



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Diseño de mecanismo de optimización para la asignación de canales en redes de corto alcance inalámbrica con Acceso Oportunista al Espectro (OSA) en ambientes urbanos”

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Ing. Julio César Palma Vidal

GUAYAQUIL – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien es la base fundamental para nuestras vidas, dándome las energías necesarias para poder culminar con éxito esta gran etapa de mi vida.

A nuestros padres, los cuales nos brindan el apoyo incondicional para permanecer siempre en pie de lucha y no desmayar durante los difíciles obstáculos que se nos presentan en el día a día.

Al tutor, PhD. Francisco Novillo que me ayudó con sus conocimientos para la culminación del presente trabajo.

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos que son la base de mi inspiración para poder superarme y que han estado a mi lado de manera incondicional, en las buenas y en las malas.

A mis padres que me ayudaron en todo momento para conseguir este logro.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ing. César Martín Moreno, PhD

SUBDECANO DE LA FIEC

Ing. Francisco Novillo, PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Juan Carlos Avilés, PhD

MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Ing. Julio César Palma Vidal

RESUMEN

Sin lugar a dudas, actualmente el uso de los dispositivos inalámbricos ha incrementado considerablemente que podríamos considerar que la existencia de los mismos supera la cantidad de personas existentes en el mundo. Esto genera demanda de equipos que soporten el uso de este tipo de tecnologías. Para esto, el uso de los recursos necesarios como lo es el espectro radioeléctrico para que estos dispositivos operen de manera adecuada se hace escaso.

El espectro radioeléctrico que utilizan estos dispositivos genera una escasez de recursos asignados para esta tecnología, uno de los escenarios comúnmente vistos, son las redes inalámbricas y de sensores utilizadas por empresas y hogares que evidencian la congestión generada sobre el espectro radioeléctrico.

El presente trabajo tiene como objetivo proponer un mecanismo de optimización para la asignación de canales de frecuencia que utilizan los dispositivos inalámbricos para lograr que operen de manera adecuada. Se realiza un análisis de un escenario urbano denso, en el que se distribuyen de manera aleatoria gran cantidad de dispositivos asignándoles canales de la banda: Industrial, Científico y Médico (Industrial, Scientific and Medical, ISM); generándose un problema de interferencia debido al limitado número de canales disponibles para la gran cantidad de equipos dispuestos en el escenario.

Dado este escenario, en la comunidad científica se realiza un estudio de las posibles alternativas de conexión en ambientes con más dispositivos presentes, debido a la gran congestión que ocasionan y al poco recurso disponible para su uso.

Los mecanismos de asignación de canales son herramientas utilizadas normalmente para mitigar los problemas ocasionados por las interferencias que generan los dispositivos inalámbricos y el uso en la banda ISM, debido a la proximidad y cantidad de equipos presentes en escenarios urbanos densos. Sin embargo, una de las limitantes principales es la cantidad de recurso disponible (canales) que permita la asignación óptima a los dispositivos para que estos operen de manera adecuada.

Para resolver este problema, se propone utilizar alternativas de conexión inalámbricas existentes, pero no habilitadas por el momento, como lo es el uso de la Banda Primaria (BP) de Televisión. La banda primaria de TV en ciertas áreas de cobertura está subutilizada para otros fines por lo cual es necesario hacer su uso siempre y cuando lo permita las regulaciones existentes.

Entre los estudios realizados para mejorar la asignación de recursos aparece la tecnología conocida como Acceso Oportunista al Espectro (del inglés: Opportunistic Spectrum Access, OSA), por medio del cual los usuarios secundarios puedan utilizar las mismas frecuencias utilizadas por usuarios primarios siempre y cuando los servicios primarios no sean perjudicados.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	4
DECLARACIÓN EXPRESA	5
RESUMEN	6
ÍNDICE GENERAL	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	12
CAPÍTULO 1	13
1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA	13
1.1 Identificación del problema	13
1.2 Justificación del Problema	15
1.3 Metodología	17
1.4 Resultados Esperados.....	18
1.5 Elementos Diferenciadores o Innovadores	18
1.6 Objetivos del Trabajo de Titulación.....	19
CAPITULO 2	20
2. ESTADO DEL ARTE	20
2.1 Redes de Área Local Inalámbricas (WLANs).....	21
2.2 Estándar IEEE802.11.....	22
2.3 Descripción de los Canales WLANs en el Espectro Radioeléctrico.	24

