidad, priorizando las redes que tengan como fin

brindar servicios de salud, educación, promoción social, económica y bienestar social, especialmente para zonas poco atendidas (Carrión, 2009).

Finalmente, es importante aclarar que el objetivo principal de estas tecnologías no es brindar conexión a internet, es un medio para interconectar distintos servicios de comunicación que potencien el acceso a la información y al conocimiento, aportando a la inclusión de todos los sectores sociales y ayudando a disminuir la brecha digital. Este es el gran beneficio de las redes inalámbricas libres, facilitar la interconexión ciudadana y la circulación abierta de contenidos compartidos de forma autónoma y voluntaria por cada uno de los usuarios.

### ***Reglamentación del uso de redes inalámbricas no controladas no licenciadas***

Como se ha mencionado, las redes inalámbricas utilizan una porción del espacio radioeléctrico que es de uso libre; sin embargo, se deben seguir las reglas de uso que imponen los organismos reguladores del espacio radioeléctrico, y tampoco es necesario obtener licencia de explotación, siempre que el uso de la red sea privado.

Desde los inicios de las telecomunicaciones, Marconi llamó la atención sobre la necesidad de regular el espectro para evitar interferencias entre sistemas. Esta ordenación de las frecuencias se ha llevado a cabo en conferencias mundiales de radiocomunicaciones, organizadas por la unión internacional de telecomunicaciones

(ITU, International Telecommunication Union), que es el organismo responsable de la estandarización, coordinación y desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones internacionales. Sus actividades incluyen coordinar el uso global compartido del espectro radioeléctrico, promocionar la cooperación internacional en la asignación de órbitas de satélite, trabajar para mejorar la infraestructura de telecomunicaciones en el mundo en desarrollo, y establecer los estándares mundiales para una fácil interconexión con una amplia gama de sistemas de comunicaciones. En estas conferencias se reparte el espectro en bandas y se asignan posibles usos a las mismas; recomendaciones que particularizan los países en sus correspondientes legislaciones.

De ahí que la legislación sobre el uso de las frecuencias en las redes inalámbricas, así como la radiación de potencia máxima permitida varía según los países, existiendo organismos estatales encargados de establecer dicha legislación. Existen también alianzas o unión de países que ponen en práctica las mismas leyes para regular algún aspecto en concreto, como ocurre, por ejemplo, en Europa, donde uno de los organismos más conocidos a nivel mundial en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas y que ha brindado las bases para que se rijan la mayoría de los países es la FCC o Federal Communications Comision (Comisión Federal de Comunicaciones) de EE.UU., la cual recoge en el apartado 15 de sus reglas y reglamentaciones todo lo referente a este tipo de legislación, sobre todo el aspecto relativo a las frecuencias.



En el caso de Europa la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), tiene 52 países miembros y define los estándares de telecomunicaciones para la región; donde también se deben tener en cuenta las recomendaciones sobre emisiones radioeléctricas que no sobrepasen las tasas de absorción específicas (SAR, specific absorption rate) impuestas por las organizaciones médicas internacionales (Riera, 2008).

El estándar IEEE 802.11 de 1997 ofrece las especificaciones tanto físicas como a nivel MAC que hay que tener en cuenta a la hora de implementar una red de área local inalámbrica; norma que ha sufrido diferentes extensiones para obtener modificaciones y mejoras, entre las que se destacan:

- 802.11 especificación para 1-2 Mbps en la banda de los 2.4 GHz, usando salto de frecuencias (FHSS) o secuencia directa (DSSS)
- 802.11b extensión de 802.11 para proporcionar 11Mbps usando DSSS
- 802.11b capaces de interoperar con los de otros fabricantes
- 802.11a extensión de 802.11 para proporcionar 54Mbps usando OFDM
- 802.11g extensión de 802.11 para proporcionar 20-54Mbps usando DSSS y OFDM. Es compatible hacia atrás con 802.11b. Tiene mayor alcance y menor consumo de potencia que 802.11<sup>a</sup>
- Wi-Fi (Wireless Fidelity) Promulgado por el WECA para certificar productos (tabla 1) (*Estándares IEEE*, Escudero, 2007).

El funcionamiento de muchas de las redes inalámbricas actuales se encuentra basado en el estándar IEEE 802.11, y más concretamente en la nueva especificación IEEE 802.11b. Los productos acogidos en esta normativa tienen garantizada la interoperabilidad entre fabricantes, consiguiendo al mismo tiempo una significativa reducción en los costos de los dispositivos para el usuario final; siendo un estándar importante, tanto para los proveedores del servicio como para los consumidores, y adicionalmente facilitador del desarrollo. El IEEE es el principal cuerpo estandarizador para las TICs y responsable de estándares muy utilizados como IEEE 802.11 (Wireless LAN); IEEE 802.3 (Ethernet) y IEEE 802.16 (WiMAX) (Escudero, 2007).

**Tabla 1. Estándares de la familia 802.11**

| Protocolo | Año  | Frecuencia de operación               | Velocidad máxima |
|-----------|------|---------------------------------------|------------------|
| 802.11    | 1997 | 2.4-2.5 GHz                           | 2 Mbit/s         |
| 802.11 a  | 1999 | 5.15-5.35/5.47-5.725/5.725- 5.875 GHz | 54 Mbit/s        |
| 802.11 b  | 1999 | 2.4-2.5 GHz                           | 11 Mbit/s        |
| 802.11 g  | 2003 | 2.4-2.5 GHz                           | 54 Mbit/s        |
| 802.11 n  | 2008 | 2.4 GHz o 5 GHz                       | 540 Mbit/s       |

Fuente: Garzón Pérez (2010).

En el caso de Colombia, la resolución 689 de 2004 (*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.)(*Resolución 689 de 2004*, n.d.) establece:

Que el espectro electromagnético es un bien público y debe ser controlado por el Estado y este designo que debe ser administrado por el Ministerio de Comunicaciones, el cual debe garantizar la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley, y por lo tanto ejercer un control efectivo sobre el uso del espectro radioeléctrico (Ministerio de Comunicaciones, 2004).

El objetivo de la resolución es atribuir unas bandas de frecuencia radioeléctrica para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia en las condiciones establecidas. La utilización del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias atribuidas no requiere habilitación, pero si existe obligatoriedad de obtener la concesión respectiva cuando se pretenda prestar servicios de telecomunicaciones a terceros. De acuerdo con el artículo 5 de la misma resolución,

Se atribuyen dentro del territorio nacional, a título secundario, para operación sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia los siguientes rangos de frecuencias radioeléctricas, para su libre utilización por sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que empleen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.

- a. Banda de 902 a 928 MHz
- b. Banda de 2 400 a 2 483,5 MHz
- c. Banda de 5 150 a 5 250 MHz
- d. Banda de 5 250 a 5 350 MHz
- e. Banda de 5 470 a 5 725 MHz
- f. Banda de 5 725 a 5 850 MHz

Con respecto a la interferencia el artículo 10, considera:

La utilización de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, está condicionada al cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro

2. No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro

Si un dispositivo ocasiona interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada a título primario, aunque el aparato cumpla con las normas técnicas establecidas en los reglamentos de radiocomunicación o los requisitos de autorización de equipo, se deberá suspender la operación del dispositivo.

Con respecto a la utilización de equipos, el artículo 11, reza:

Para la correcta operación de los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, sólo se aceptarán equipos de conformidad con las normas técnicas de la Federal Communications Commission FCC, CFR, 47 Part 15 Subpart C § 15.247 y CFR 47 Part 15 Subpart E, la presente norma y otros estándares internacionales que se ajusten a estas especificaciones.

### ***Problemas asociados al uso de redes inalámbricas no controladas no licenciadas***

Las redes inalámbricas no controladas no licenciadas tienen ventajas al disminuir costos y mejorar la accesibilidad; no obstante, presenta desventajas como una mayor exigencia en la seguridad y la degradación de la señal por causa de interferencia. Interferencia que se entiende como cualquier fenómeno que altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor (Kliks; Nasreddine; Zalonis & Dimitriou, 2012).

En este mismo sentido, la interferencia es un fenómeno en el que dos ondas se superponen para formar una onda resultante de mayor o menor amplitud; por lo general se refiere a la interacción de las ondas que se correlacionan o son coherentes entre sí, ya sea porque vienen de la misma fuente o porque tienen la misma o casi la misma frecuencia. En las comunicaciones y la electrónica, especialmente en las telecomunicaciones, la interferencia es cualquier cosa que modifica o altera una señal a medida que viaja a lo largo de un canal entre una fuente y un receptor (Sinthuja & Sridevi, 2014).

Para la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) la interferencia es el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o

pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada ([www.itu.int/net](http://www.itu.int/net)).

De esta forma, en 802.11 la interferencia puede ocurrir, ya sea en el “lado del remitente” o en el “lado del receptor” (o ambos). La interferencia del lado del emisor se refiere al diferimiento por detección de portadora; en este caso, un nodo se queda como un contador marcha atrás y espera hasta que detecta la transmisión del segundo nodo. En cuanto a la interferencia del lado del receptor, se presenta cuando la transmisión de paquetes superpuestos origina colisiones en el receptor, produciendo la retransmisión de paquetes; en ambos casos el remitente tiene que pasar además por un período de marcha atrás, y el efecto neto de la interferencia es la reducción de la capacidad de rendimiento de la red (Savithri; Sujathammai & otros, 2014).

La interferencia y la atenuación - que son las principales causas de degradación de la señal - están directamente relacionadas con la cantidad de puntos de acceso (AP) que se encuentren en el mismo canal y estén ubicados en la misma área de cobertura de la señal, la cantidad de fuentes de radio interferentes y los obstáculos físicos (paredes, puertas, ventanas) que hay en el lugar. Estos factores pueden coexistir en un espacio físico local donde múltiples usuarios se conectan, dando como resultado una pobre calidad del servicio (Dzul; Mohd y otros, 2013).

Es así como la pérdida de señal o la disminución de su alcance también puede ser debida a diversos fenómenos, tales como: atenuación, pérdida intermitente o completa de conexión, dificultad durante la fase de enlace entre dispositivos Bluetooth, disminución de la transferencia de datos y pérdida de paquetes de información. Esto puede ocurrir tanto por la cantidad de puntos de acceso (AP) que se ubican en áreas aledañas (Cabrera, 2008; Kliks; Nasreddine y otros, 2012), como por la interferencia ocasionada por electrodomésticos y teléfonos inalámbricos que utilizan frecuencias de 2,4GHz o 5 GHz, fuentes eléctricas externas, y principalmente, por dispositivos tipo Bluetooth, que manejan la misma frecuencia (Tanenbaum, 2003; Moya y JL, 2008).

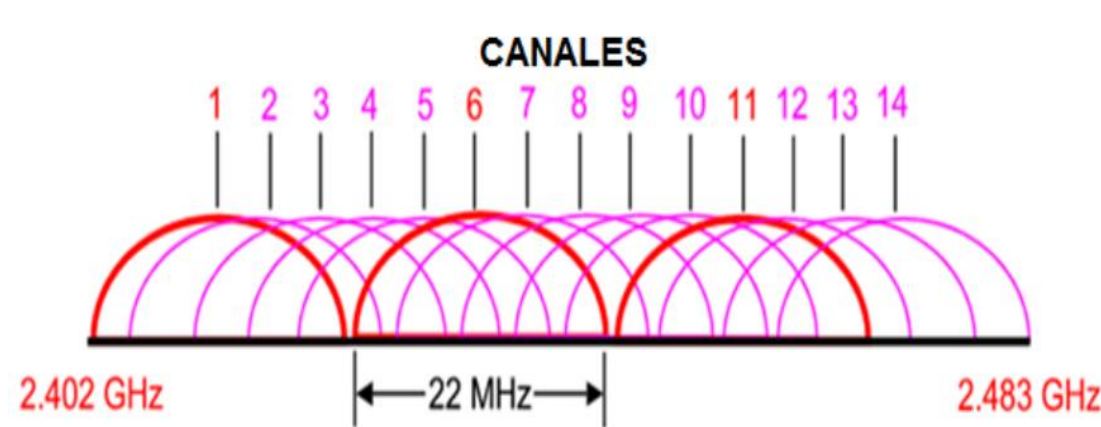
En estos casos, la interferencia puede ser explicada por la presencia de una señal no deseada que interfiera con los paquetes de transmisión. Cada AP sólo transmite paquetes cuando no hay otros puntos de acceso o estaciones que estén transmitiendo simultáneamente en su cobertura; cuando esto ocurre, se esperará a que la otra transferencia se complete antes de transmitir sus paquetes (Dzul; Mohd y otros, 2013).

La interferencia ocasionada por otras fuentes de radiación electromagnética en la banda cercana a los 2.4 GHz (de uso libre o sin licencia) tienden a afectar el protocolo IEEE 802.11. Estos equipos usados en oficinas y hogares tienen una potencia de radiación relativamente mínima, y por lo tanto, una distancia de cobertura pequeña; sin embargo, plantean un deterioro en el rendimiento de las redes inalámbricas o de acceso local Wi-fi (Chaparro; Sáchica y Vargas, 2012).



Según el protocolo IEEE 802.11, el ancho de banda de las señales inalámbricas maneja 14 canales; este ancho de banda es superior a la separación entre canales, y por esto es necesaria una separación de por lo menos cinco canales para evitar interferencias entre celdas adyacentes; un ejemplo sería asignar los canales 1, 6 y 11, tal como lo muestra la figura 3.

**Figura 3. Separación de canales wireless en 2.4 GHz**



Fuente: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/233015/233015Exe/leccin\\_12\\_estndares\\_wlan.ht](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/233015/233015Exe/leccin_12_estndares_wlan.ht)

En este orden, la interferencia entre canales es un aspecto fundamental en el funcionamiento de una plataforma de comunicación y en la gestión y administración de la red. La interferencia Co-canal se presenta cuando se intenta realizar una transmisión utilizando un mismo canal (una misma frecuencia); igualmente, la interferencia Inter-canal se presenta cuando se transmite utilizando canales adyacentes, y cualquiera de las dos origina limitaciones importantes en el uso de las redes WLAN (Chaparro; SÁCHICA y Vargas, 2012).

Resumiendo, la interferencia se puede producir por un co-canal; por un canal adyacente; por nodos ocultos en los dispositivos de entorno, o por equipos no WiFi que operan en la banda 802,11. Hay tres factores en los equipos que pueden producir el efecto de la interferencia:

- a. La potencia de salida del equipo.
- b. El comportamiento de señal con respecto al tiempo: En el momento en que el equipo se enciende el impacto sobre el rendimiento de los dispositivos inalámbricos es mayor.
- c. El comportamiento de señal con respecto a la frecuencia: el dispositivo inalámbrico normalmente opera a una sola frecuencia y afecta sólo a un canal WiFi; si los otros equipos barren un espectro de frecuencias causan una interrupción grave en la red inalámbrica (Dzul; Mohd y otros, 2013).

En conclusión, algunos de los problemas más frecuentes asociados a la utilización de redes inalámbricas no controladas no licenciadas son:

- Baja cobertura
- Ancho de Banda (BW) limitado
- Restricciones para el acceso

- No reconocimiento de la red inalámbrica
- Congestión
- Mala configuración
- Interferencias
- Baja velocidad (300 Mbps)
- Poca seguridad
- Baja calidad del servicio (QoS).

Los factores arriba mencionados disminuyen en un alto grado la calidad de la señal perturbándola durante su transmisión, lo cual impide garantizar la satisfacción de las necesidades de los usuarios. También se debe tener en cuenta que la proliferación de redes inalámbricas vulnera la seguridad y estabilidad de la prestación del servicio, pues los usuarios que ingresan a la red sin autorización pueden causar interferencias que producen interrupción o pérdida de la señal.

***Cómo afrontar los problemas asociados al uso de redes inalámbricas no controladas  
no licenciadas***

Con los avances y generalización en el uso de estas tecnologías se han creado mejores productos que ofrecen una mayor seguridad para el transporte de datos durante la transmisión inalámbrica (Cabrera, 2008; Díaz, 2008); sin embargo, sigue siendo

necesario abordar el problema de la interferencia de la señal, que en muchos casos se convierte en un limitante para su utilización (Koo & Cha, 2012).

Es por ello que en términos generales, se sugiere que diferentes equipos deben ubicarse en diferentes frecuencias para evitar interferencias; teniendo en cuenta que las ondas utilizadas deben ser de diferentes frecuencias para evitar las interferencias, y el receptor debe ubicarse en una determinada frecuencia y desechar las demás posibilidades (Moya y JL, 2008).

Inicialmente, es importante determinar la mejor ubicación para el punto de acceso, para lograr un alcance máximo de la cobertura sin interferencias con los AP más cercanos, ya que si uno de los AP utiliza el mismo canal asignado al AP vecino, el rendimiento WLAN se degrada significativamente debido a la interferencia de canal; por lo tanto, es más apropiado para los puntos de acceso vecinos utilizar diferentes canales, siendo la asignación correcta de canales una forma de reducir la interferencia y mejorar el rendimiento de la red (Dzul; Mohd y otros, 2013).

En este mismo sentido, existen tres mecanismos principales para el control de las interferencias: mitigación de interferencias, cancelación de interferencias y coordinación de interferencias. Cada una de estas puede originar ciertas restricciones que condicionan la asignación posterior de los recursos de los canales a los distintos usuarios (Eguizábal, 2011).

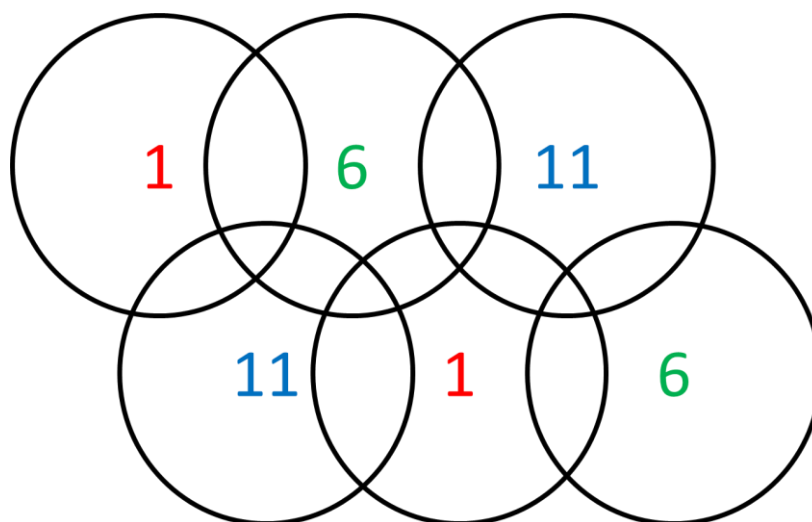
Los mecanismos de mitigación de interferencias no originan ganancias importantes, y las técnicas de cancelación de éstas requieren la utilización de mayores recursos tecnológicos; por lo tanto, la mayoría de los trabajos para reducir la interferencia se centra en métodos de coordinación de interferencias (Eguizábal, 2011).

De ahí que los métodos de coordinación de interferencias se fundamentan en la aplicación de restricciones respecto a la asignación de recursos a determinados usuarios de forma coordinada a lo largo de la red, de modo que se reduzcan las interferencias, y especialmente la de los usuarios situados en el límite de un sector determinado (Eguizábal, 2011). Para evitar la interferencia entre canales se sugiere considerar los siguientes aspectos:

1. Dejar un espacio considerable entre los puntos de acceso, sin limitar la cobertura total del área que se desea radiar.
2. Para redes instaladas en una sola planta física (un piso), utilizar los canales 1, 6 y 11 para evitar interferencia intercanal y asignación de puntos de acceso adyacentes en el mismo canal.
3. Para redes instaladas en varias plantas físicas hacer uso estratégico de los canales 1, 4, 7 y 11 para optimizar el uso del espectro, limitar la interferencia inter-canal

y evitar que canales adyacentes hagan uso del mismo canal (figura 4) (Chaparro; Sáchica y Vargas, 2012).