2.4	Redes WSN y su arquitectura.....	26
2.5	Sistemas de acceso dinámico al espectro (DSA)	27
2.6	Acceso Oportunista al Espectro (OSA).....	28
2.7	Mecanismos óptimos de asignación de canal en redes inalámbricas	
	31	
CAPITULO 3.....		35
3.	MODELO DEL SISTEMA	35
3.1	Modelamiento del escenario tipo Manhattan.....	35
3.2	Modelado de las características radio de los dispositivos WLAN y	
	WSN de corto alcance.	38
3.2	Modelamiento de los canales de banda licenciada y no licenciada.	42
3.3	Métricas que permiten medir el desempeño de los dispositivos	42
CAPITULO 4.....		45
4.	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	45
4.1	Formulación matemática del algoritmo de optimización para	
	asignación de canales con osa.....	45
4.2	Descripción del funcionamiento del algoritmo optimo planteado.	47
CAPITULO 5.....		52
5.	EXPERIMENTACIÓN Y ANALISIS DE DATOS	52
5.1	Configuración del sistema para funcionamiento del algoritmo	
	planteado.....	52
5.2	Evaluaciones de desempeño del algoritmo planteado.....	53

5.3 Comparación del algoritmo planteado con otros algoritmos conocidos

54

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57

ReferenciasError! Bookmark not defined.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:Arquitectura de una WLAN.....	22
Figura 2.2:Tipos de topología de las WSNs	26
Figura 2.3:Estrategias para utilización de DSA	28
Figura 2.4Problemática para la asignación de canales en redes Inalámbricas con OSA Enabled [17].....	29
Figura 2.5:Arquitectura de Sistema de Radio Cognitiva [18].....	31
Figura 3.1:Escenario de Estudio para Redes de Corto Alcance WSNs	36
Figura 3.2: Vista Lateral del Escenario propuesto.	37
Figura 3.3: Captura de la distribución de los WSNs	38
Figura 3.4: Interferencias Potencial entre WSN y WLAN	40
Figura 3.5: Cobertura de la Banda Licenciada y No Licenciada.....	42
Figura 4.1: Pseudocódigo del Algoritmo Simulated Annealing	51
Figura 5.1: Capacidad de Canal Promedio utilizando el algoritmo Simulated Annealing	Error! Bookmark not defined.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Estándar IEEE 802.11 y su Evolución	23
Tabla 2.2: Frecuencias ISM.....	24
Tabla 2.3: Canales permitidos para USA y Europa	25
Tabla 2.4: Canales de la Banda ISM - WLAN	25
Tabla 3.1: Datos del Escenario	35
Tabla 5.1: Parámetros del Escenario Propuesto	52
Tabla 5.2: Parámetros del Algoritmo Óptimo.....	53

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Identificación del problema

En los actuales momentos, el uso de equipos con tecnología inalámbrica ha aumentado acorde a las nuevas tecnologías que surgen en el día a día [1] [2], por lo que existe gran demanda del uso de conectividad inalámbrica sobre todo en zonas urbanas de gran concurrencia. Los diferentes dispositivos inalámbricos (WLAN: Wireless Local Area Network y WSN: Wireless Sensor Network) utilizados en este tipo de zonas operan de manera descoordinada en un espacio geográfico limitado, lo que podría generar problemas de funcionamiento tales como, los niveles bajos de señal transmitida, la interferencia generada entre ellos, etc. [3] [4]

El avance tecnológico de estos dispositivos en los últimos tiempos va en crecimiento, esto permite utilizar un sin número de aplicaciones o servicios junto a la gran demanda que existe hoy en día. Debido a esto, es posible encontrar soluciones tecnológicas utilizando tanto equipos WLANs como WSNs. Sin embargo, el uso de estos equipos al mismo tiempo genera congestión debido al recurso radioeléctrico que comparten ambos.

La mayoría de estos dispositivos comúnmente operan sobre una banda compartida (ej. las bandas ISM). Las bandas ISM (Industrial, Científica, Médica) [5], son bandas no licenciadas que soportan el uso compartido de varias tecnologías de acceso inalámbrico tales como Bluetooth, Puntos de

Acceso Inalámbricos, etc. (ej. 2.4Ghz), sin existir limitaciones con respecto a su uso. En las bandas ISM los canales disponibles para que los dispositivos puedan operar son limitados, como consecuencia de esto, al usar gran cantidad de equipos la congestión en la banda se vuelve crítica [6], generando altos niveles de interferencia, esto hace que los equipos presentes en la red no trabajen de manera adecuada, generando mala calidad del servicio percibido por el usuario.

Con el fin de mitigar los problemas mencionados anteriormente, existen varias propuestas para mejorar el funcionamiento de los dispositivos que utilizan la banda ISM, esto es, la reasignación de canales, la utilización de bandas superiores (ej. 5Ghz), la utilización de bandas licenciadas no utilizadas [7], etc.