**Figura 4. Asignación de canales sin interferencia**



Fuente: elaboración propia

De otro lado, para evitar el solapamiento de las señales, además de las recomendaciones ya mencionadas, se hace uso de dos estrategias: la primera se conoce como FH o FHSS, que traduce Espectro Extendido con Salto de Frecuencia. Con esta estrategia las frecuencias cambian aproximadamente 1600 veces por segundo, proporcionando una probabilidad mínima de interferencia con otros canales de radiofrecuencia, y la segunda, conocida como DS o DSSS - Espectro Ensanchado por Secuencia Directa - en la que se genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que componen la señal; pues entre mayor es el patrón de bits, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias.

A pesar de estas herramientas para evitar el solapamiento, el diseño incorrecto de la infraestructura de red inalámbrica ocasionará interferencias entre canales de frecuencia, y además, el rediseño de red originará costos y pérdidas tanto en tiempo como en dinero (Chaparro; SÁCHICA y Vargas, 2012).

En el mercado existen diferentes productos para analizar la presencia de interferencias (tabla 2). El Wi-fi Analyzer es un software que permite realizar un diagnóstico exhaustivo de la red WiFi. El software incluye características para el control de la interfaz de la radio y la infraestructura fija, así como la velocidad de datos y la tasa de rendimiento de los comandos ping DHCP; también realiza un monitoreo de la intensidad de la señal y del nivel de ruido, además de un control de seguridad de la información manejada por la red y la identificación de dispositivos mal configurados y de dispositivos para el envío de datos no cifrados.

El Wi-fi Analyzer se puede ejecutar con los sistemas operativos Windows y Mac, pero sólo es compatible con ciertas tarjetas de red (Monzón, 2009); se destaca que es un producto fácil de usar, ofrece una interfaz de usuario intuitiva y herramientas para la solución rápida de problemas comunes en la red, sin necesidad de revisar los paquetes individuales (Backman, 2010).

De otra parte, este sistema puede monitorear las redes inalámbricas cercanas e indicar cuáles de ellas se están solapando, en qué canales, y también mostrar su

evolución temporal en cuanto a señal; dispone de varios indicadores para comprobar la eficacia de los cambios realizados sobre la red; posee una alerta sonora para la recepción de señal que puede utilizarse para comprobar los mejores lugares de cobertura de una determinada red. Para la utilización de la aplicación se deben seguir los siguientes pasos:

1. Descargar e instalar WiFi Analyzer desde su página de Google Play.
2. Tras abrir la aplicación WiFi Analyzer mostrará el gráfico de redes actual, sus canales y la intensidad de las señales.
3. Pulsando la tecla «Menú» del dispositivo se accede a todas las opciones adicionales de la aplicación, como cambiar la visualización a otro tipo de gráfico o al listado de canales al pulsar la opción «Ver».
4. La opción de «Ajustes» permite cambiar los parámetros del programa, como el tiempo entre cada escaneo de redes, si se quieren marcar redes abiertas, o configurar los colores para las gráficas.
5. Dentro de la opción «Ver» aparece el «Medidor de señal». Si se pulsa en él y se selecciona una red inalámbrica la visualización cambiará para mostrar la potencia de dicha red y se podrá activar el aviso sonoro de cobertura (Ortiz, 2012).



**Tabla 2. Cuadro comparativo de software analizadores de redes WiFi**

| <b>Analizador</b>        | <b>Sistema operativo</b> | <b>Versión de evaluación</b> | <b>Tipo de descarga (Almacenamiento)</b> | <b>Soporte</b> | <b>Idioma</b> |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--|----------------|---------------|
| WiFi Analyzer            | Androi (Moviles)         | Sin Vencimiento              | Instalador (2,23 MB)                     | Si             | Español       |
| Acrylic WiFi Profesional | Windows (PC's)           | 5 días                       | Instalador (5,1 MB)                      | Si             | Español       |
| SoftPerfect WiFi Guard   | Mac (PC's) (Moviles)     | 10 días                      | Instalador (1,8 MB)                      | No             | Español       |
| Xirrus Wi-Fi Inspector   | Windows (PC's)           | 60 días                      | Instalador (22,4 MB)                     | No             | Ingles        |
| Easy WiFi Radar          | Windows (PC's)           | 30 días                      | Instalador (2,1 MB)                      | Si             | Ingles        |

## **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Tipo de investigación**

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y de corte transversal para analizar la interferencia en las redes inalámbricas no controladas no licenciadas.

### **Población y muestra**

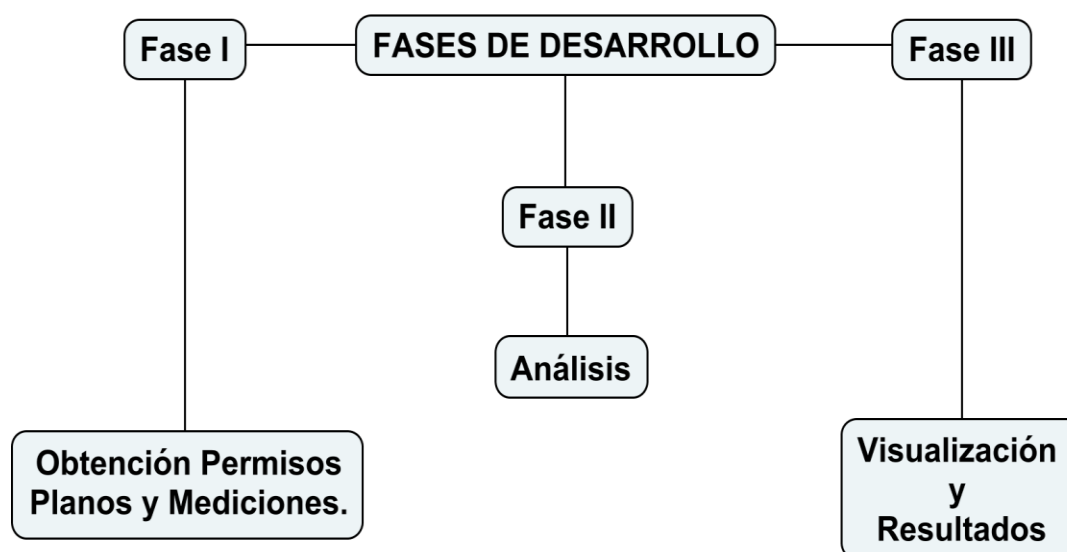
Se tomaron medidas de señales de WiFi en los centros comerciales: Centro Comercial Premium Plaza y Centro Comercial San Diego, y en los centros habitacionales: Conjunto Residencial Torres del Río y Conjunto Residencial Altos de la Visitación de la ciudad de Medellín. La selección de la muestra fue a conveniencia, y las mediciones se realizaron durante los meses de mayo a septiembre de 2013.

Las variables registradas fueron la intensidad de la señal recibida y la identificación del punto de acceso que origina la transmisión. En las cuatro unidades de análisis se tomaron en promedio 4395 medidas en diferentes puntos, con el objeto de crear una grilla de mediciones que se utilizaron para interpolar la intensidad de la señal en la región y obtener el “mapa de calor” de la señal. Cada punto medido fue ubicado en un mapa digital, creado a partir de los planos físicos de las edificaciones, para obtener su posición física respecto al sitio.

## Materiales y métodos

Inicialmente se hace una enumeración de las etapas desarrolladas en el presente trabajo, y las actividades llevadas a cabo se ilustran en el siguiente diagrama de flujo (figura 5).

**Figura 5. Fases de desarrollo del proyecto**



### Fase I

1. Gestión y obtención de los permisos correspondientes y de los planos de los sitios donde se realizaron las mediciones de redes inalámbricas WiFi (centros comerciales y conjuntos residenciales)
2. Adquisición de los elementos necesarios para hacer las mediciones: una tableta de última generación y el software WiFi Analyzer
3. Elaboración de los planos digitales a partir de los planos físicos
4. Determinación de los puntos de medición

5. Toma de mediciones cada dos o tres metros
6. Montaje de las mediciones en MATLAB y obtención de gráficos para la fase II.

### **Fase II**

Análisis de las gráficas en relación con los tipos de interferencia que pueden causar una señal deficiente desde los AP y pasar a la fase III.

### **Fase III**

1. Elaborar los resultados y conclusiones del estudio
2. Plantear soluciones teóricas y prácticas para poder minimizar la interferencia que se presentó en las redes inalámbricas WiFi en zonas no controladas no licenciadas de las unidades de análisis
3. Elaboración del informe final.

Para las mediciones se instaló en una tableta la herramienta WiFi Analyzer, cuyo objeto es que se indique la intensidad de la señal recibida, identificar el punto de acceso que la irradia y el canal WiFi utilizado. Por su parte, los puntos de medición se determinaron basados en los planos físicos suministrados por los centros comerciales y los conjuntos habitacionales.

Al respecto, no se realizó una inspección directa de la ubicación física del punto de acceso, pues implicaba el ingreso a sitios privados (residencias o locales comerciales)

que no eran accesibles de forma general, por lo que la toma de medidas se realizó en corredores de circulación pública; es decir, no se hizo una radiolocalización en puntos específicos, se utilizó un mapa físico en el cual se marcaron las mediciones cada dos metros e identificaron con un número en el mapa (1,2,3,4,...). El mapa físico se digitalizó y se montó en Matlab, posteriormente se diseñó un algoritmo (explicado más adelante) que permite ubicar los puntos en el mapa y grafica los datos de interferencia, cobertura y número de AP en la zona.

La interferencia se estimó a partir de las señales medidas que compartieran un mismo canal, no se midió en ninguna de las redes de manera directa; por ejemplo, para la señal medida en un canal particular, las otras señales en el mismo canal se consideraron interferentes, y la interferencia se determinó en términos de la relación señal/interferencia.

En cuanto a la evaluación, ésta se realizó comparando la señal recibida con la señal interferente, indicando la relación entre dichos valores dentro de las zonas medidas. En la determinación de interferencia en redes WiFi se cuantifica la interferencia existente en un espacio dado y este valor se divide por el número de AP presentes en la zona; no se realizan mediciones individuales para cada AP, no se realizaron medidas adicionales de interferencia, ni se correlacionaron las medidas logradas con la percepción de funcionamiento por parte de los usuarios. De otra parte, en el software MATLAB se diseñó un algoritmo para, a partir de los datos recolectados

con el WiFi Analyzer, observar la relación señal/interferencia comparando la señal recibida con la señal interferente. A continuación la descripción del algoritmo implementado:

### **Ver cobertura.m**

- Carga información de la cobertura de la señal en el área escaneada.
- Carga las imágenes correspondientes al sitio o área de cobertura que corresponde al lugar escaneado.
- Para cada punto de acceso del lugar o sitio escaneado realiza los siguientes pasos:
  - Grafica contour f (mapa de calor)
  - Grafica la línea del contorno a -70 dBm Roja —————>Buena cobertura
  - Grafica la línea del contorno a -80 dBm Negra—————>Mala cobertura

### **Ver interferencias**

- Visualiza la interferencia que se da entre cada uno de los canales de la señal, desde el canal 1 hasta el canal 11
- En el canal  $h$ , calcula si se encuentra un AP en algún canal que interfiera
  - $ch - \text{nodo} - ch | < 5$  hay interferencia.
- Si hay interferencia en todos los puntos tales que la  $PR_x > -70$  dBm, aumenta una variable entera en 1.

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

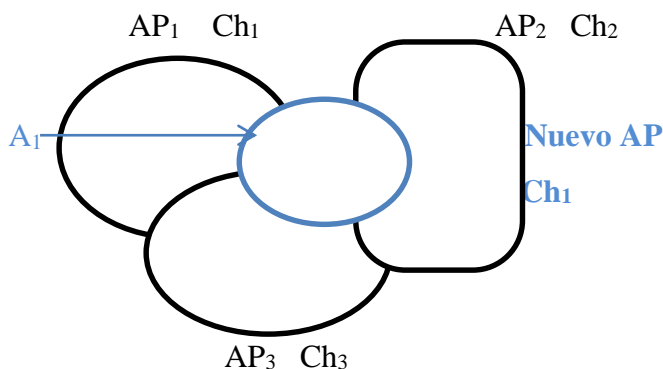
|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

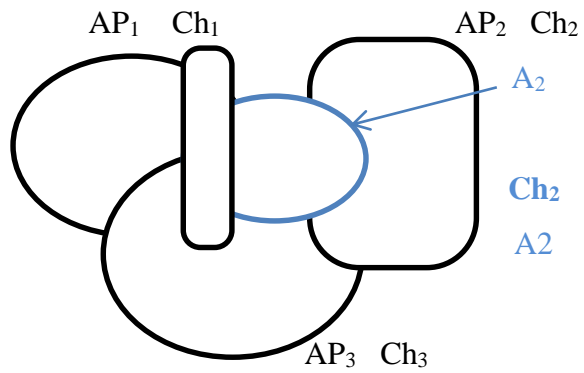
- Al final grafica en el área un countour  $f$  con el número de AP que cubre cada punto, y los puntos más altos representan una mayor interferencia.

### Reducir interferencia

- Organiza los AP en forma descendente respecto al área que cubre: primero los AP de mayor área de cobertura
- Al primer AP le coloca un canal arbitrario, puede ser el canal 1, teniendo en cuenta las diferencias que debe haber entre canales para que no haya interferencia, por ejemplo, Ch 1.....Ch 6.....Ch 11
- Para todos los otros AP se realiza el siguiente cálculo:



Para cada uno de los tres canales disponibles calcula la interferencia que causaría en su región de cobertura si usara dicho canal.

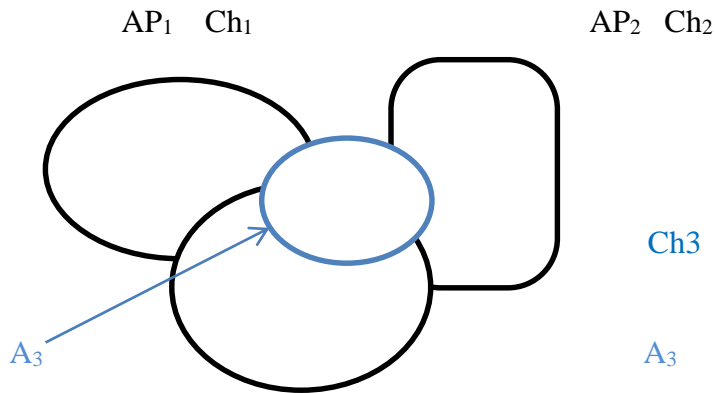


Si:

$A_2 < A_1$  y  $A_2 < A_3$

$A_2$  es la menor, entonces:

Ch2 es el elegido.

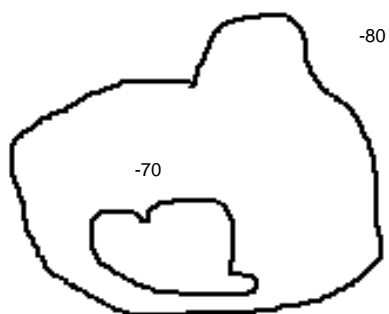


Este proceso se repite para todos los AP que estén en el área de medición.

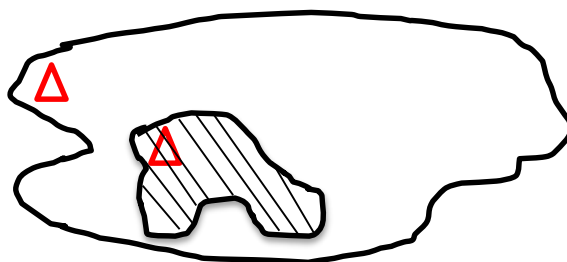
### Ver cobertura

- Muestra la potencia (en dBm) recibida desde un AP por medio de un mapa de calor, este mapa no es uniforme por los sitios donde se toman las señales (pasillos).



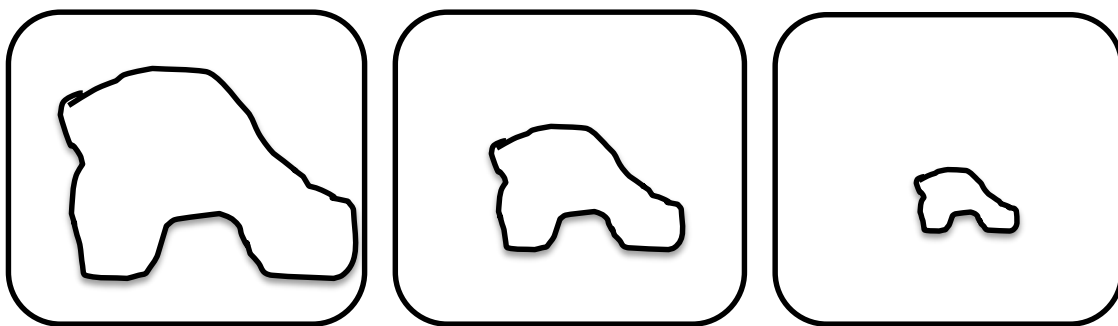


- Área que cubre un AP:



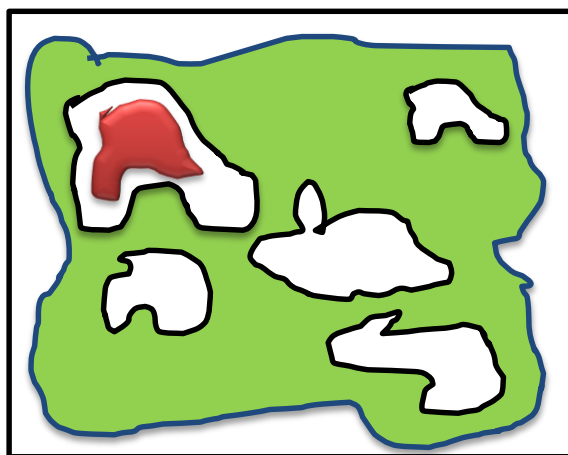
### Ver Best Server

- Ordena de mayor a menor la cobertura (propagación y potencia) de la señal.



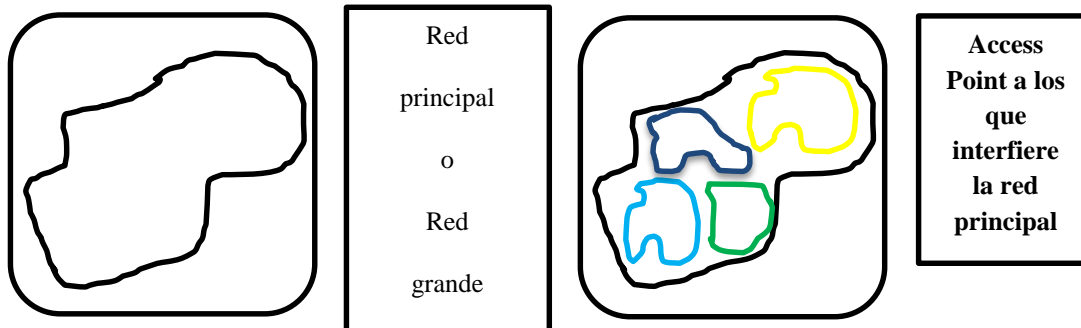
## Interferencia

Muestra cuando una señal altera la recepción de otra. En este caso, diagrama la cantidad de AP que se encuentran en el área escaneada. Lo que está en la zona delimitada con color rojo indica que hay muchos AP disponibles y por esto se da mucha interferencia, lo que está en la zona delimitada con color verde muestra menos AP disponibles, en este caso se presenta menos interferencia.



## Mostrar Interferencia

Muestra la red principal (siendo esta la más grande), donde se observa la forma en que las redes internas interfieren entre ellas.