La reasignación de canales es un mecanismo que permite asignar canales disponibles a los dispositivos para que operen de manera adecuada, evitando interferencias ocasionadas al utilizar equipos en el mismo canal [8] [9]. En zonas urbanas con alta densidad de dispositivos los canales no son suficientes, el tipo de interferencias co-canal y canal adyacente son inevitables, lo cual no es una buena respuesta a corto plazo en la zona.

La utilización de la banda 5Ghz es una alternativa para los equipos inalámbricos, tiene ventajas como la velocidad de operación, pero tiene sus limitantes, esto es, propagación menor de la señal, las coberturas en

espacios cerrados que alcanzan los dispositivos es limitada y poca facilidad para traspasar paredes [10] [11].

Debido a que los mecanismos mencionados anteriormente solucionan de manera parcial los problemas de calidad en la comunicación inalámbrica, el problema de la asignación de canales en sistemas inalámbricos de corto alcance resulta un desafío en los problemas inalámbricos.

En base a esto, nuestro escenario de estudio constará de grandes cantidades de equipos WLAN y WSN, en el cual observaremos los problemas mencionados anteriormente, como lo son: la escasez de canales, la presencia de ruido y la distribución descoordinada de los equipos, permitiendo evidenciar el problema que tienen los dispositivos en un escenario urbano denso tipo Manhattan [12].

1.2 Justificación del Problema

Debido a los problemas mencionados anteriormente, y a los mecanismos de solución parcial existentes para los problemas de congestión en la banda, actualmente en la comunidad científica se ha aprobado la alternativa de usar canales disponibles licenciados en otras bandas, para ser utilizado como alternativa de conexión, esto es mediante el uso de Acceso Oportunista al Espectro OSA aplicando mecanismos de radio cognitiva [13].

El uso de OSA aparece como [12] alternativa para resolver los problemas de congestión en la banda ISM. Los dispositivos que usan OSA exploran segmentos no utilizados por las bandas licenciadas, esto permite a los usuarios no licenciados explotar el espectro de manera oportunista.

Una de las bandas que se podría considerar para su uso, son las bandas de TV. Estas bandas poseen algunos canales desocupados debido al apagón analógico. Además, existe disponibilidad de tipo espacial y temporal en algunos canales.

Por lo tanto, en este trabajo se propone un mecanismo que permita a los dispositivos de corto alcance asignar canales de bandas de TV, garantizando criterios de calidad que permitan asegurar la satisfacción de los usuarios.

En particular se propone un algoritmo de optimización para la asignación de canales de manera que, si cierta calidad de servicio no es requerida por el dispositivo, éste pueda usar canales de manera oportunista que normalmente operan otros sistemas.

1.3 Metodología

Se analizará las referencias bibliográficas basados en bases de datos bien reconocidas que permitan encontrar el estado del arte de los tópicos de investigación.

Se realizará un modelamiento del escenario inicial utilizando la herramienta de software Matlab, especificando los factores utilizados.

Se formulará el problema de asignación de canales matemáticamente. Se analizará, planteará y resolverá la problemática encontrada mediante una descripción del mundo real al área de las matemáticas.

Se implementará un algoritmo de optimización mediante simulación que permita solucionar los problemas de asignación de canales en las bandas ISM y con capacidades OSA.

Utilizaremos la herramienta de software Matlab para realizar la simulación del algoritmo planteado como solución a nuestro problema.

1.4 Resultados Esperados

Se obtendrá el estado del arte referente a los temas del proyecto de investigación en base a documentos científicos obtenidos desde bases de datos bien reconocidas.

Un escenario WLAN con capacidades OSA modelado mediante simulación en la herramienta de software Matlab.

Un algoritmo óptimo para la asignación de canales en redes de corto alcance utilizando OSA con radio cognitiva.

Resultados del algoritmo óptimo de asignación de canales basados en la simulación del escenario de estudio.

1.5 Elementos Diferenciadores o Innovadores

El algoritmo de optimización de asignación de canales, que permitirá resolver los problemas de congestión en las bandas ISM para ambientes urbanos densos.

El uso de OSA para ambientes urbanos densos, como una de las alternativas para solucionar los problemas de congestión, agregando la utilización de algoritmos óptimos que permitan aprovechar estas ventajas,

sin duda aportaría al desarrollo de nuevas tecnologías a aplicarse en nuevos equipos.