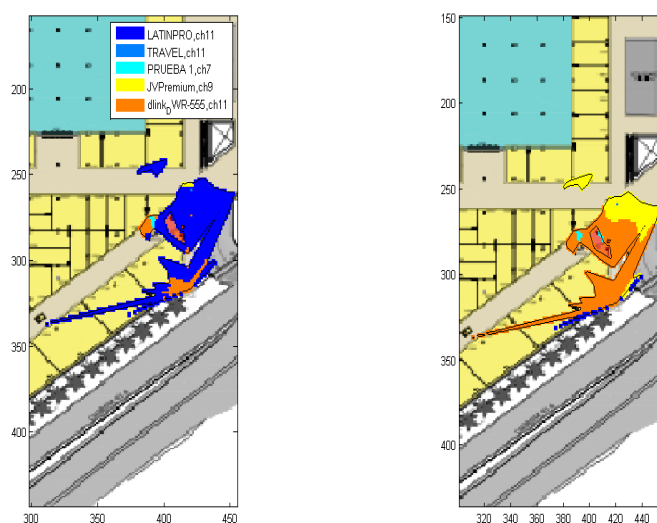
## RESULTADOS

Se analizaron las mediciones realizadas en los centros comerciales y conjuntos habitacionales: Centro Comercial Premium Plaza – 1247; Centro Comercial San Diego – 585; Conjunto Residencial Torres del Río – 2252, y Conjunto Residencial Altos de la Visitación - 310, para un total de 4394 mediciones. Las mediciones se realizaron durante los meses de mayo a septiembre de 2013.

### Mediciones realizadas en centros comerciales

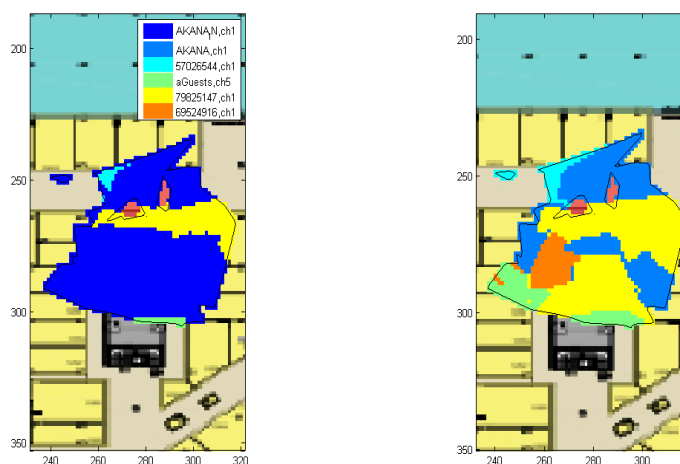
#### *Interferencia centro comercial Premium Plaza*

**Figura 7. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 1, sector A**



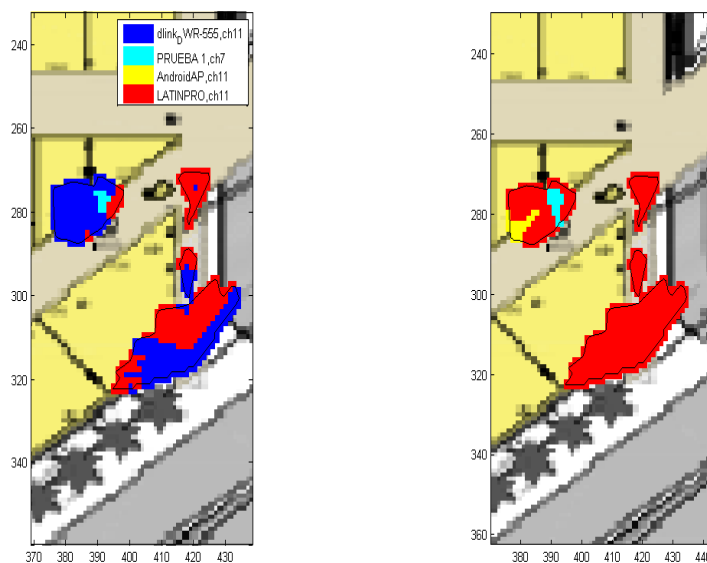
En esta imagen se pueden identificar cinco puntos de acceso, LATINPRO, TRAVEL y dlink<sub>D</sub>WR-555 en el canal 11, PRUEBA 1 en el canal 7 y JVPremium canal 9. Respecto a la imagen del lado izquierdo, se observa que el AP que más interferencia causa es LATINPRO, pues debido a que la potencia de su señal es mayor está opacando la de los demás AP en su zona de cobertura; es decir, los otros APs están afectados debido a que su potencia es menor que la del AP indicado; el usuario recibe más potencia de LATINPRO que de las otras redes. En la imagen del lado derecho se muestra la potencia dominante de la región, si el AP LATINPRO se apagara o no estuviera. Se evidencia que, al eliminar el LATINPRO, los demás AP pueden tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia y sus usuarios recibirían la mayor potencia de señal; es decir, LATINPRO es una fuente de interferencia para los otros APs; por lo que, si un AP que transmite con mucha potencia llena su zona de influencia con toda su señal, otro AP en la zona es enmascarado por la potencia del primero.

**Figura 8. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 1, sector B**



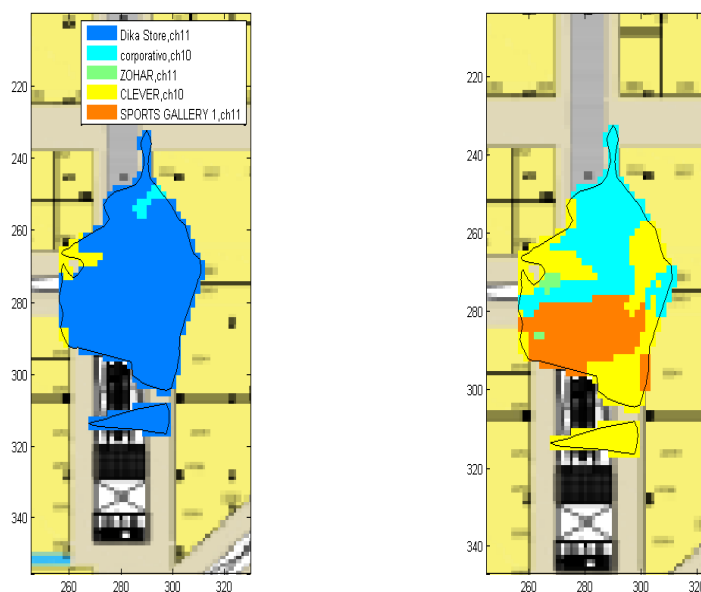
La figura 8 muestra cinco puntos de acceso, AKANA<sub>N</sub>, AKANA, 57026544, 79825147 y 69524916 en el canal 1 y a Guests en el canal 5. En la imagen del lado izquierdo se observa que el AP que más interferencia causa es el AKANA<sub>N</sub>, la potencia de su señal está opacando la de los demás AP que están compartiendo su área de cobertura y cuya potencia es menor; además, el usuario recibe más potencia de AKANA<sub>N</sub> que de las otras redes. En cuanto a la imagen de la derecha, se muestra la potencia dominante de la región, si el AP AKANA<sub>N</sub> se eliminara, los demás AP pueden tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia, y los usuarios recibirían una mayor potencia de su señal; es decir, AKANA<sub>N</sub> es una fuente de interferencia para los otros APs.

**Figura 9. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 1, sector C**



En la figura 9, correspondiente al tercer sector evaluado, se identifican cuatro puntos de acceso, Dlink<sub>D</sub>WR-555, AndroidAP y LATINPRO en el canal 11 y PRUEBA 1 en el canal 7. En la imagen del lado izquierdo se muestra que el AP que más interferencia causa es el Dlink<sub>D</sub>WR-555, con su mayor potencia reduce la señal de los demás AP ubicados en su zona de cobertura; el usuario recibe más potencia de Dlink<sub>D</sub>WR-555 que de las otras redes; mientras que en la imagen de la derecha se evidencia que si el AP Dlink<sub>D</sub>WR-555 se apagara o no estuviera, los demás AP pueden tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia. El Dlink<sub>D</sub>WR-555 es una fuente de interferencia para los demás APs.

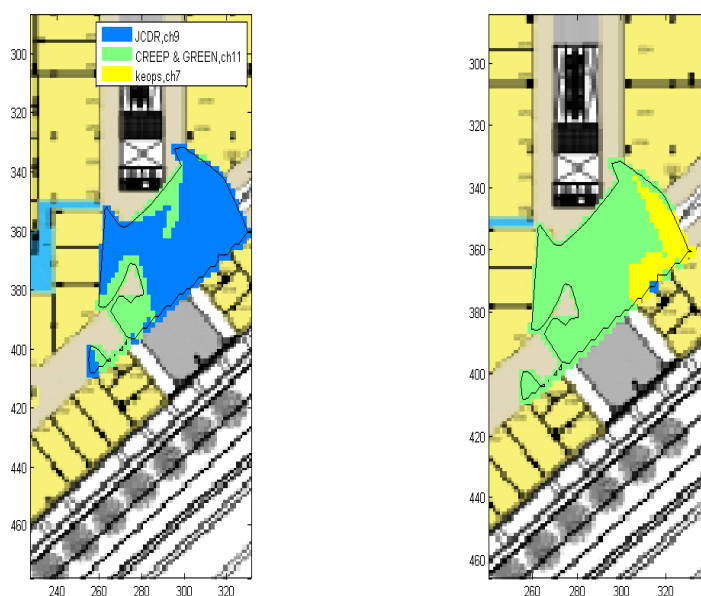
**Figura 10. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 2, sector A**



En la figura 10 se identifican cinco puntos de acceso, Dika Store, ZOHAR y SPORTS GALLERY 1 en el canal 11, corporativo y CLEVER en el canal 10. La

imagen de la izquierda muestra que el AP que más interferencia causa es el de Dika Store, pues debido a la potencia de su señal está opacando la de los demás AP ubicados en su zona de cobertura del AP. Los otros APs sufren debido a que su propia potencia es menor y el usuario recibirá más potencia de Dika Store que de las otras redes. Respecto a la imagen de la derecha, se muestra la potencia dominante de la región, si el AP Dika Store se apagara o no estuviera, los demás AP pueden tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia. Dika Store es una fuente de interferencia para los otros APs.

**Figura 11. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 2, sector B**

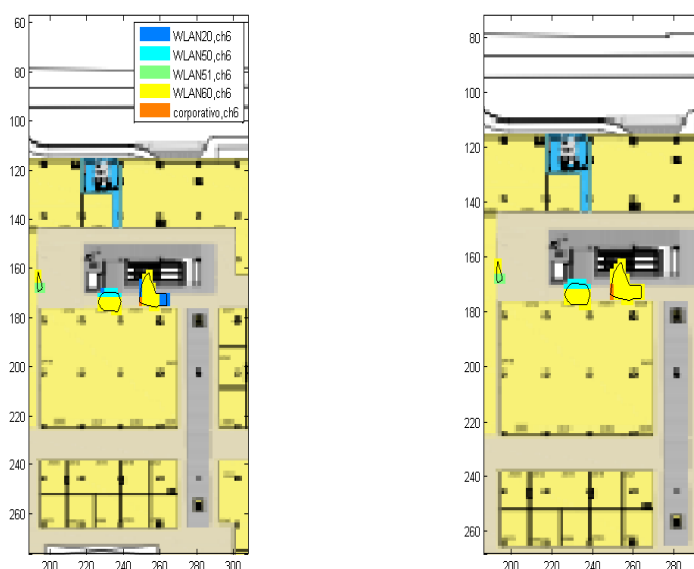


En esta figura se pueden identificar tres puntos de acceso, el primero de ellos es el de JCDR en el canal 9, CREEP & GREEN en el canal 11 y Keops en el canal 7. La imagen del lado izquierdo deja ver que el AP que más interferencia causa es de JCDR, su potencia es mayor que la de los demás APs que están compartiendo su área de



influencia. El usuario recibe más potencia de JCDDR que de las otras redes. Respecto a la imagen de la derecha, se evidencia que si JCDDR no estuviera interfiriendo, los demás AP podrían tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia. El punto de acceso JCDDR es una fuente de interferencia para los otros APs.

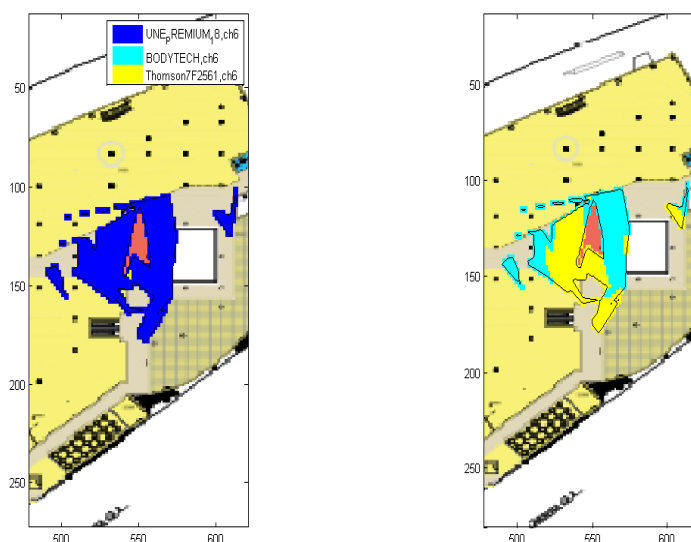
**Figura 12. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 2, sector C**



La figura 12 muestra cinco puntos de acceso, WLAN20 es el que más interferencia ocasiona, WLAN50, WLAN51, WLAN60 y corporativo, todos en el canal 6. En la imagen de la izquierda se evidencia la interferencia ocasionada por WLAN20, su potencia es mayor y está opacando la de los demás AP ubicados en su zona de cobertura, por lo que el usuario recibe más potencia de WLAN20 que de las otras redes. En cuanto a la imagen del lado derecho, se muestra la potencia dominante de la región, pues si el AP WLAN20 se apagara o no estuviera los demás AP pudieran tener una

buena cobertura sobre sus zonas de influencia y los usuarios recibirían la mayor potencia de su señal; es decir, WLAN20 es una fuente de interferencia para los otros APs.

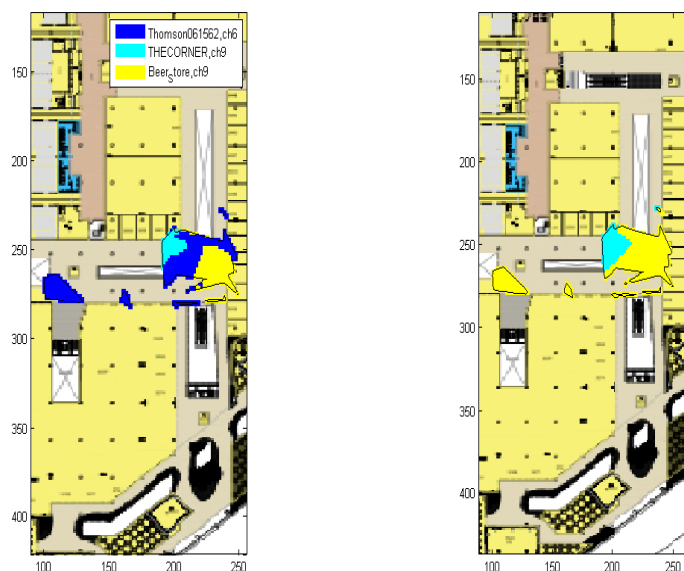
**Figura 13. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 3, sector A**



En la primera zona del tercer piso del centro comercial Premium Plaza, se identificaron tres puntos de acceso ubicados en el canal 6, identificados como UNEpREMIUM<sub>1</sub>8, BODYTECH y Thomson7F2561. La imagen del lado izquierdo muestra que el AP que más interferencia causa es el de UNEpREMIUM<sub>1</sub>8; la potencia de su señal es mayor y opaca la de los demás AP que comparten su misma zona de cobertura, y el usuario recibe más potencia de UNEpREMIUM<sub>1</sub>8 que de las otras redes. En cuanto a la imagen de la derecha, se muestra la potencia dominante de la región, si el AP UNEpREMIUM<sub>1</sub>8 se apagara o no estuviera, los demás AP podrían tener una buena

cobertura sobre sus zonas de influencia. El UNE<sub>p</sub>PREMIUM<sub>1</sub>8 es una fuente de interferencia para los otros APs.

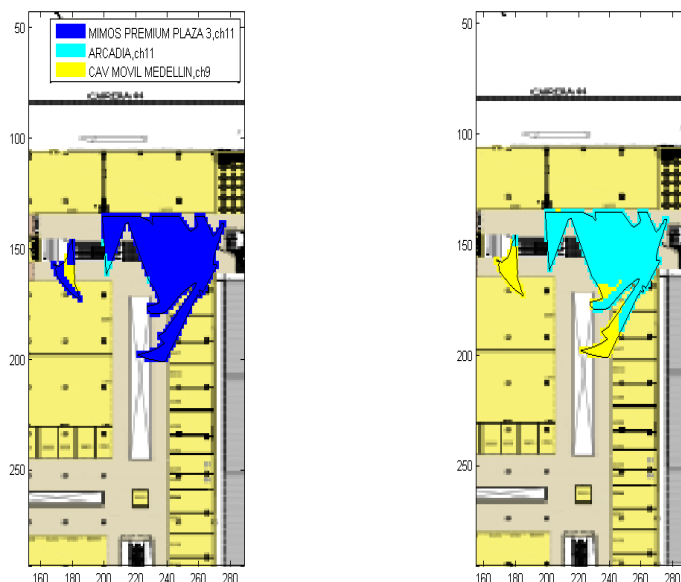
**Figura 14. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 3, sector B**



En el caso de la figura 14, se pueden identificar tres puntos de acceso, el primero es el ThomsonO61562 en el canal 6, el segundo THECORNER y el tercero Beerstore en el canal 9. Al observar la imagen del lado izquierdo se ve que el AP que más interferencia causa es de ThomsonO61562, pues debido a la potencia de su señal está opacando la de los demás AP ubicados en su zona de cobertura; los otros APs sufren debido a que su propia potencia es menor que la del AP indicado, por lo que el usuario recibe más potencia de ThomsonO61562 que de las otras redes. En lo que tiene que ver con la imagen del lado derecho, se muestra que si el AP ThomsonO61562 se apagara o no estuviera, los demás AP podrían tener una buena cobertura sobre sus zonas de

influencia, donde sus usuarios recibirían la mayor potencia de su señal; es decir, ThomsonO61562 es una fuente de interferencia para los otros APs.

**Figura 15. Interferencia en el centro comercial Premium Plaza, piso 3, sector C**

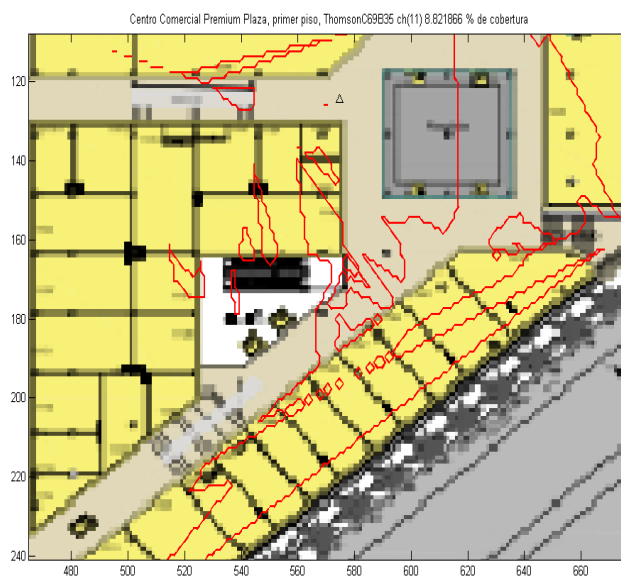


En el último sector evaluado del tercer piso, figura 15, se identifican tres puntos de acceso, el primero de ellos, que es el que más interferencia ocasiona, es el de MIMOS PREMIUM PLAZA 3 en el canal 11, ARCADIA en el canal 11 y CAV MOVIL MEDELLÍN en el canal 9. En la imagen izquierda se observa que debido a la potencia de su señal el AP MIMOS PREMIUM PLAZA 3 causa más interferencia, opacando la señal de los demás AP que comparten la misma zona de cobertura; los otros APs, sufren debido a que su propia potencia es menor que la del AP indicado, y el usuario recibe más potencia de MIMOS PREMIUM PLAZA 3 que de las otras redes. La imagen del lado derecho muestra la potencia dominante de la región, si el AP MIMOS

PREMIUM PLAZA 3 se apagara o no estuviera, los demás AP podían tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia; los usuarios recibirían la mayor potencia de su señal; es decir, MIMOS PREMIUM PLAZA 3 es una fuente de interferencia para los otros APs.

### *Cobertura Centro Comercial Premium Plaza*

**Figura 16. Cobertura de AP centro comercial Premium Plaza, piso 1. AP ThomsonC69B35**



### *Best server*

Con el fin de identificar el AP con la mejor cobertura en cada piso, y tomando una potencia de referencia mínima de  $-70\text{dbm}$ , se obtiene una región de cobertura donde se podría lograr una buena conexión con el AP; se realizó una interpolación para tratar de encontrar el punto de mayor potencia donde estaría ubicado el AP de la zona, y dicho

punto se identifica con un triángulo. En la figura 16 se observa que el AP ThomsonC69B35 en el canal 11, tiene una cobertura de señal del 8.82% en su zona de irradiación. Este AP corresponde a un local, posiblemente en el sitio donde aparece el triángulo, pero la cobertura del mismo, lejos de cubrir solo el local, cubre toda una área común grande y alrededor de 18 locales más.

Respecto al área total de la imagen, el área cubierta por el AP corresponde casi al 9% de la región; es decir, que existen APs con una potencia arbitrariamente alta que producen unas regiones de cobertura exageradas, y pueden producir interferencia en los otros APs ubicados en la misma zona.

**Figura 17. Cobertura de AP centro comercial Premium Plaza, piso 1. AP ThomsonFE25E1**



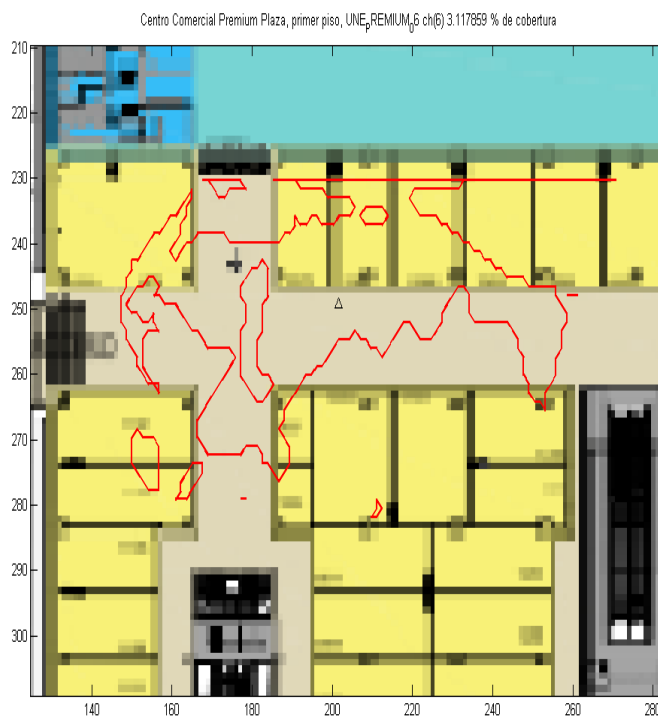
En esta figura se puede identificar el AP ThomsonFE25E1 en el canal 1, que tiene una cobertura de señal del 6.92% en su zona de irradiación. Este AP corresponde a un local, donde aparece el triángulo, pero la cobertura del mismo cubre toda un área mayor a la del local y cubre alrededor de 18 locales más.

**Figura 18. Cobertura AP centro comercial Premium Plaza, piso 1, AP LATINPRO**



En la figura 18 se observa el AP LATINPRO en el canal 11, que tiene una cobertura de señal del 6.73% en su zona de irradiación. Al realizar la interpolación para encontrar el punto de mayor potencia (representado por el triángulo en la gráfica), se observa que la zona de cobertura cubre además del local propietario, nueve locales más. Respecto al área total de la figura, el área cubierta por el AP corresponde casi al 7% de la región.

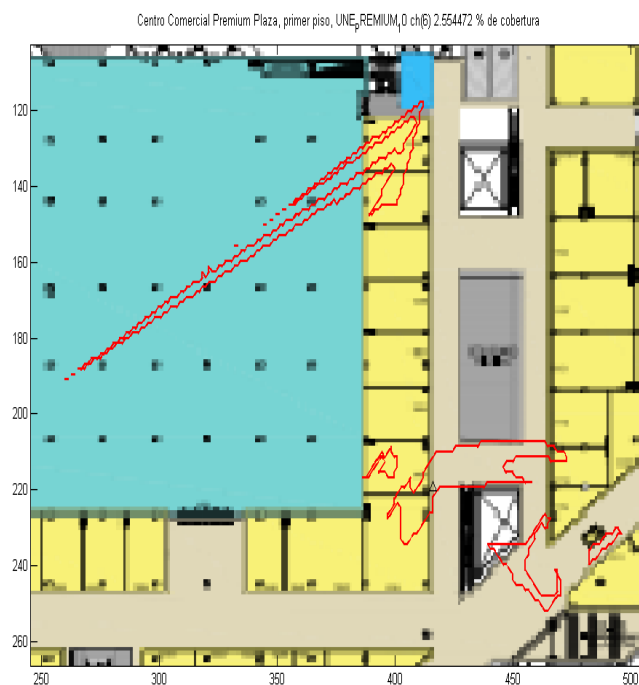
**Figura 19. Cobertura de AP centro comercial Premium Plaza, piso 1. AP  $UNE_{PREMIUM_0}$**



En esta figura se puede identificar el AP  $UNE_{PREMIUM_0}$  en el canal 6, el cual muestra una zona de cobertura de señal del 3.11%, y la zona se extiende desde la ubicación del triángulo a 11 locales más.



**Figura 20 Cobertura de AP centro comercial Premium Plaza, piso 1. AP UNE<sub>P</sub>PREMIUM<sub>1</sub>0**



En la figura 20 se observa el AP UNE<sub>P</sub>PREMIUM<sub>1</sub>0 en el canal 6, que muestra una cobertura de señal del 2.55% en su zona de irradiación. Cubre dos áreas, una común grande con alrededor de dos locales más, y otra común de tamaño medio con alrededor de seis locales. Respecto al área total de la figura, el área cubierta por el AP corresponde casi al 3% de la región.

## ***Reducción de interferencia centro comercial Premium Plaza***

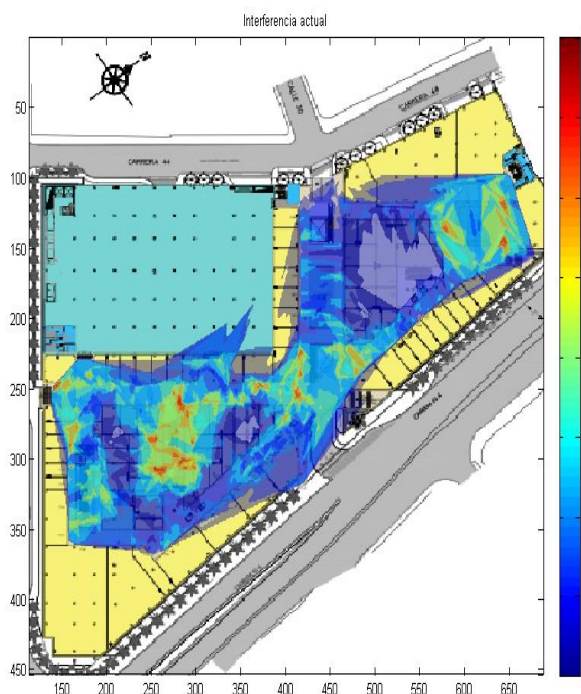
### ***Interferencia***

Para analizar la interferencia, se tuvo en cuenta que cada AP tiene una región de cobertura hasta donde la potencia es de  $-70\text{dbm}$ , mostrada en la gráfica según una escala de colores. Un punto de la región está cubierto por un AP si está dentro de la región delimitada por el color azul; ahora, un punto puede tener la influencia de varios AP, por lo cual, un usuario ubicado en ese punto podría conectarse a todos los APs que lo cubren.

Es así como la escala de colores muestra el número total de APs que cubren cada parte de la región, así como todos en canales similares que producen interferencia unos con otros. De ahí que esta escala se entienda como una medida de interferencia, pues los puntos de color más rojo son puntos con mucha interferencia; los puntos más oscuros en la escala de azules tienen buena cobertura y baja interferencia, y los puntos que están por fuera de la zona azul no tienen cobertura según las mediciones.

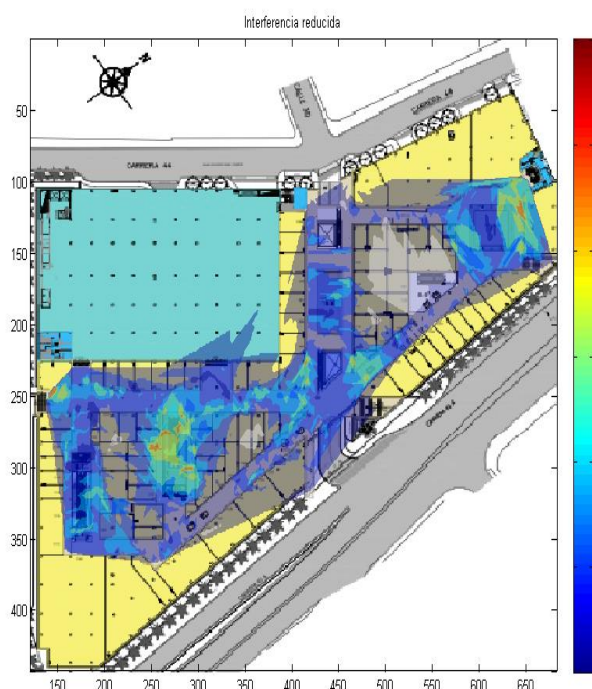
De esta manera, para disminuir la interferencia se utiliza el software programado en Matlab, ubicando los APs que están en el mismo canal o canales cercanos, se realiza una reasignación de canales sin interferencia, y así se obtiene una nueva gráfica que evidencia el efecto logrado.

**Figura 21. Interferencia actual centro comercial Premium Plaza, piso 1.**



En esta figura se pueden identificar nueve AP, entre los cuales hay una gran interferencia ocasionando inconvenientes en la transmisión de la señal desde cada uno de ellos; es decir, donde el color es rojo intenso, que corresponde a un valor de nueve, indica que en esa región el usuario vería nueve APs diferentes que lo podrían cubrir, pues a mayor potencia, mayor cobertura, pero también se incrementa la interferencia.

**Figura 22. Interferencia reducida centro comercial Premium Plaza, piso 1**

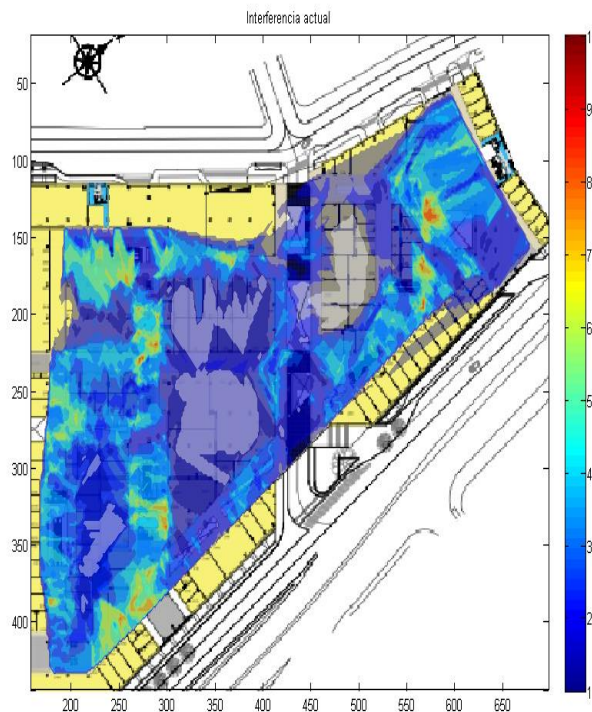


Al hacer uso del software programado en Matlab se organizaron los canales, utilizando los canales 1, 6, y 11 en las zonas cercanas, para disminuir la cantidad de APs simultáneos que aparecen en una región. El efecto es lograr una menor interferencia, pues, donde antes eran nueve APs, todos compartiendo el mismo o similar canal, ahora son apenas siete, tal como se observa en la figura 22.

En esta figura se puede apreciar la reducción de la interferencia entre los AP de la zona, y de esta manera la transmisión de la señal de cada uno de ellos es mucho mejor. Esta disminución de la interferencia se logró solamente controlando los canales, también es posible hacerlo disminuyendo o controlando la potencia; no obstante, y como

no era posible saber la ubicación exacta de los APs, por ser áreas comerciales privadas, solo se realizó la simulación por medio de la asignación de canales.

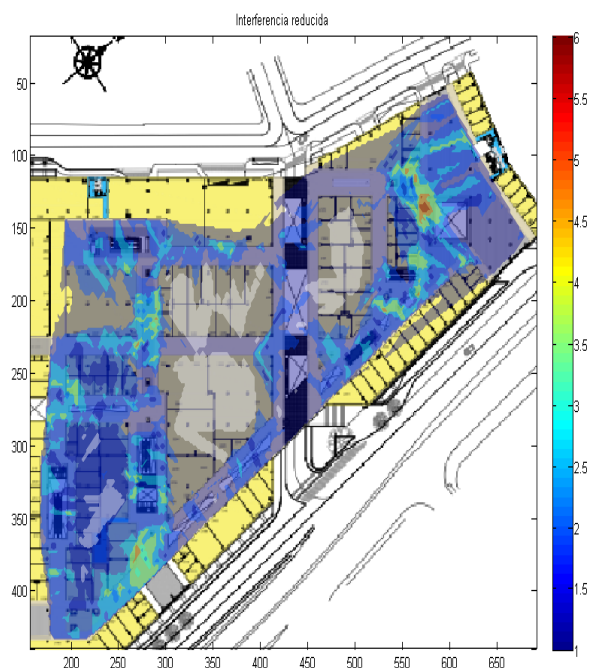
**Figura 23. Interferencia actual centro comercial Premium Plaza, piso 2**



De acuerdo con esta figura, en el segundo piso se identificaron alrededor de 10 AP, según muestra la escala de colores al lado derecho, entre los cuales hay una gran interferencia ocasionando inconvenientes en la transmisión de la señal desde cada uno de ellos; pues, donde se observa el color rojo intenso corresponde a un valor de 10 e indica que en esa región el usuario vería 10 APs diferentes que lo podrían cubrir; todos en canales similares produciendo interferencia unos con otros. Los puntos de color más rojo son puntos con mucha interferencia; los puntos azules oscuros tienen cobertura y

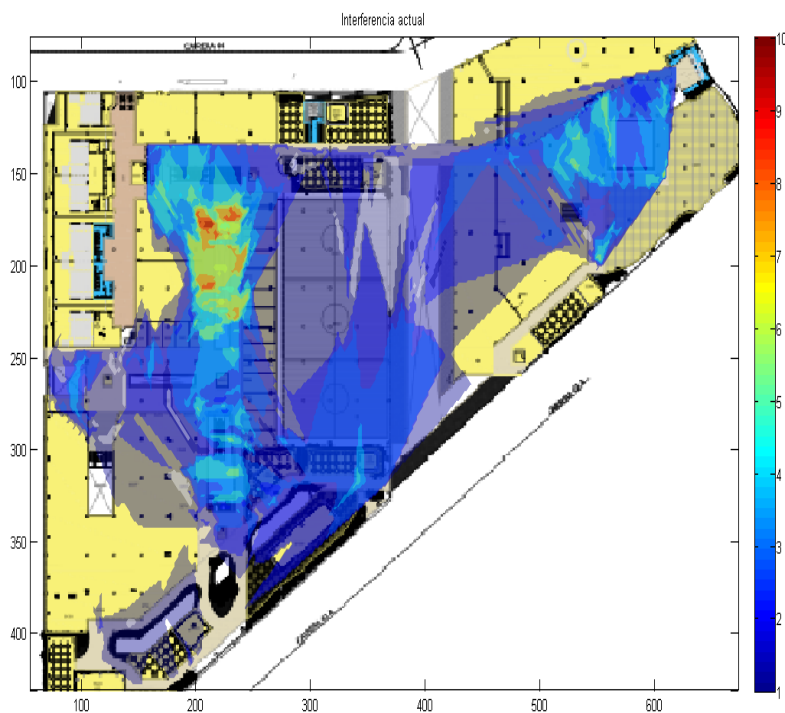
baja interferencia, y los puntos fuera de la escala de colores no tienen cobertura según las mediciones.

**Figura 24. Interferencia reducida centro comercial Premium Plaza, piso 2**



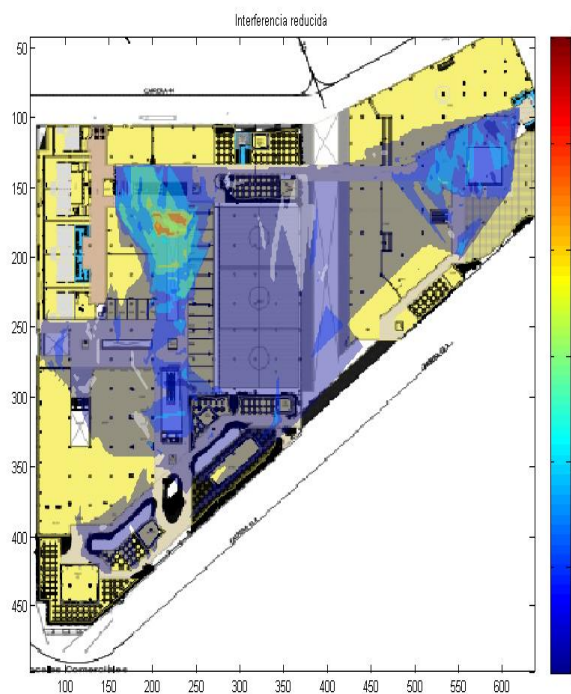
Aquí nuevamente se utiliza el programa para disminuir interferencia mediante la simulación de asignación de canales. Reorganizando los canales 1, 6 y 11, en la imagen 18 se puede apreciar la reducción de la interferencia entre los AP de la zona, y de esta manera la transmisión de la señal de cada uno de ellos es mucho mejor, pues donde antes eran 10 APs todos compartiendo el mismo o similar canal, ahora son apenas seis.

**Figura 25. Interferencia actual centro comercial Premium Plaza, piso 3**



En la figura 25, correspondiente al tercer piso, se pueden identificar alrededor de 10 AP. El color rojo intenso, que corresponde a un valor de 10, lo que indica que en esa región el usuario vería 10 APs diferentes que lo podrían cubrir; todos en canales similares que producen interferencia unos con otros.

**Figura 26. Interferencia reducida centro comercial Premium Plaza, piso 3**

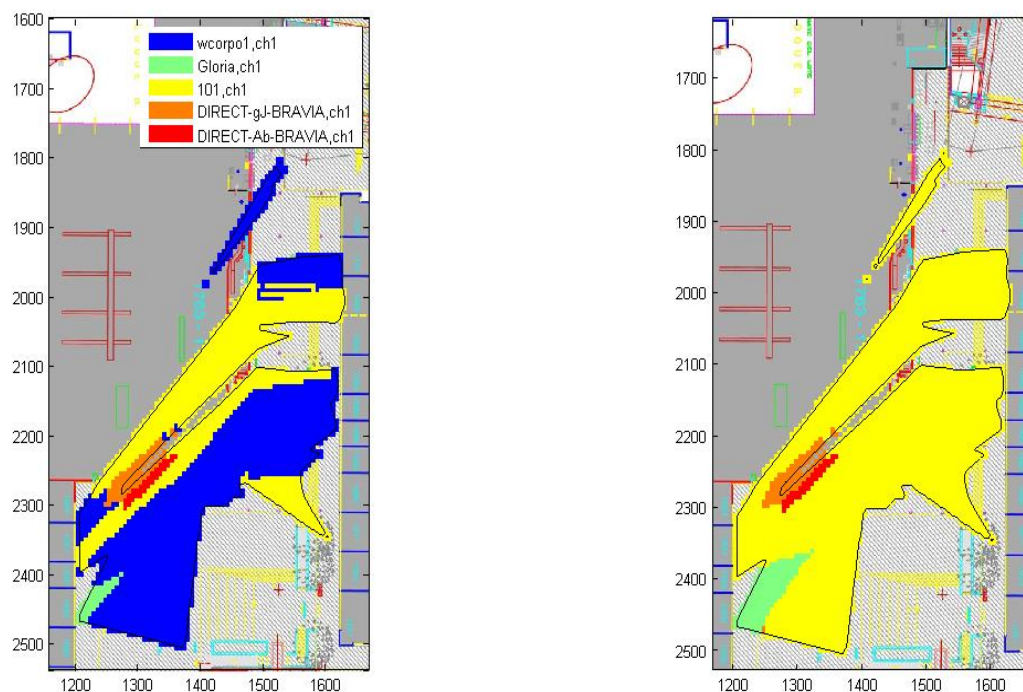


En la figura 26 se puede apreciar la reducción de la interferencia entre los AP de la zona cuando se reorganizan los canales, de 10 APs, compartiendo el mismo o similar canal, se disminuye a siete. De esta manera la transmisión de la señal de cada uno de ellos es mucho mejor.