1.6 Objetivos del Trabajo de Titulación

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un mecanismo óptimo de asignación de canales para redes de corto alcance usando Acceso Oportunista al Espectro (OSA)

1.6.2 Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento de mecanismos óptimos de asignación de canales más utilizados en redes de corto alcance y tecnología OSA usando radio cognitiva.
- Modelar la disponibilidad de canales de las redes de corto alcance para ambientes urbanos densos.
- Formular matemáticamente el algoritmo óptimo de asignación de canal basado en el escenario de estudio.
- Desarrollar y probar el algoritmo óptimo de asignación de canales mediante simulación

CAPITULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años ha existido un gran avance en el mundo de las tecnologías y telecomunicaciones, el despliegue de las redes de área local inalámbricas (WLAN) y redes de sensores (WSN), constituye uno de los avances importantes sobre todo en áreas urbanas, debido a la facilidad en su instalación y en la utilización de bandas de frecuencia que no necesitan licencias para su operación.

Esta banda como lo es la ISM, posee un limitado número de canales que al momento de ser utilizada por varios dispositivos simultáneamente dificulta su operación, esto es debido a los altos niveles de interferencia percibida por los dispositivos receptores.

El Acceso Oportunista al Espectro (OSA), es una técnica basada en radio cognitiva y es utilizada para aprovechar el espectro licenciado con la opción de que se permita su uso sin interferir la operación de los usuarios primarios [13].

El uso de OSA posibilita la opción de gestionar de manera eficiente el uso del espectro radioeléctrico, debido a que las WLAN usen de manera oportunista el espectro liberado y, en consecuencia, se descongestione la banda no licenciada [14].

En este capítulo, se describe los diferentes conceptos y tecnologías que serán de utilidad para el desarrollo de los demás capítulos.

2.1 Redes de Área Local Inalámbricas (WLANs)

Una red de área local inalámbrica (WLAN) es una red que cubre un área específica y permite a diferentes dispositivos interconectarse entre sí de manera inalámbrica utilizando frecuencias de la banda no licenciada ISM.

Las redes de área local inalámbricas están basadas en la especificación del Estándar IEEE 802.11 desarrollada por el comité de normas LAN/MAN del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE y se conoce comúnmente como Wi-Fi. En 1991 compañías como Lucent, Nokia, 3Com, Cisco, entre otras, crearon una asociación conocida como WECA (Wireless Ethernet Compatibility) cuyo nombre fue sustituido por Wi-Fi Alliance posteriormente. Wi-Fi Alliance, es una organización comercial que prueba y certifica que los dispositivos cumplen con el estándar IEEE 802.11x. IEEE 802.11 define el uso de la capa Física y Enlace de Datos para el correcto funcionamiento de una WLAN [14].

Las redes WLAN y su estándar 802.11 tiene como elemento fundamental la celda o área geográfica por medio del cual se interconectan varios dispositivos entre sí, de manera inalámbrica. En general, este esquema está compuesto por dispositivos conocidos como estaciones (STA) y un único punto de acceso (Access Point, AP). Las estaciones (STA) son

adaptadores que utilizan el protocolo de ethernet para enviar/recibir la información entre los equipos clientes. Los Puntos de Acceso(AP) es el elemento que permite la conexión con diferentes dispositivos asociados de forma inalámbrica, además de gestionar todo el tráfico de las estaciones. En la figura 2.1 se muestra los componentes de una Red Inalámbrica.