### *Interferencia centro comercial San Diego*

**Figura 27. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 1, sector A**

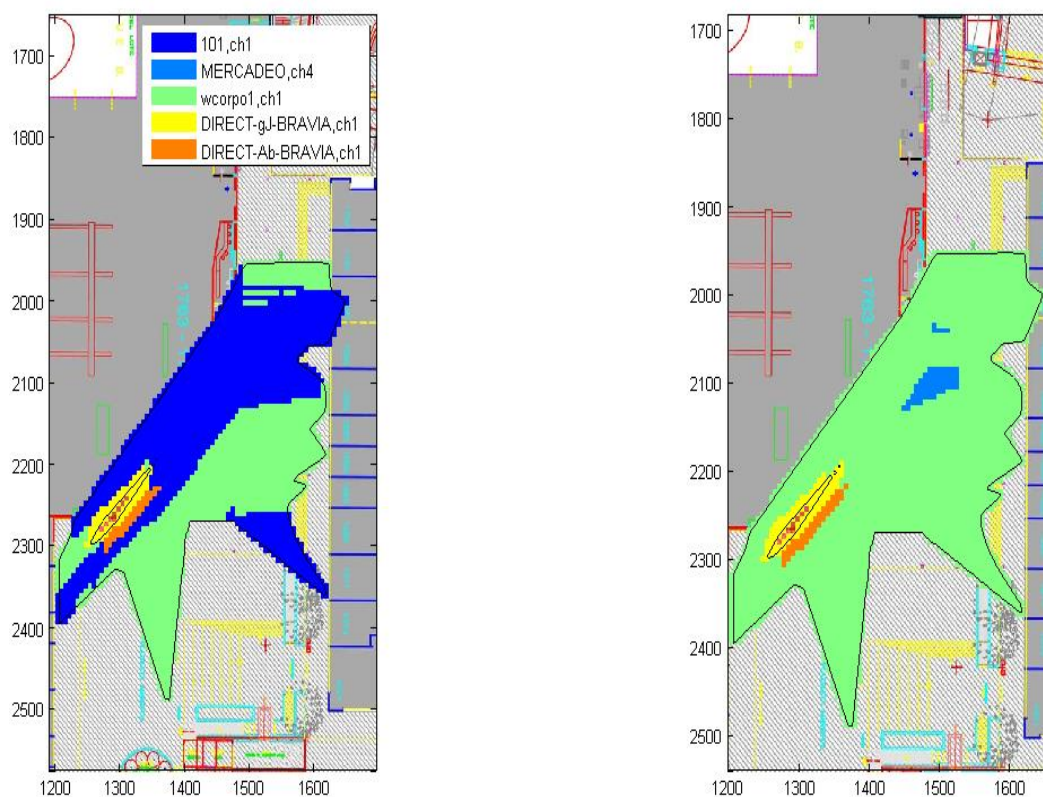


#### **Mostrar interferencia**

En la figura 27 se pueden identificar cinco AP, wcorpo1, Gloria, 101, DIRECT-gJ\_BRAVIA y DIRECT-Ab\_BRAVIA, todos en el canal 1. En el lado izquierdo se observa que el AP que más interferencia causa es el wcorpo1, pues debido a la potencia de su señal está opacando la de los demás AP que se encuentran en su zona de cobertura; entonces, los otros APs sufren debido a que su propia potencia es menor que la del AP indicado, y un usuario recibe más potencia de wcorpo1 que de las otras redes. En cuanto a la imagen de la derecha se muestra la potencia dominante de la región; se

evidencia que mientras no esté el AP de wcorpo1 interfiriendo, los demás AP pueden tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia, y sus usuarios reciben mayor potencia de su señal; es decir, wcorpo1 es una fuente de interferencia para los otros APs.

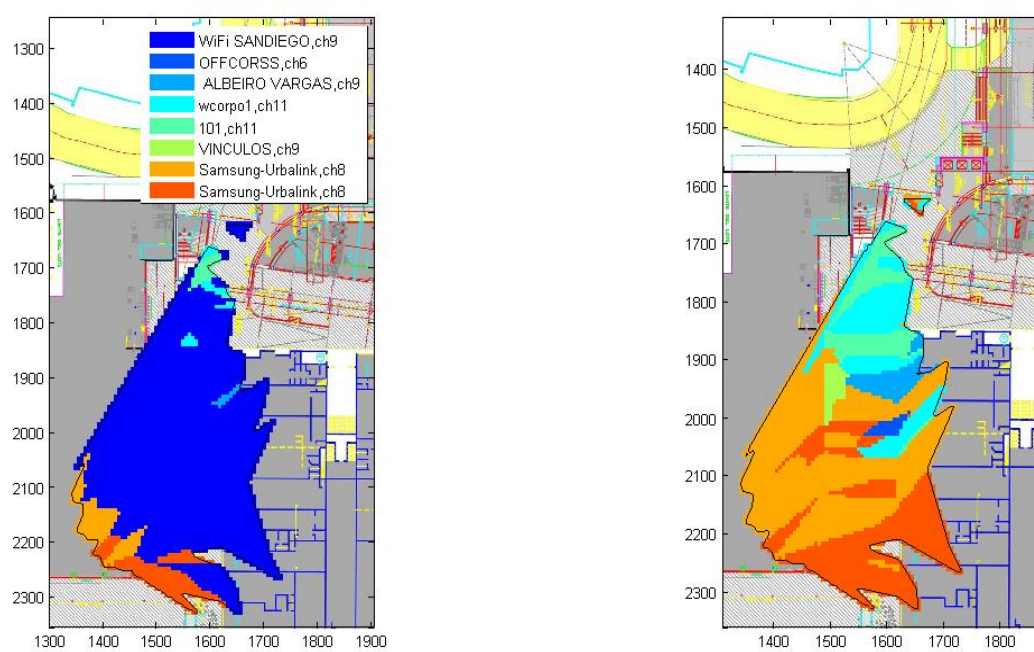
**Figura 28. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 1, sector B**



En el sector B del primer piso también se encuentran cinco AP, 101, wcorpo1, DIRECT-gJ\_BRAVIA y DIRECT-Ab\_BRAVIA en el canal 1, y MERCADEO en el canal 4. La imagen del lado izquierdo muestra que el AP que más interferencia causa es el 101; su potencia es mayor que la de los demás APs que están compartiendo dicha región y su señal está opacando la de los demás AP, por lo que un usuario recibirá más

potencia de 101 que de las otras redes. Respecto a la imagen de la derecha, se muestra qué sucedería si el AP 101 se apagara o no estuviera; los demás AP podrían tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia, pues el AP 101 es una fuente de interferencia para los otros APs.

**Figura 29. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 1, sector C**

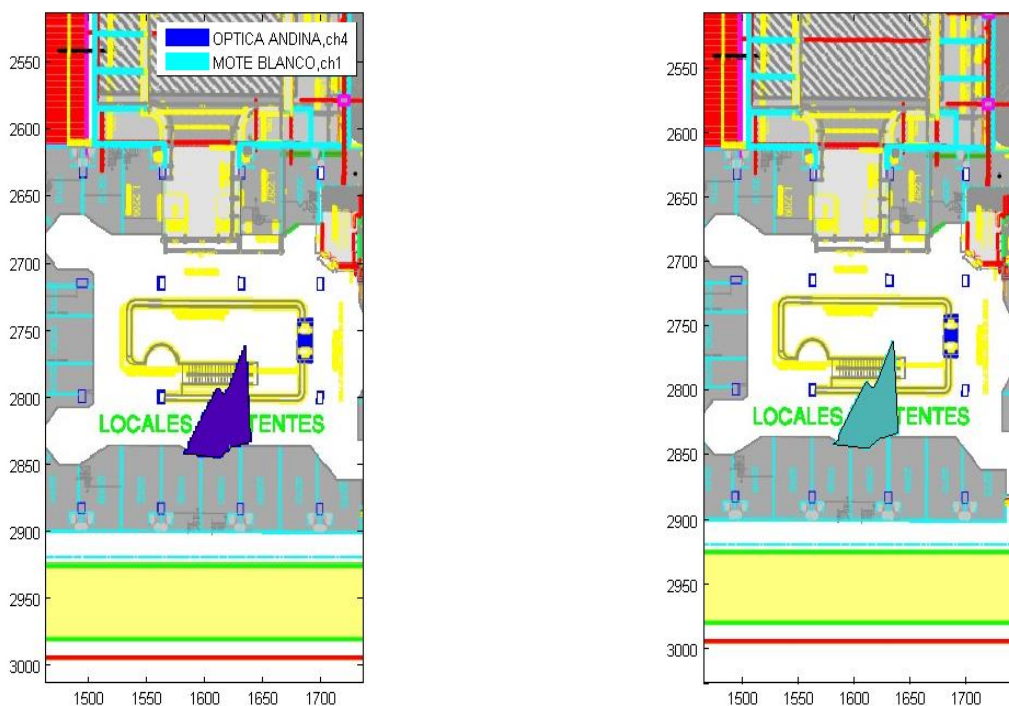


En esta figura se pueden identificar ocho AP, WiFi SANDIEGO, ALBEIRO VARGAS y VINCULOS en el canal 9, OFFCORSS en el Ch 6, wcorpo1 y 101 en el canal 11, Samsung-Urbalink y Samsung-Urbalink en el canal 8.

La imagen del lado izquierdo deja ver que el AP que más interferencia causa es WiFi SANDIEGO, su señal está opacando la de los demás AP ubicados en su zona de

cobertura porque su potencia es mayor; por lo que un usuario recibe más potencia de WiFi SANDIEGO que de las otras redes. En cuanto a la imagen de la derecha, se muestra la potencia dominante de la región, ya que si el AP WiFi SANDIEGO se apagara o no estuviera, los demás AP pudieran tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia; por lo que WiFi SANDIEGO es una fuente de interferencia para los otros APs.

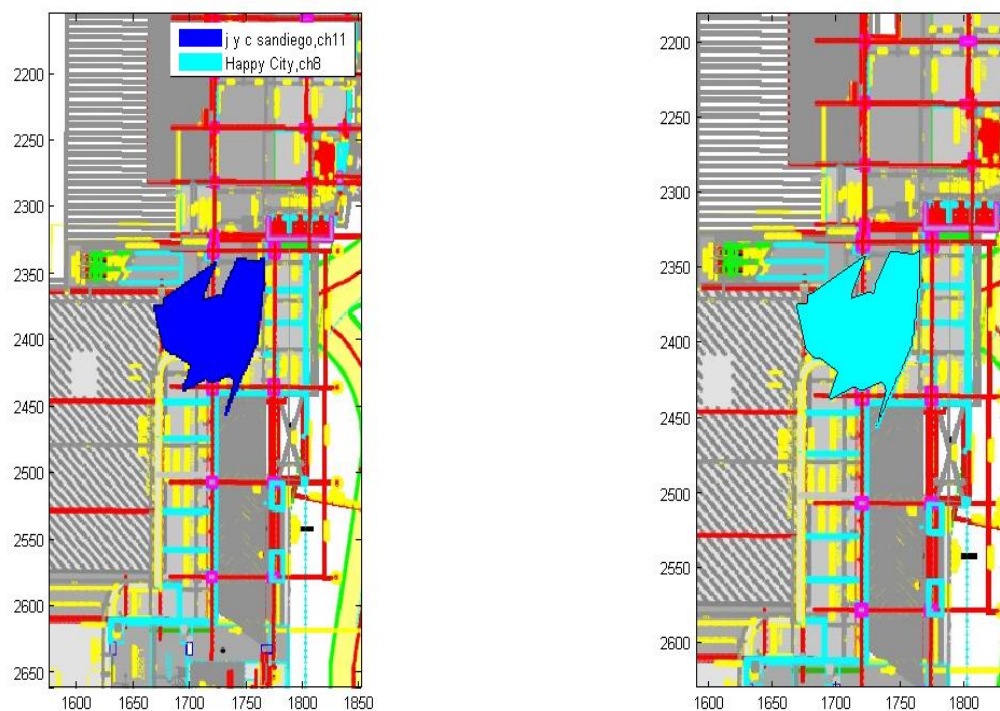
**Figura 30. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 2, sector A**



En el sector A del segundo piso, solo se identifican dos AP, ÓPTICA ANDINA en el canal 4 y MONTE BLANCO en el canal 1. En la imagen del lado izquierdo se observa que el AP que más interferencia causa es ÓPTICA ANDINA, pues debido a la

potencia de su señal está opacando la de los demás AP en su zona de cobertura. MONTE BLANCO se afecta debido a que su propia potencia es menor, y el usuario recibe más potencia de ÓPTICA ANDINA que de las otras redes. En lo que respecta a la imagen del lado derecho, se muestra la potencia dominante de la región. Se evidencia que mientras no esté el AP de ÓPTICA ANDINA interfiriendo, el otro AP puede tener una buena cobertura sobre su zona de influencia; en este caso, ÓPTICA ANDINA es una fuente de interferencia para MONTE BLANCO.

**Figura 31. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 2, sector B**

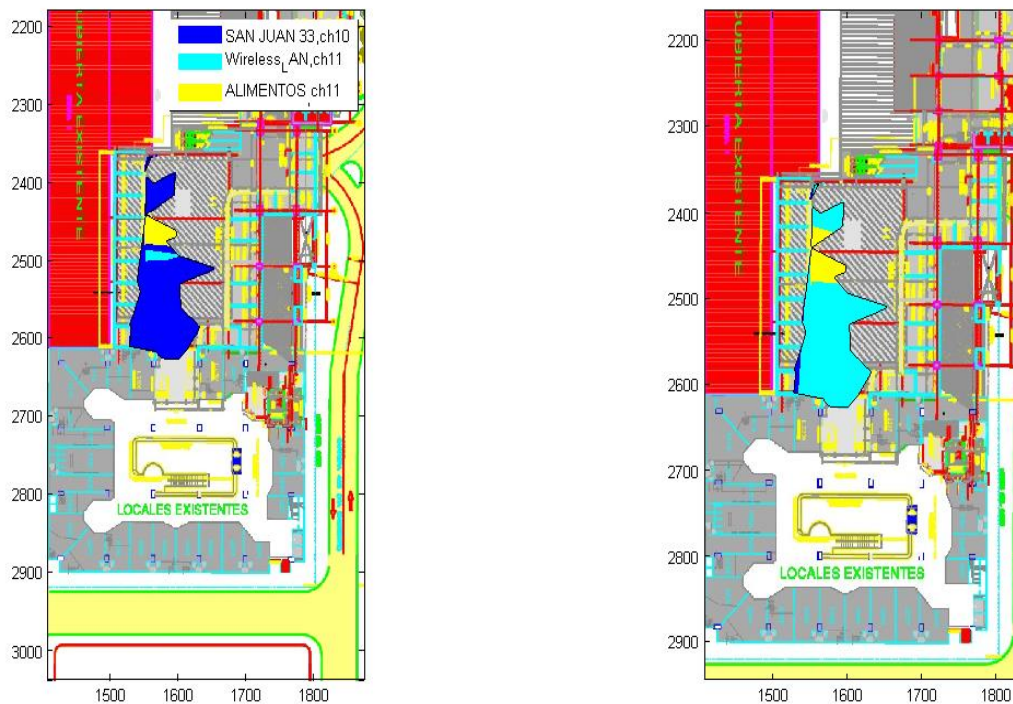


}

En la figura 31 se pueden identificar dos AP, j y c sandiego en el canal 11 y Happy City en el canal 8. Al observar la imagen del lado izquierdo se nota que el AP

que más interferencia causa es j y c sandiego, pues debido a la potencia de su señal está opacando la Happy City ubicado en su zona de cobertura; por lo que un usuario recibe más potencia de j y c sandiego que de las otras redes. En la imagen de la derecha se muestra qué sucedería si el AP j y c sandiego se apagara o no estuviera; en este caso Happy City pudiera tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia; es decir, j y c sandiego es una fuente de interferencia para el otro AP.

**Figura 32. Interferencia en el centro comercial San Diego, piso 2, sector C**



En el último sector del segundo piso se identificaron tres AP: SAN JUAN 33 en el canal 10, WirelessLAN y ALIMENTOS en el canal 11. La imagen izquierda muestra que el AP que más interferencia causa es de SAN JUAN 33, pues la potencia de su señal

es mayor y está opacando la de los demás AP en su zona de cobertura; por lo que los otros APs sufren debido a que su propia potencia es menor, y un usuario recibe más potencia de SAN JUAN 33 que de las otras redes. En cuanto a la imagen del lado derecho, se muestra la potencia dominante de la región; si el AP SAN JUAN 33 se apagara o no estuviera, los demás AP pudieran tener una buena cobertura sobre sus zonas de influencia y sus usuarios recibirían mayor potencia de sus señales; lo que indica que SAN JUAN 33 es una fuente de interferencia para los otros APs.

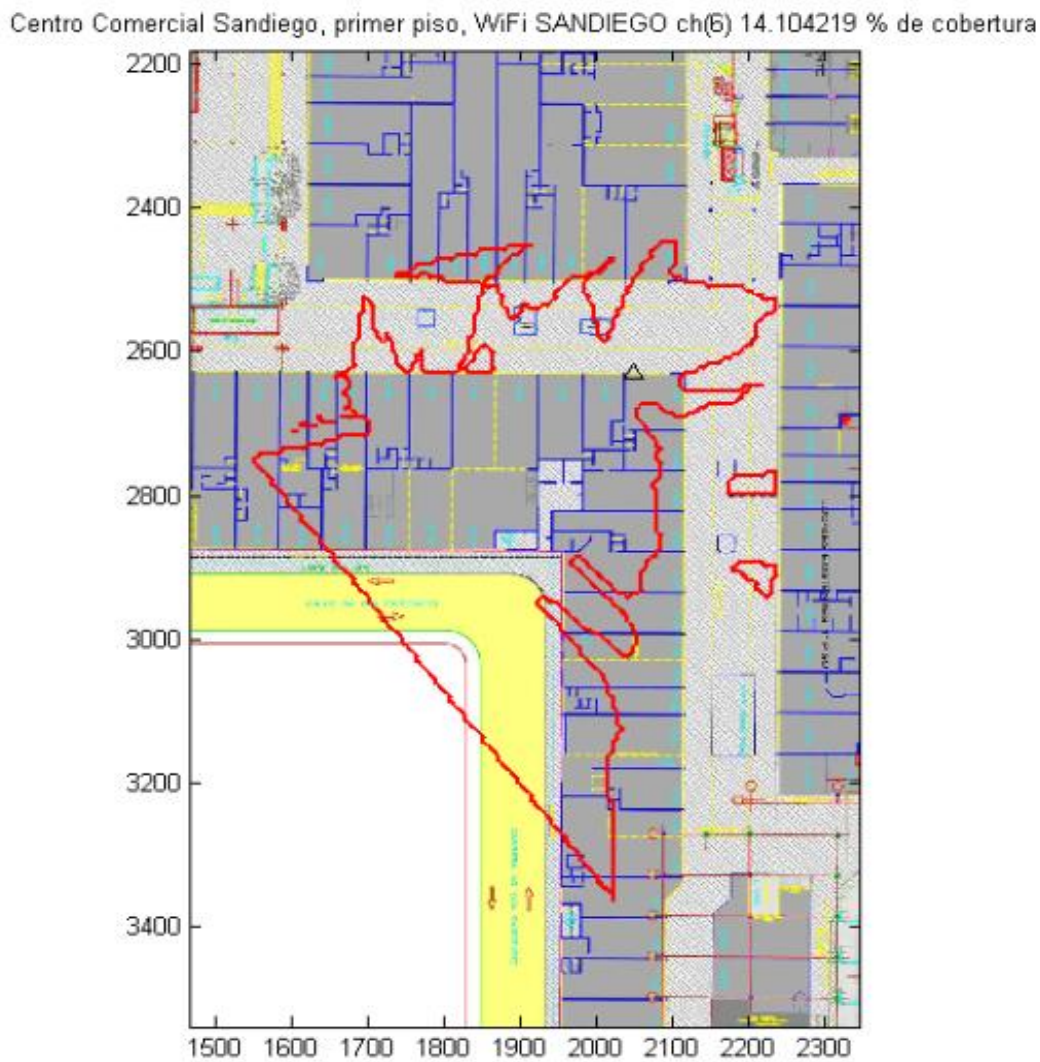
### ***Cobertura centro comercial San Diego***

#### ***Best server***

Con el fin de identificar el AP con la mejor cobertura en cada piso, se toma una potencia de referencia mínima de -70dbm y se obtiene una región de cobertura donde se puede lograr una buena conexión con el AP; luego se realiza una interpolación para tratar de encontrar el punto de mayor potencia donde estaría ubicado el AP de la zona, el cual se identifica con un triángulo en el gráfico correspondiente.

En tal sentido, cuando un AP tiene una potencia demasiado alta origina zonas de cobertura más grandes e interfiere con los otros APs de menor potencia ubicados en su área de influencia.

**Figura 33. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP SANDIEGO**



En la figura 33, correspondiente al primer piso, se identifica el AP WiFi SANDIEGO en el Canal 6, con una cobertura de señal del 14.10% en su zona de irradiación. Este AP está ubicado posiblemente en el sitio donde aparece el triángulo, su área de cobertura, lejos de cubrir un solo local, cubre toda una área común grande y alrededor de 24 locales más.



Respecto al área total de la imagen, el área cubierta por el AP corresponde al 14% de la región, ya que WiFi SANDIEGO tiene una potencia arbitrariamente alta y produce regiones de cobertura exageradas.

**Figura 34. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP SANDIEGO**

Centro Comercial Sandiego, primer piso, WiFi SANDIEGO ch(9) 10.737485 % de cobertura



En esta figura se pueden identificar el AP WiFi SANDIEGO en el canal 9, el cual está ubicado posiblemente en el sitio donde aparece el triángulo; tiene un área de cobertura que corresponde casi al 11% de toda la región, afectando alrededor de 15 locales más.

**Figura 35. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP Samsung-Urbalink**

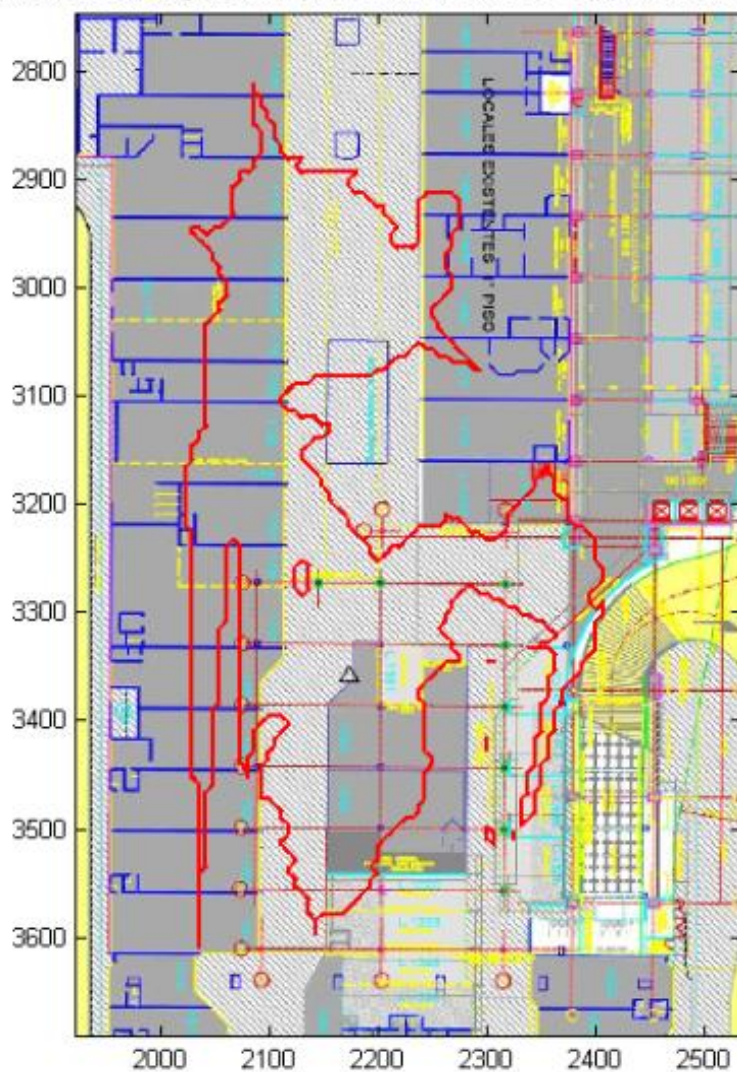
Centro Comercial San Diego, primer piso, Samsung-Urbalink ch(B) 7.770333 % de cobertura



La figura 35, también correspondiente al primer piso, permite identificar el AP Samsung-Urbalink en el canal 8, que tiene una cobertura de señal del 7.77% en su zona de irradiación; muestra una potencia alta y su área de cobertura es mayor, originando afectación en los otros APs ubicados en la zona.

### Figura 36. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP SANDIEGO

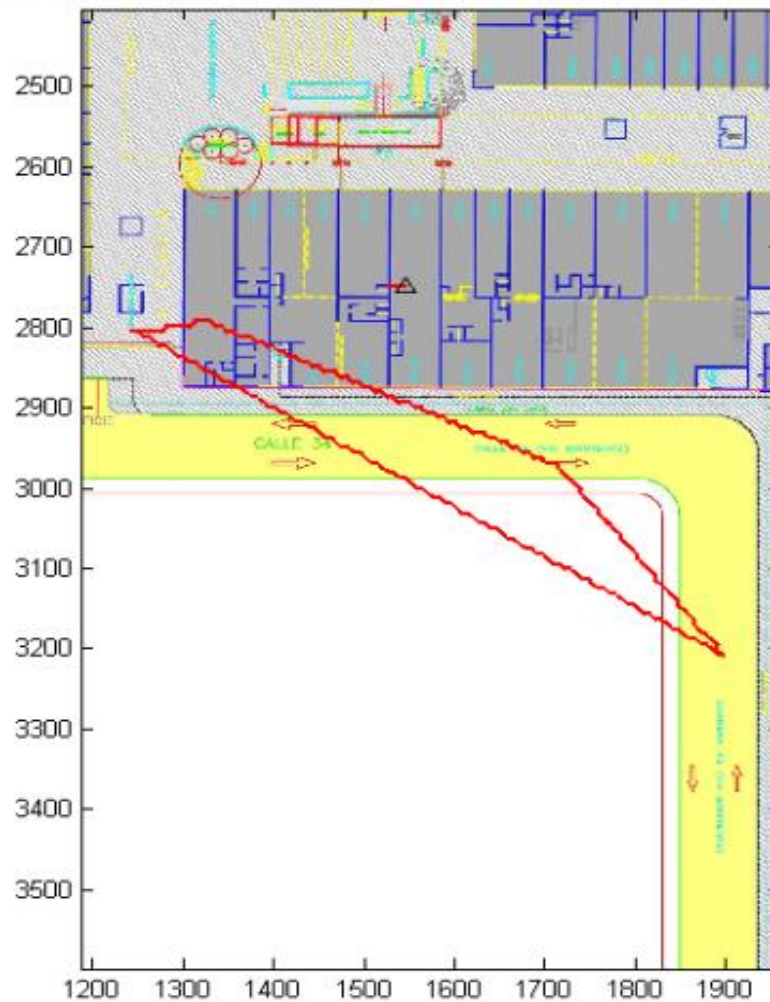
Centro Comercial Sandiego, primer piso, WiFi SANDIEGO ch(6) 7.243704 % de cobertura



En esta figura se identifica el AP WiFi SANDIEGO en el canal 6, con una cobertura de señal del 7.24% en su zona de irradiación. Posiblemente está ubicado donde aparece el triángulo, y su cobertura, lejos de cubrir un solo local, cubre toda una área común grande y alrededor de 20 locales.

**Figura 37. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 1. AP Falacorp**

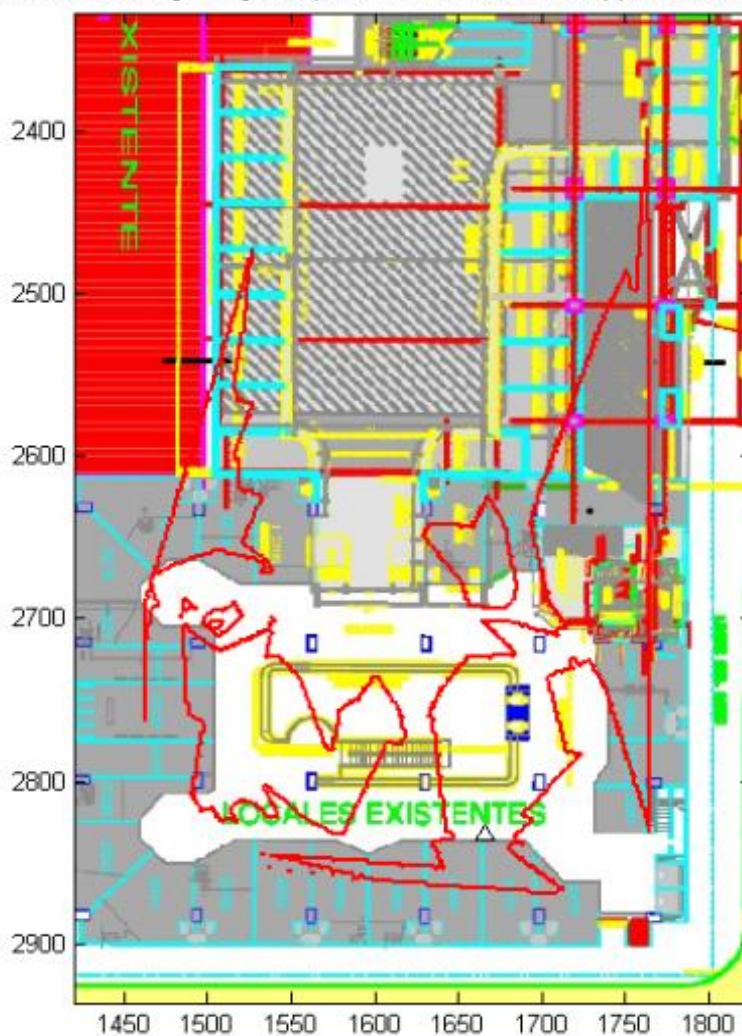
Centro Comercial Sandiego, primer piso, Falacorp ch(1) 2.836007 % de cobertura



En esta área del primer piso se encuentra el AP Falacorp en el canal 1; la cobertura de señal del 2.83% en su zona de irradiación corresponde al triángulo dentro de la imagen. Este AP es el de un local, pero la cobertura del mismo cubre toda una área común grande y alrededor de cuatro locales más. Respecto al área total de la figura, el área cubierta por el AP corresponde casi al 3% de la región.

**Figura 38. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2. AP SANDIEGO**

Centro Comercial Sandiego, segundo piso, WiFi SANDIEGO ch(6) 31.481789 % de cobertura



En la figura 38 se puede identificar nuevamente el AP WiFi SANDIEGO en el canal 6, que tiene una cobertura de señal del 31.48% en su zona de irradiación. Ubicado probablemente en la zona que corresponde al triángulo, este AP cubre toda una área común grande, alrededor de 10 locales y un gran sector de área social.

**Figura 39. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2. AP SAN JUAN 33**

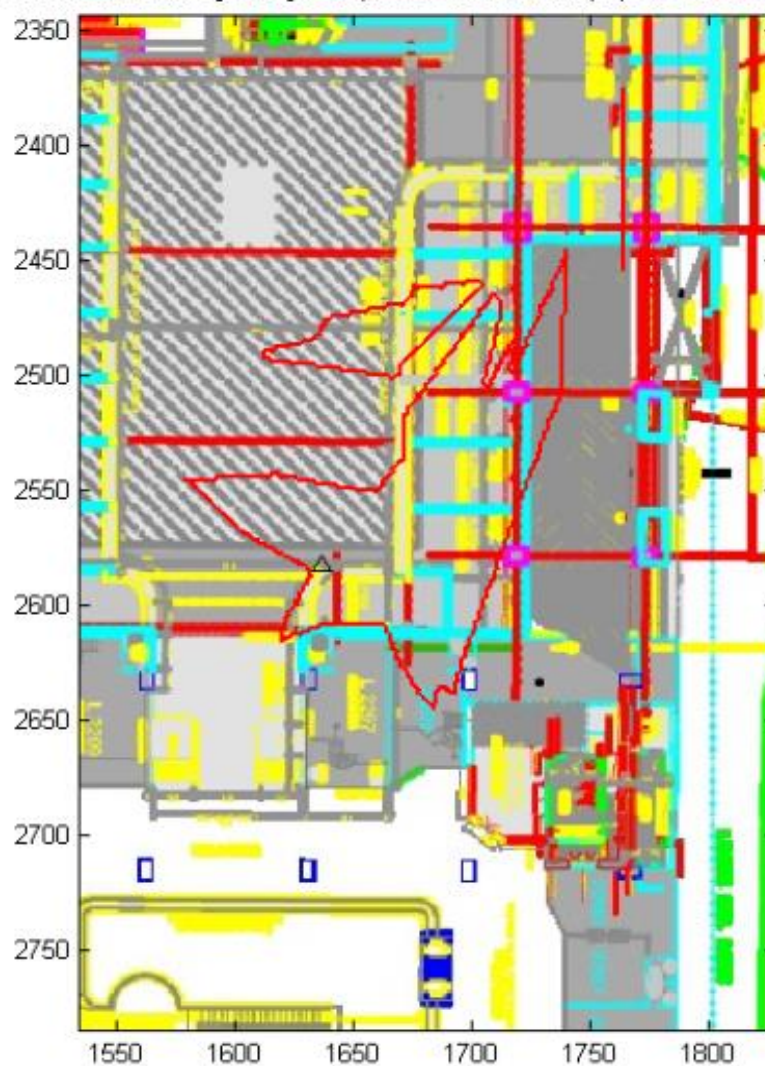
Centro Comercial Sandiego, segundo piso, SAN JUAN 33 ch(10) 15.516783 % de cobertura



En la figura 39 se identifica el AP SAN JUAN 33 en el canal 10, que tiene una cobertura de señal del 15.51% en su zona de irradiación. El AP ubicado en la zona del triángulo, cubre toda una área común grande y alrededor de nueve locales más, además de un gran sector de área social.

**Figura 40. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2. AP LACHAIRA**

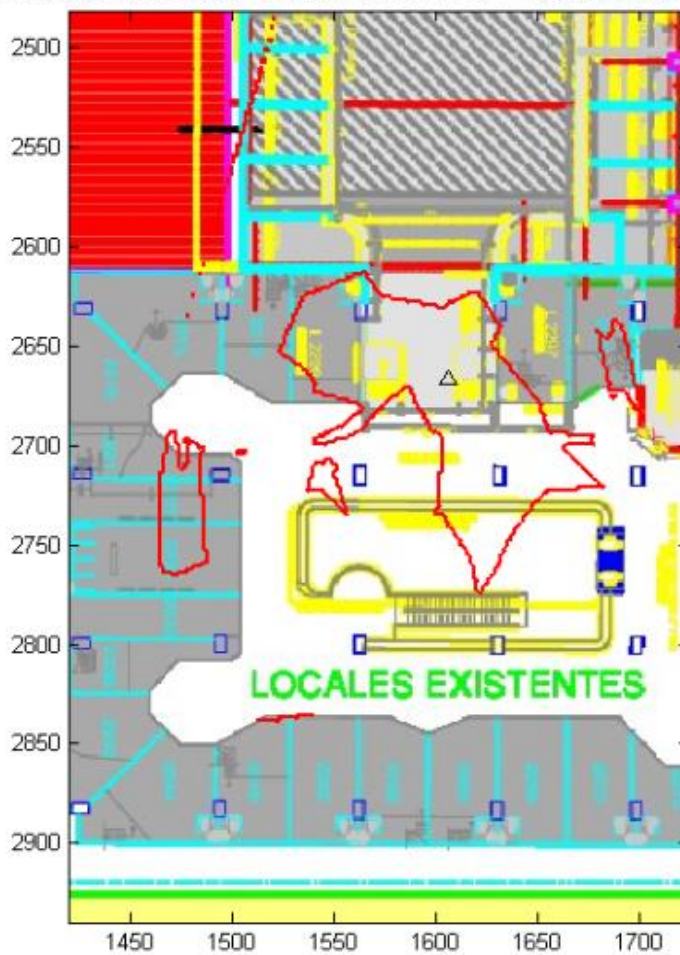
Centro Comercial Sandiego, segundo piso, LACHAIRA ch(10) 9.669976 % de cobertura



En este sector del segundo piso se identificó el AP LACHAIRA en el canal 10, con una cobertura de señal del 9.66% en su zona de irradiación. Este AP es el de un local, posiblemente ubicado en el sitio donde aparece el triángulo, pero la cobertura del mismo, lejos de cubrir solo el local, cubre toda una área común grande y alrededor de siete locales más, además de un sector de área social. Respecto al área total de la figura, el área cubierta por el AP corresponde casi al 10% de la región.

**Figura 41. Cobertura de AP centro comercial San Diego, piso 2. AP Thomson2FA777**

Centro Comercial Sandiego, segundo piso, Thomson2FA777 ch(11) 9.324679 % de cobertura

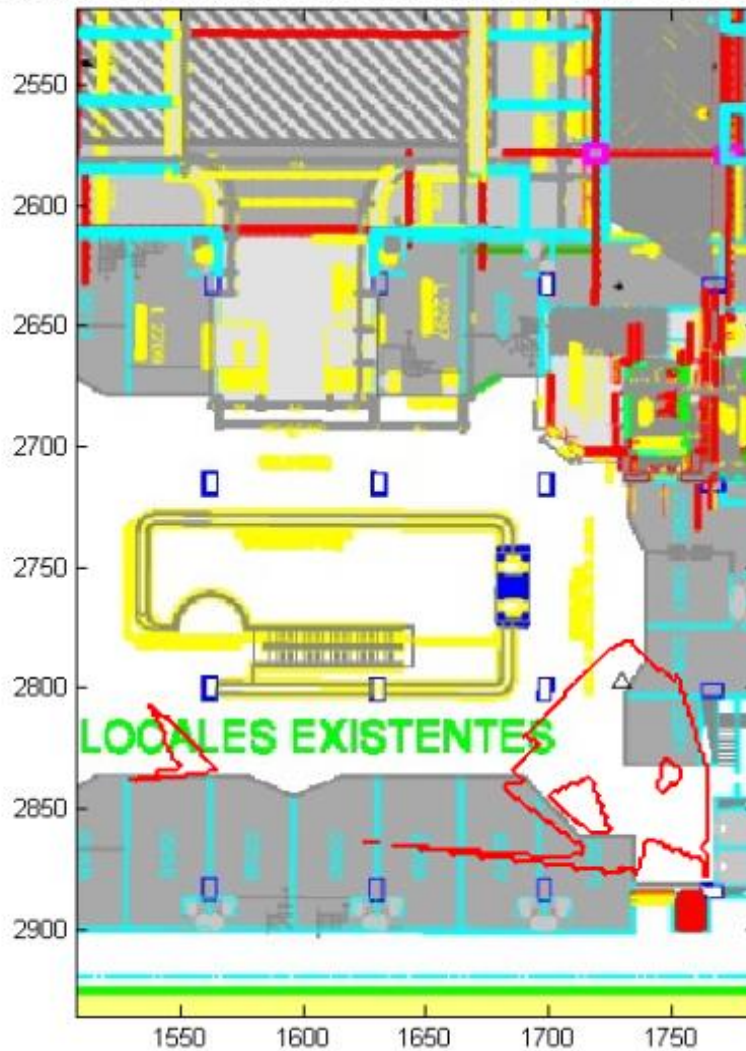




Esta figura permite identificar el AP Thomson2FA777 en el canal 11, que tiene una cobertura de señal del 9.32% en su zona de irradiación. El AP es el de un local, posiblemente ubicado en el sitio donde aparece el triángulo, pero su área de cobertura, además de cubrir el local, cubre toda una área común grande, alrededor de ocho locales más y un sector de área social.