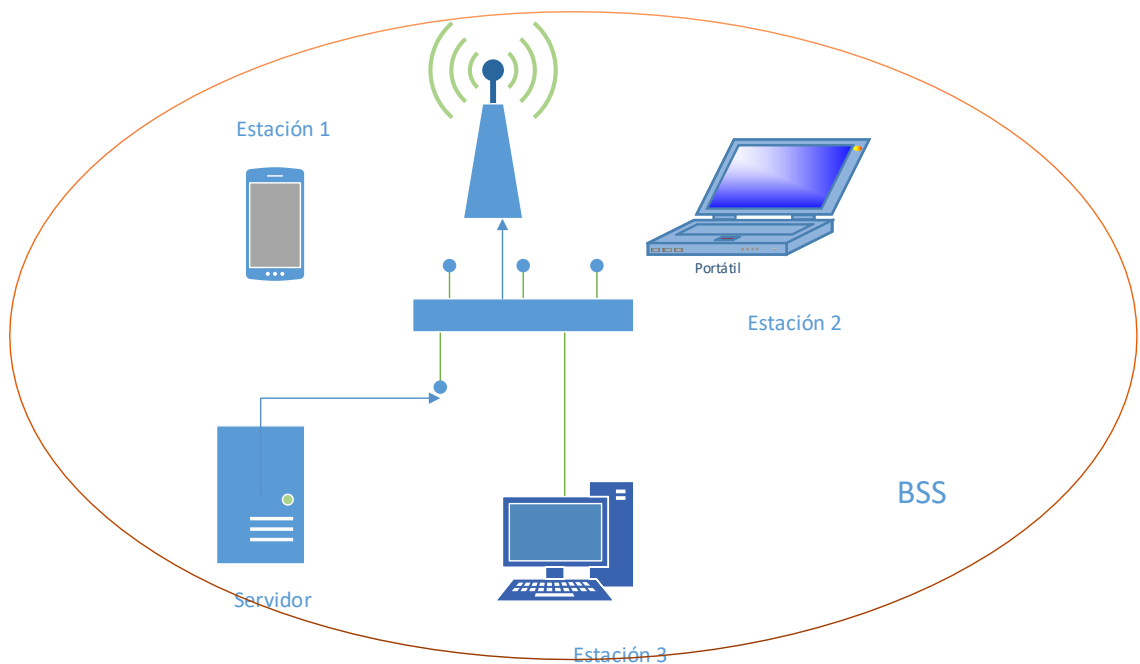


Figura 2.1:Arquitectura de una WLAN

2.2 Estándar IEEE802.11

El estándar IEEE 802.11 es utilizado para las redes locales inalámbricas, permite el acceso de manera inalámbrica a diferentes dispositivos que en la actualidad son de uso masivo. Define el uso de la capa física y de enlace de datos de la arquitectura: Interconexión de Sistemas Abiertos, del inglés Open Systems Interconnection (OSI). El estándar actual que utilizan las diferentes redes inalámbricas se subdivide en: a, b, g, n cada una con

diferentes características como velocidad de transmisión, cobertura, frecuencia, etc. esto es parte de una solución inalámbrica utilizando la banda de frecuencia no licenciada.

A continuación, en la Tabla 2.1 se muestran los Estándares 802.11 utilizados, las características y su evolución [14].

	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Fecha de aprobación del Estándar	1997	1999	1999	2003	2009
Máxima tasa de datos	1,2	11	54	54	600
Modulación	DSSS	DSSS	OFDM	DSSS, OFDM	DSSS, OFDM
RF Banda (GHz)	2.4	2.4	5	2.4	2.4, 5
Ancho de Canal (MHz)	20	20	20	20	20, 40

Tabla 2.1: Estándar IEEE 802.11 y su Evolución

La arquitectura de IEEE 802.11 consta de varios componentes que interactúan para formar una red WLAN que admita la movilidad de las estaciones de forma transparente a las capas superiores, el bloque básico para la creación de una red WLAN es denominada conjuntos de servicios básicos, Basic Service Set (BSS), como se muestra en la figura 2.1.

2.3 Descripción de los Canales WLANs en el Espectro Radioeléctrico.

En el apartado anterior, se describe como las redes WLAN basan su funcionamiento con el Estándar IEEE 802.11 y opera en la banda ISM. A continuación, la tabla 2.2 [] muestra la información del rango utilizado por la banda ISM.

BANDA ISM	RANGO
900MHz	902MHz - 928 MHz
2.4 GHz	2.4 GHz - 2.4835 GHz
5 GHz	5.15 GHz-5.35GHz , 5.725 GHz - 5.825 GHz

Tabla 2.2: Frecuencias ISM

El estándar IEEE 802.11 establece 14 canales para operar en la banda 2.4GHz, la disponibilidad de la cantidad de canales es diferente para cada país y depende de las políticas reguladoras de asignación de frecuencias. La tabla 2.3 muestra que canales son permitidos en Estados Unidos, Europa y Japón.

Canal	EUROPA	ESTADOS UNIDOS	JAPÓN
1	si	si	si
2	si	si	si
3	si	si	si
4	si	si	si
5	si	si	si
6	si	si	si
7	si	si	si
8	si	si	si
9	si	si	si
10	si	si	si
11	si	si	si
12	no	si	si
13	no	si	si
14	no	no	802.11b

Tabla 2.3: Canales permitidos para USA y Europa

Adicionalmente, el estándar IEEE define una separación entre cada canal de 5MHz, exceptuando a los dos últimos a los cuales se les define una separación de 12MHz, el ancho de banda está definido por 22MHz como se muestra en la tabla 2.4.

Canal	Frecuencia Baja (MHz)	Frecuencia Central (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)
1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483
14	2.473	2.484	2.495

Tabla 2.4: Canales de la Banda ISM - WLAN

2.4 Redes WSN y su arquitectura.

Actualmente las WSN están basadas en el estándar IEEE 802.15.4., que soporta múltiples topologías para su conexión en red, entre esas la topología tipo estrella y la topología peer-to-peer (Figura 2.2). La topología seleccionada va a depender del diseño de la aplicación que se le quiera dar, en algunos escenarios la interacción de los equipos requiere de una baja potencia, en la que se usa la de tipo estrella, por otro lado, otras aplicaciones requieren mayor cobertura entre los dispositivos por lo que se hace necesario implementar la topología peer-to-peer.