**Figura 42. Cobertura AP centro comercial San Diego, piso 2. AP SEXAINA 2281**

Centro Comercial Sandiego, segundo piso, SEXAINA 2281 ch(11) 4.050599 % de cobertura



La figura 42 permite identificar el AP SEXAINA 2281 en el canal 11, que tiene una cobertura de señal del 4.05% en su zona de irradiación; éste está ubicado probablemente en la zona correspondiente al triángulo y cubre, además del local, toda una área común grande, alrededor de tres locales más y un sector pequeño del área social.

### ***Reducción de interferencia centro comercial San Diego***

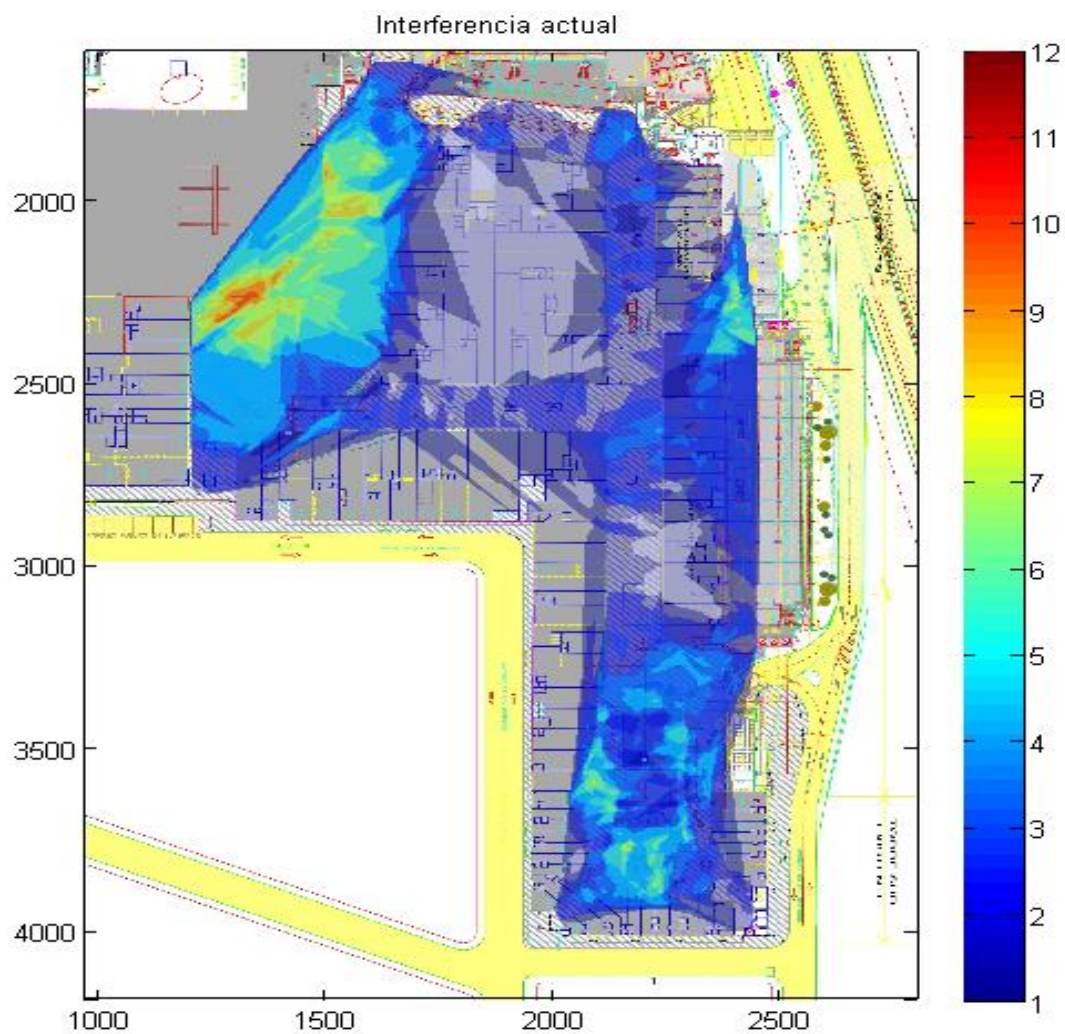
#### ***Interferencia***

Para analizar la interferencia se tuvo en cuenta que cada AP tiene una región de cobertura hasta donde la potencia es de -70dbm, mostrada en la gráfica según una escala de colores. Un punto de la región está cubierto por un AP si está dentro de la región delimitada por el color azul; de tal forma que un punto puede tener la influencia de varios AP, por lo que un usuario ubicado en ese punto podría conectarse a todos los APs que lo cubren.

La escala de colores muestra el número total de APs que cubren cada parte de la región, todos en canales similares que producen interferencia unos con otros. Se entiende esta escala como una medida de interferencia, donde los puntos de color más rojo son puntos con mucha interferencia; los puntos más oscuros en la escala de azules tienen buena cobertura y baja interferencia, y los puntos que están por fuera de la zona

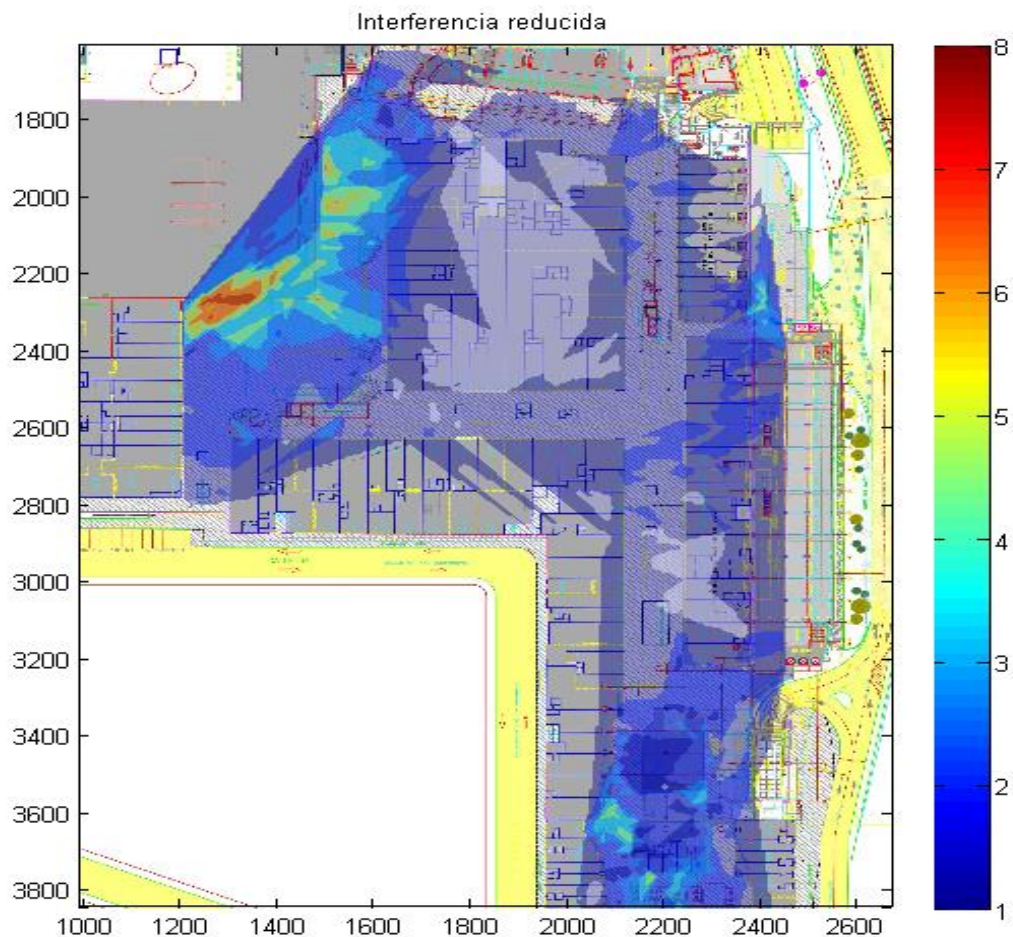
azul no tienen cobertura según las mediciones. De ahí que muchos APs con mucha potencia, cubren muchos puntos creando mucha interferencia.

**Figura 43. Interferencia actual centro comercial San Diego, piso 1**



En la figura 43 se pueden identificar alrededor de 12 AP, según la escala de colores ubicada a la derecha. Entre ellos hay una gran interferencia ocasionando inconvenientes en la transmisión de la señal desde cada uno de ellos.

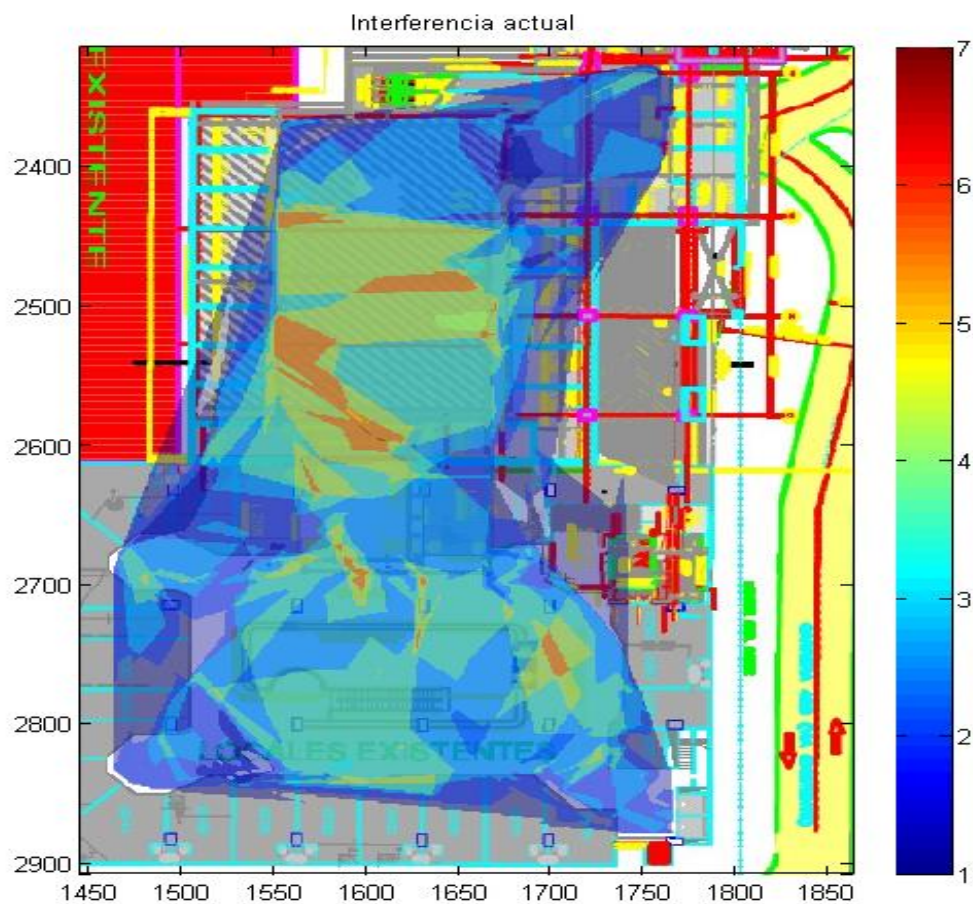
**Figura 44. Interferencia reducida centro comercial San Diego, piso 1**



Al utilizar el software para simular una disminución de la interferencia a través de la organización de los canales, se asignaron los canales 1, 6, y 11 en las zonas cercanas, logrando disminuir la cantidad de APs simultáneos que aparecen en una región. El efecto es lograr una menor interferencia, pues donde antes eran 12 APs, todos compartiendo el mismo o similar canal, ahora son apenas ocho. En la figura 44 se puede apreciar la reducción de la interferencia entre los AP de la zona, y de esta manera la transmisión de la señal de cada uno de ellos es mucho mejor.

Esta disminución de la interferencia se logró solamente controlando los canales, aunque también es posible hacerlo disminuyendo o controlando la potencia; sin embargo, como no era posible saber la ubicación exacta de los APs, por ser áreas comerciales privadas, solo se realizó la simulación por medio de la asignación de canales.

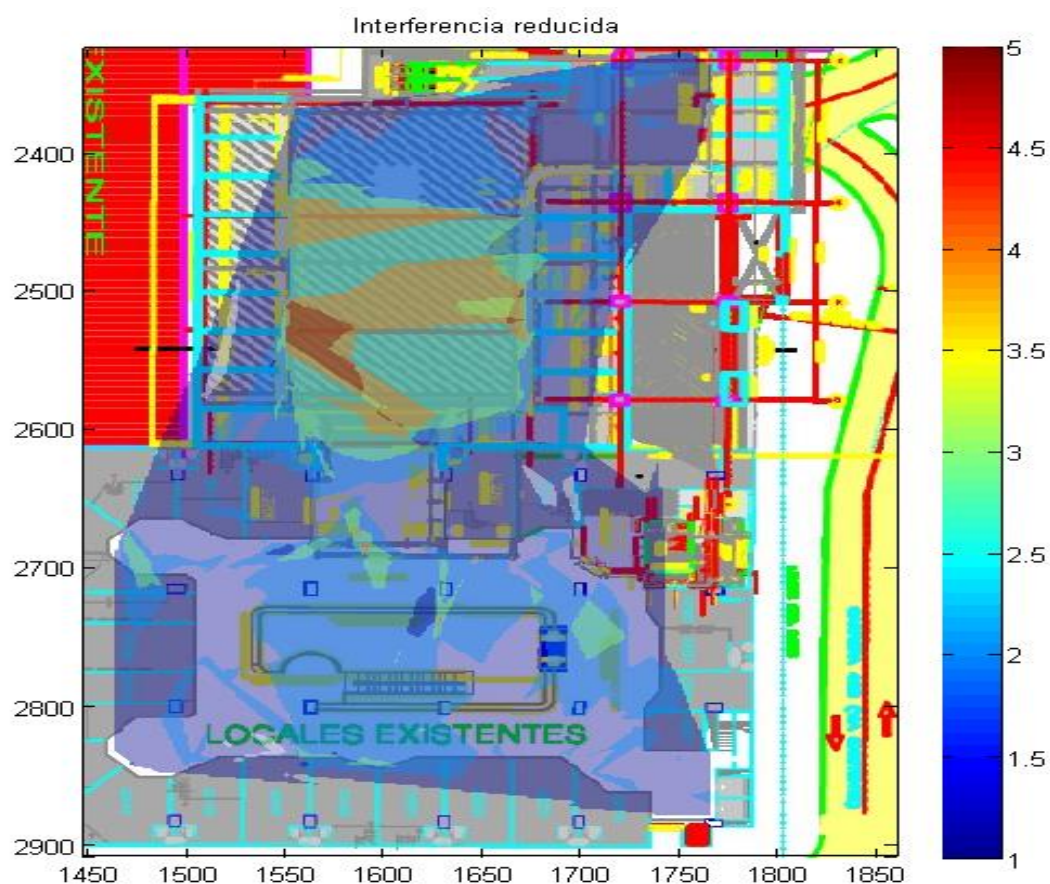
**Figura 45. Interferencia actual centro comercial San Diego, piso 2**



La figura 45, correspondiente al segundo piso, permite identificar alrededor de siete AP, entre los cuales hay una gran interferencia ocasionando inconvenientes en la

transmisión de la señal desde cada uno de ellos. Al observar en la imagen las zonas azul oscuro, se identifican las áreas de buena señal y baja interferencia.

**Figura 46. Interferencia reducida centro comercial San Diego, piso 2**



La figura 46 se obtiene después de realizar la asignación de canales; en ella se puede apreciar la reducción de la interferencia entre los AP de la zona, razón por la cual la transmisión de la señal de cada uno de ellos es mucho mejor, pues en lugar de siete 7 APs compartiendo el mismo o similar canal, ahora son cinco.

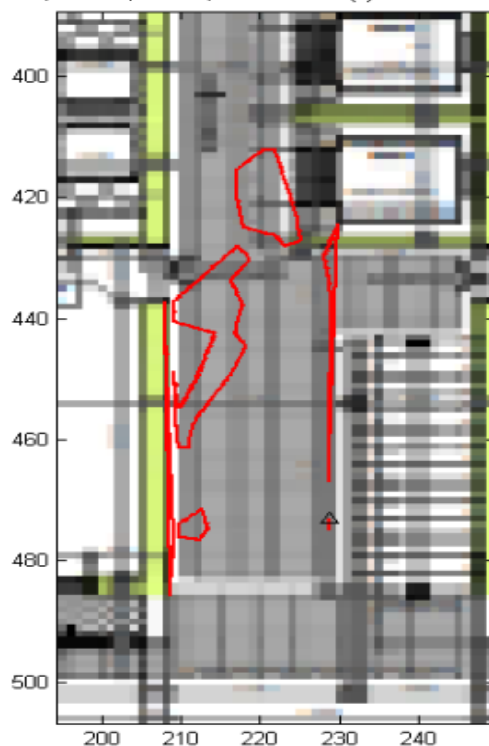
### Mediciones en conjuntos habitacionales

En el caso de los conjuntos residenciales no se pudieron obtener registros de interferencia, dado que las mediciones se realizaron en las áreas comunes, sin tener acceso a las áreas privadas donde se encuentran ubicados los APs. En tal razón, los resultados obtenidos a nivel general no permitieron realizar análisis de interferencia, de cobertura, ni de reducción de interferencia. A modo de ejemplo, a continuación se muestran algunas imágenes obtenidas en los conjuntos residenciales:

#### *Cobertura conjunto habitacional Torres del Rio*

**Figura 47. Cobertura AP conjunto habitacional Torres del Rio, piso3. AP 75818781**

Torres del Rio, Torre 3, Piso 3, 75818781 ch(1) 10.110067 % de cobertura

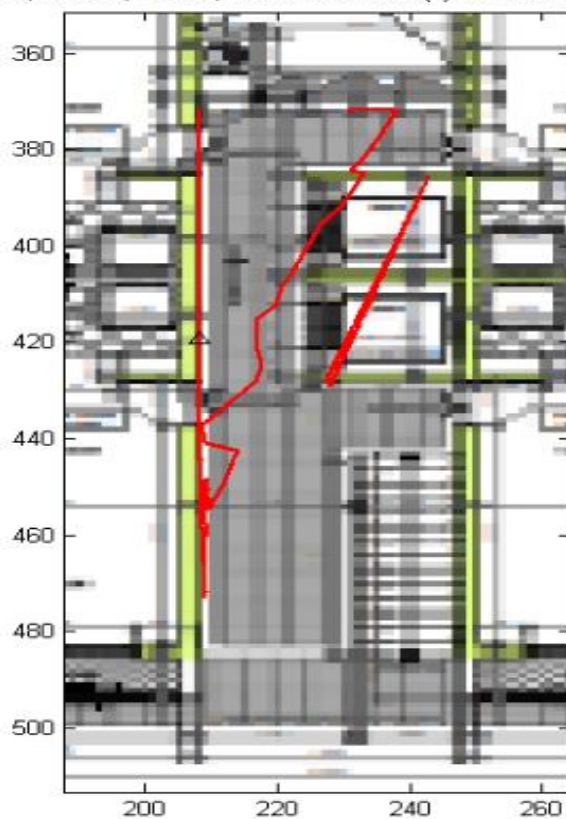


***Best server***

En la figura 47, correspondiente al tercer piso del conjunto Torres del Río, se puede ver el AP 75818781 en el canal 1 (indicado por un triángulo), con una cobertura de señal del 10.11% en su zona de irradiación. Este AP es el de un apartamento, pero es difícil definir su ubicación exacta, pues, al no poder ingresar al inmueble donde está ubicado el AP, es casi imposible con el programa de Matlab realizar los análisis respectivos para definir con precisión la cobertura exacta de dicho AP.

**Figura 48. Cobertura AP conjunto habitacional Torres del Río, piso 3. AP VELÁSQUEZ**

Torres del Río, Torre 3, Piso 3, VELASQUEZ ch(6) 38.580175 % de cobertura





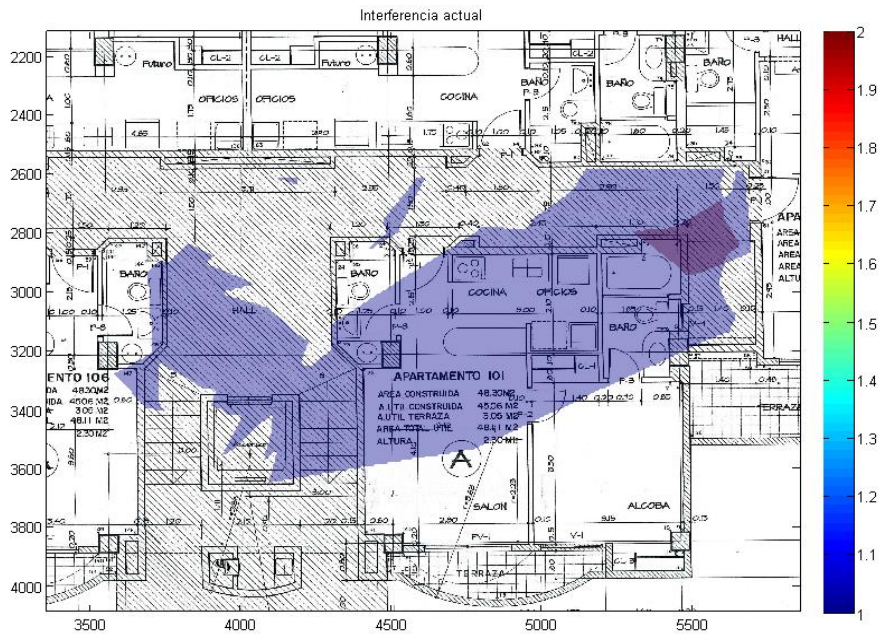
En esta figura se observa el AP VELÁSQUEZ en el canal 6, con una cobertura de señal del 38.58% en su zona de irradiación; al respecto cabe anotar que tiene una potencia alta siendo posible que este AP se encuentre cerca de los puntos donde se tomaron las medidas.

En este punto se ratifica nuevamente que se trata del AP de un apartamento, pero no es posible definir su ubicación exacta al no poder ingresar al sitio donde está ubicado el mismo. Al no observar otros APs se deduce que posiblemente si existen, pero están fuera de la cobertura del área de medición.

Finalmente se concluye que, en los análisis realizados con el programa diseñado en Matlab, no es posible definir con exactitud la cobertura del AP.

*Reducción de interferencia conjunto habitacional Altos de la Visitación*

**Figura 49. Interferencia actual conjunto habitacional Altos de la Visitación, piso 1**



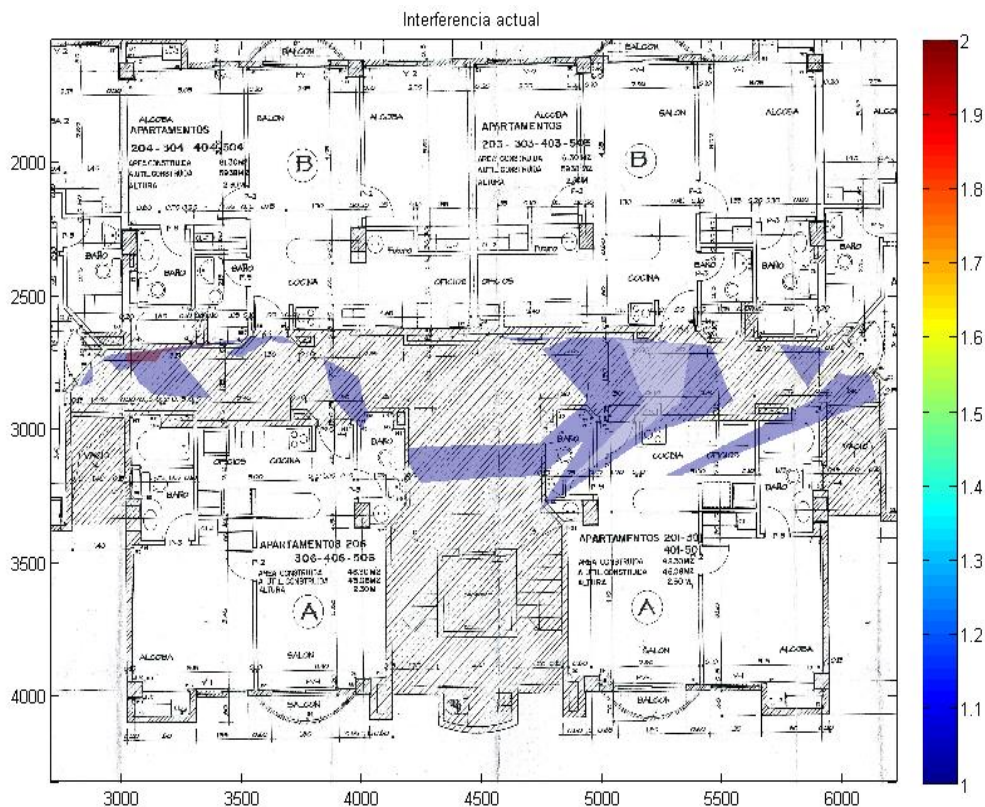
***Interferencia***

En la figura 49 se pueden identificar dos AP, de acuerdo con la escala de colores ubicada a la derecha. Entre ellos no hay una interferencia evidente, por lo cual no se produce ningún tipo de problema en la transmisión de la señal desde cada uno.

De acuerdo con lo reflejado en la zona azul, se puede ver la buena calidad de la señal que transmite cada uno de estos AP; sin embargo, no se observan otros AP a pesar de la información previa suministrada por la administración del edificio acerca de la

existencia de AP en todos los apartamentos. Lo anterior sugiere que solo se estaban midiendo los AP que estaban más cercanos al área común donde se realizaron las mediciones.

**Figura 50. Interferencia actual conjunto habitacional Altos de la Visitación, piso 3**



En la figura 50 se repite la misma situación, se pueden identificar dos AP según la escala de colores ubicada a la derecha. No se observa una interferencia evidente entre ellos, por lo cual no deben existir problemas de transmisión de la señal desde cada uno de los mismos. De acuerdo a lo observado en la zona azul, se puede ver la buena calidad

de la señal que transmite cada uno de estos AP; sin embargo, es muy probable que en este caso tampoco se estén detectando otros APs existentes en la zona.

### **Discusión**

En los dos centros comerciales evaluados se evidenció una gran interferencia, especialmente en los pisos con mayor densidad de locales y de APs. La sola cantidad de APs puede ser un factor suficiente para originar interferencia en las señales transmitidas (Cabrera, 2008).

De acuerdo con lo descrito por otros autores, las principales causas para la interferencia son la gran potencia de señal de algunos APs, la falta de simetría adecuada en cuanto a su ubicación dentro de cada zona, y los problemas en la asignación de los canales (López, 2007).

En tal sentido, en especial en este punto se encontró que en los centros comerciales no se sigue ningún protocolo en cuanto a la asignación de los canales, pues de acuerdo al protocolo IEEE 802.11, el ancho de banda de las señales inalámbricas utiliza 14 canales; este ancho de banda es superior a la separación entre canales, por lo que siempre es necesario mantener una separación, como mínimo de cinco canales, para evitar interferencias entre celdas adyacentes.

En este caso se utilizó una simulación asignando los canales 1, 6 y 11 para los APs medidos, obteniendo una disminución de la interferencia registrada; recomendaciones que han sido propuestas en otros estudios (Chaparro; Sáchica y Vargas, 2012).

De otro lado, las imágenes de interferencia evidencian que cada vez que un AP está irradiando una gran potencia en su señal, perjudica a los AP que se encuentran en su sector de influencia, los que son enmascarados por la potencia del primero. Las potencias arbitrariamente altas producen unas regiones de cobertura exageradas; aspecto que se puede constatar en las gráficas de reducción de potencia.

En otro aspecto, se encontraron dificultades en cuanto a la ubicación geográfica de los APs, pues ningún AP guarda una simetría adecuada en cuanto a su ubicación dentro de cada sitio.

De la misma manera, las mediciones en los conjuntos habitacionales no permitieron hacer un adecuado análisis de las mismas, debido a que no se contaba con los permisos necesarios para ingresar a las propiedades privadas, donde probablemente se encontraban ubicados los APs. De tal manera que era de esperar, que la potencia medida fuera menor de la real, al igual que la cobertura y el número de APs registrados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Las redes inalámbricas no licenciadas no controladas han tenido una difusión amplia en Colombia, debido a la necesidad de movilidad y conectividad que se requiere en la industria, en el comercio y en la vida social.

La tecnología inalámbrica se puede considerar como la más práctica y fácil de implementar, ya que aporta numerosos beneficios, pues gracias a la utilización de sus dispositivos inalámbricos se logran realizar conexiones imposibles para otro tipo de medio; conexiones a un menor costo en muchos escenarios; conexiones más rápidas; redes que son más fáciles y rápidas de instalar, y conexiones de datos para usuarios móviles; sin embargo, en este trabajo se documentó que la interferencia es uno de los principales problemas que afectan la comunicación en este tipo de redes.

El análisis de la interferencia en locales comerciales demostró una serie de dificultades en el manejo de las redes inalámbricas no licenciadas no controladas, tal como se relacionan a continuación:

1. Potencia exageradamente alta de la señal que aumenta la zona de cobertura y crea interferencia con los otros APs ubicados en la misma área

2. Problemas en la direccionalidad de la señal debido a la mala ubicación de los APs, originando cobertura en sitios innecesarios y ocasionando pérdida de señal e interferencia con otros APs
3. Atenuación de la señal por el solapamiento de señales
4. Manejo inadecuado en la asignación de canales.

### **Recomendaciones**

Dentro de las soluciones efectivas para controlar los problemas mencionados anteriormente se propone:

Si existe un AP que transmite con mucha potencia llenando su área de influencia con toda su señal, los otros APs ubicados en la zona estarán enmascarados por la potencia del primero. Un buen criterio es evitar que los APs transmitan a una potencia arbitrariamente alta, ya que solamente se debe utilizar la potencia necesaria para no interferir con la zona de influencia de otros APs. En términos generales, la capacidad óptima de transmisión de un AP es entre 5 y 10 dBm, lo que minimiza la carga en cada uno de ellos y reduce al mínimo la interferencia entre los APs, ubicados en una misma zona y que podrían estar compartiendo el mismo canal.

Cambiar la selección de canal. Los Access Point cercanos no deben usar canales que se superponen, por lo que se recomienda redistribuir los AP en diferentes canales

que sean ortogonales (canales 1, 6 y 11). Es necesario tener en cuenta que en algunos equipos la posición del canal secundario (por debajo o por encima del primario) es una opción configurable por el usuario, lo que le da una opción para mejorar la calidad de la señal. En el caso de que la cobertura de la señal sea deficiente, se recomienda utilizar una antena de mayor ganancia que amplíe la zona de cobertura.

Direccionar la señal hacia la zona de cobertura deseada (controlar directividad). Esto se puede realizar de forma directa por inspección, revisando la línea visual del enlace o utilizando el programa diseñado en Matlab con el que es posible recomendar el mejor sitio de ubicación del AP.

Con respecto a la ubicación de los APs, se recomienda mantener distancias significativas entre AP vecinos, ubicar el AP en un lugar central dentro del sitio de cobertura y lo más alto posible.

Otras recomendaciones generales para mejorar el funcionamiento de las redes WiFi son:

- Utilizar reforzadores de señal (*boosters*). Si bien esta es una opción que puede mejorar la potencia de la señal es importante asegurarse de que los usuarios no abusen de los adaptadores de gran alcance, porque ellos mismos pueden ocasionar interferencia



- Comprobar que el equipo este instalado correctamente
- Realizar mantenimientos preventivos en el equipo transmisor
- Asegurar buenas prácticas técnicas (polo a tierra, instalaciones eléctricas, ubicación de la antena)
- Mejorar la seguridad de la Red WiFi con la utilización de contraseñas o software de seguridad.

Finalmente, y aunque excede el ámbito puramente técnico, se recomienda realizar un proceso educativo sobre el manejo de las redes inalámbricas a los usuarios de WiFi; aspecto en el que las empresas prestadoras del servicio deberían realizar un proceso inductivo a sus clientes, especialmente acerca de cómo evitar interferencias y mantener la calidad y seguridad de la señal, pues a pesar de existir protocolos y recomendaciones internacionales para el uso y buenas prácticas de manejo de redes WiFi, éstos no son ampliamente conocidos o aplicados por los técnicos y usuarios.

### **Medios de divulgación de los resultados**

Los resultados obtenidos se divulgarán mediante un informe escrito para ser entregado a los administradores de los centros comerciales y los conjuntos habitacionales. También se propone la realización de dos artículos científicos, uno de revisión y otro de resultados de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Backman, W. (2010). *Monitoring and ensuring WLAN performance*. MobileFunet, Report, CSC – IT Centre for Science, 2010, GN3-NA3-T4-status-WLAN-networks.
- Benavides, J.; Castro, F.; Devis, L. y Olivera, M. (2011). *Impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en el desarrollo y la competitividad del país*. Bogotá: Fedesarrollo.
- Bertocco, M.; Gamba, G. & Sona, A. (2008). ¿Is CSMA/CA really efficient against interference in a wireless control system? An experimental answer. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*, 885–892.
- Cabrera Rosero, O. E. (2008). *Redes inalámbricas comunitarias aplicadas en ciudades y sectores rurales para su desarrollo*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Calleja Arce, E.; Gerónimo Cárdenas, H.; Rosales Jiménez, D.; Rodríguez Silva, J. U. y Santillán González, I. (2008). *Diseño de VLAN'S para mejorar el desempeño y la seguridad de la red en la empresa Merk 2.0*. México: Instituto Politécnico Nacional.

Cantillo Valero, C.; Roura Redondo, M. y Sánchez Palacín, A. (2012). Tendencias actuales en el uso de dispositivos móviles en educación. *La educación digital*, 147, 1–21.

Carrión, H. (2009). *Redes inalámbricas: explotación de bandas libres reflexiones y recomendaciones*. Asociación para el progreso de las comunicaciones (APC).

Chamorro, L. y Pietrosemoli, E. (2008). *Redes inalámbricas para el desarrollo en América Latina y el Caribe*. Temas emergentes. Asociación para el progreso de las comunicaciones (APC).

Chaparro, B.; Sáchica, A. y Vargas, J. (2012). Análisis de la gestión y seguridad de las redes WLAN en el rango de frecuencias cercano a la banda de 2,4GHz. *Ingenio Magno*, 3, 100–107.

Díaz, A. P. (2008). *Tecnología inalámbrica y salud*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Dzul, F.; Mohd, H.; Rizman, Z. I.; Miskon, M. T.; Mohamad, N. & Hafizah, N. (2013). Analyzing and optimizing WiFi access point. *Performance*, 3 (12), 289–298.

Eguizábal, M. (2011). *Control de interferencias en redes heterogéneas LTE-A con despliegues de femtoceldas*. España: Universidad de Zaragoza.

Escudero Pascual, A. (2007). *Estándares en tecnologías inalámbricas*. TRICALCAR.

Estándares IEEE. Recuperado de: <http://standards.ieee.org/db>

Fernández, N. G. (2006). *Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo*. España: Universidad de Oviedo.

Frodigh, M.; Johansson, P. y Larsson, P. (2000). Formación de redes inalámbricas ad hoc—El arte de la formación de redes sin red. *Revista Ericsson*, 4, 248-63.

Garzón Pérez, M. T. (2010). Redes inalámbricas: Wireless. *Innovación y Experiencia educativa*, 28, 1–11.

Guevara, R. C. & Serna, E. (2013). Una propuesta de solución al problema de la interferencia entre redes WiFi por solapamiento de canales. *Universida Militar Nueva Granada - Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23 (2), 7–16.

Instat a Biostatistics CRO. Consultado el 14 de abril de 2014. Disponible en: <http://www.instat.com>.

ITU Radiocommunication sector. Consultado el 9 de junio de 2013. Disponible en:

<http://www.itu.int/net/ITU-R/index.asp?redirect=true&category=information&rlink=terminology-database&lang=es&adsearch=&SearchTerminologyinterferencia&collection=normative&sector=all&language=all&part=abbreviatio nterm&kind=anywhere&StartRecord=1&NumberRec>.

Jenkins, N., & Schatt, S. (1996). *Redes de área local (Lan)*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Kliks, A.; Nasreddine, J.; Zalonis, A. & Dimitriou, N. (2012). Interference management in heterogeneous wireless networks based on context information. *IEEE*, 25, 1-5.

Koo, J. & Cha, H. (2012). Unsupervised locating of WiFi access points using smartphones. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, 42 (6), 1341–1353.

López Guerrero, J. (2007). *Redes inalámbricas Wireless LAN*. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Montiel Dávila, I. (2006). *Operación y manejo de una red inalámbrica en la compañía FMI internacional*. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Monzón, C. (2009). *Auditoria de seguridad de redes inalámbricas de área local wireless local area network (WLAN)*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

Moya, A. y JL, D. (2008). *Análisis de interferencias para redes WiFi en un espacio determinado*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Ortiz, D. (2012). *Mejora la calidad de tus redes WiFi con WiFi Analyzer para Android*. Fecha de revisión/actualización 25/04/2012. Consultado el 23 de mayo de 2013. Disponible en: <http://sevilla.abc.es/mobility/tutorial/android/tutoriales-android/mejora-la-calidad-de-tus-redes-WiFi-con-WiFi-analyzer-para-android/>

Ramírez, J. y Díaz, J. V. (2008). Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas. *Revista Ciencias y administración*, 2, 85–89.

República de Colombia. Ministerio de Comunicaciones. (2004). *Resolución 689 de 2004*. Por medio de la cual se atribuyó bandas de frecuencias para uso libre en la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local. Bogotá.

República de Colombia. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2013). *Boletín trimestral de las TIC*. Bogotá.

Riera Salís, M. (2008). Regulación técnica de los Sistemas Wi-fi. *Foro WiFi Universidad Pompeu Fabra*. Barcelona.

Ruiz, J. B. (2007). Transiciones en la función docente. La transformación de la práctica educativa por la presencia de los medios electrónicos en la educación. *Revista Educación*, 344, 497–509.

Savithri, G.; Sujathamma, P.; Padmavati, S. & Visvavidyalayam, M. (2014). Selfish carrier monitoring in WiFi using distributed sniffers. *Int. J. Emerg. Technol. Comput. Appl. Sci. (IJETCAS)*, 1961, 329–333.

Sinthuja, U. & Sridevi, R. (2014). *Selfish carrier monitoring in WiFi using distributed sniffers*. *Int. J. Emerg. Technol. Comput. Appl. Sci. (IJETCAS)*, 14-147, 237-41.

Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de computadoras*. Cuarta edición. México DF: Pearson Educación.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Consultado el 07 de agosto de 2015. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/233015/233015Exe/leccin\\_12\\_estndares\\_wlan.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/233015/233015Exe/leccin_12_estndares_wlan.html).

Vanheel, F.; Verhaevert, J. & Moerman, I. (2008). Study on distance of interference sources on wireless sensor network. *Proceedings of the 38th European Microwave Conference, EuMC*, 175–178.

Varela, C. y Domínguez, L. (2002). *Redes inalámbricas*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática Universidad de Valladolid.