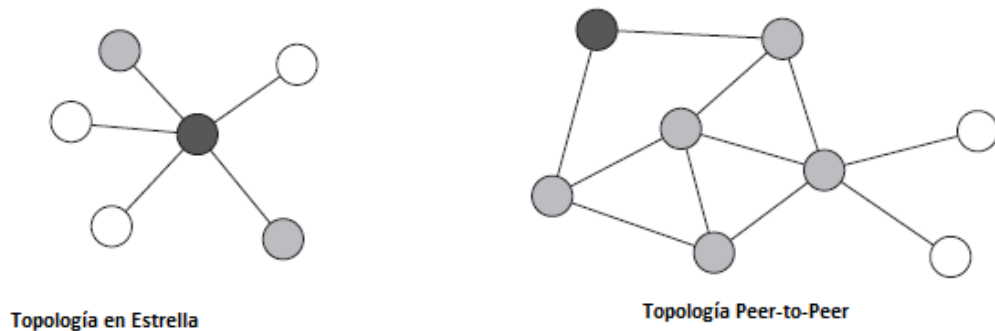


Figura 2.2: Tipos de topología de las WSNs

El estándar IEEE 802.15.4 posee dos opciones de la capa física (PHY), estos combinan con la sub capa de enlace de acceso a medios (Medium Access Control, MAC). Ambas capas físicas utilizan métodos de secuencia directa de espectro extendido (DSSS) con las características de bajos costos de implementación digital en IC con operaciones de bajo consumo de energía. La diferencia de ambas capas físicas está

relacionada con la banda de operación, una de las capas utiliza 2.4GHz que es la banda ISM disponible a nivel mundial, otra capa utiliza la frecuencia 865/915 MHz, donde se utiliza 865 MHz en Europa y 915MHz en la banda ISM de los Estados Unidos.

2.5 Sistemas de acceso dinámico al espectro (DSA)

El Acceso Dinámico al Espectro, en inglés Dynamic Spectrum Access (DSA), es un concepto que describe las diferentes tecnologías y técnicas que son utilizados por los dispositivos inalámbricos para utilizar de forma oportunista el Espectro Radioeléctrico disponible, esta compartición de espectro radioeléctrico va a permitir que usuarios secundarios accedan a diferentes recursos disponibles como son los espacios en blanco que existen en las bandas licenciadas con el objetivo de disminuir la escasez de espectro y así poder aumentar su utilización.

Estos espacios en blancos constituyen los segmentos de tiempo-frecuencia de espectro radioeléctrico que el usuario primario no utiliza. La figura 1 muestra los segmentos mencionados utilizados por los usuarios primarios, así como los espacios en blanco.

El Comité Federal de Comunicaciones (FCC) realizó un estudio y planteó la idea de cambiar el paradigma de gestión y manejo del espectro radioeléctrico, para aprovechar este recurso de una forma más eficiente y adaptarlo para que de alguna forma solucione problemas existentes en

los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos actuales, generando gran interés en la comunidad científica el cual aportó con ideas fundamentales para impulsar su aplicación.

En Estados Unidos se realizó el primer Simposio de la IEEE con objetivo de plantear nuevas estrategias que permitan la utilización de DSA, logrando ser categorizadas en 3 modelos [15]. Los mismos se encuentran especificados en la Figura 2.3

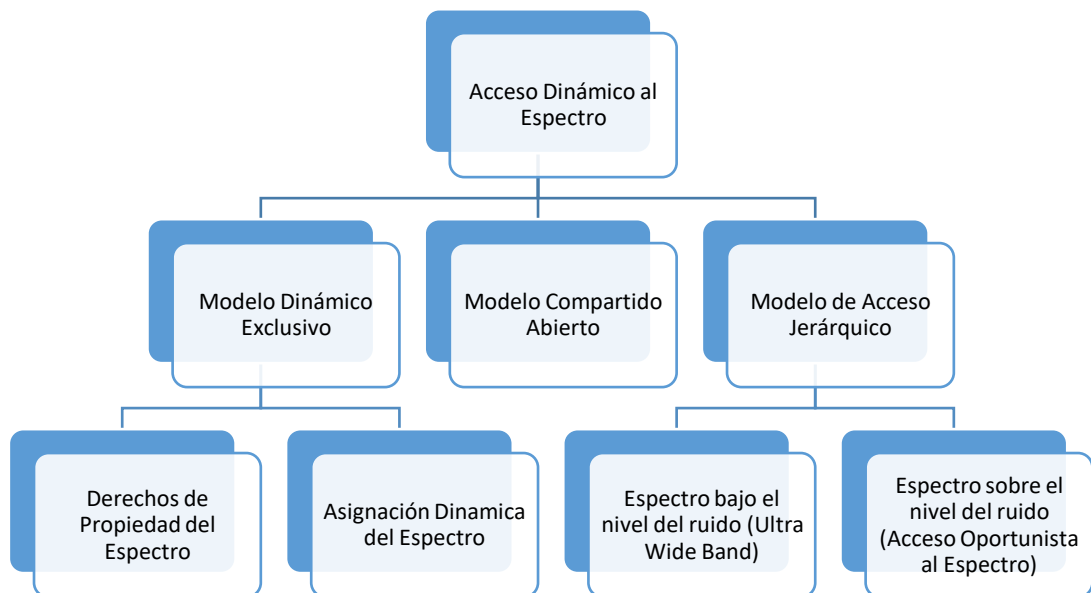


Figura 2.3: Estrategias para utilización de DSA

2.6 Acceso Oportunista al Espectro (OSA)

El Acceso Oportunista al Espectro (OSA, Opportunistic Spectrum Access), concepto que se originó dentro del marco del proyecto Defense Advance Research Projects Agency Next Generation (xG Project) [], es una tecnología que busca minimizar los problemas existentes en el uso del espectro radioeléctrico ocasionados por las administraciones actuales en

tema de administración y asignación del espectro. EL funcionamiento jerárquico bajo el concepto de OSA los usuarios secundarios o no licenciados pueden acceder y explotar el espectro radioeléctrico no utilizado por los usuarios primarios o licenciados en algún instante de tiempo. Una de las primeras propuestas de este modelo fue realizada por Mitola [16], establece que siempre se debe implementar un conjunto de procedimientos llamado ciclo cognitivo, para que pueda coexistir las redes de los usuarios secundarios con el sistema primario y además este sea factible.

Existen algunas ideas y algoritmos desarrolladas para resolver el problema de asignación de canales utilizando OSA-Enabled en redes inalámbricas como lo muestra la figura 2.4.

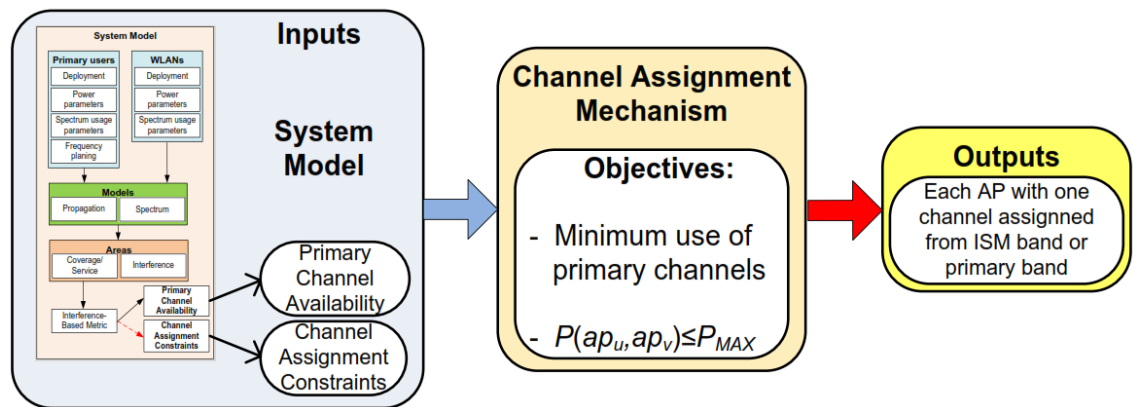


Figura 2.4 Problemática para la asignación de canales en redes Inalámbricas con OSA Enabled [17]

Adicionalmente, dentro de la utilización de OSA, podemos considerar el concepto de Radio Cognitiva, que es de vital importancia para encontrar la solución a la problemática de asignación de canales.

Radio Cognitiva (RC) consiste en un sistema de radio con la opción de modificar algunos parámetros del transmisor evaluando el entorno de trabajo en el que está operando, estos dispositivos que poseen la capacidad RC son configurables, lo que lo hace diferente a los demás sistemas tradicionales [16].

Los equipos RC poseen la capacidad de censar la información del espectro en el ambiente que está operando, con esto pretende encontrar vacíos de espectro en un tiempo o espacio determinado, y así poder variar las frecuencias sin interferir a los demás usuarios. La reconfigurabilidad de los dispositivos RC indica que el espectro de radio debe variar de forma dinámica de acuerdo al entorno y con esto se puede cambiar parámetros como la frecuencia, potencia, protocolos de comunicación o modulación sin afectar los componentes del hardware.

En la figura 2.5 se puede observar un esquema sobre la arquitectura de radio cognitiva, se puede observar a los usuarios como se comunican dentro de la red Radio Cognitiva (sin infraestructura) con la red primaria utilizando un dispositivo que permite el acceso a la misma, también se puede apreciar que existe la comunicación entre diferentes bandas, esto

implica que los dispositivos que utilizan Radio Cognitiva detectan el entorno y se ajustan dinámicamente los parámetros necesarios de comunicación para poder interactuar eficientemente [18].

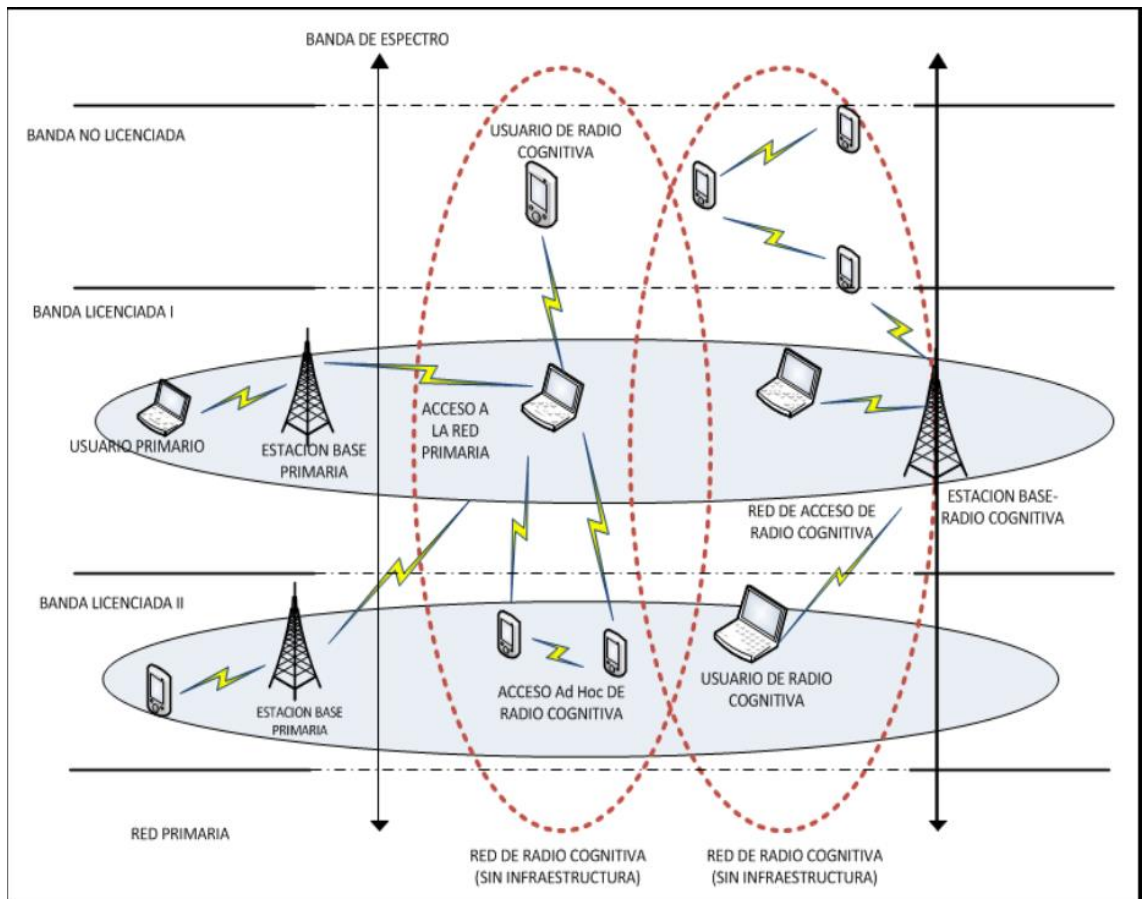


Figura 2.5:Arquitectura de Sistema de Radio Cognitiva [18]

2.7 Mecanismos óptimos de asignación de canal en redes inalámbricas

En este capítulo, mencionaremos una serie de algoritmos utilizados normalmente para resolver el problema de asignación de canales, evaluando el comportamiento de las redes WLAN y las WSNs frente a diferentes sistemas, esto es, utilizando escenarios convencionales existentes de redes inalámbricas, por otro lado, los nuevos escenarios

donde agregamos la utilización de OSA. Para esto podemos mencionar dos interrogantes principales que son objeto de estudio:

- **Priorizar Canales:** Este criterio de selección se basa normalmente por la utilización de canales disponibles, pero se debe considerar las reglamentaciones impuestas a la disposición de Canales ISM y OSA.
- **Disponibilidad del Espectro:** Para este criterio, la disponibilidad del canal para un sensor o un AP no puede ser la misma en cada dispositivo, debido a su ubicación y a la actividad que realice en ese instante, por lo que, para cada uno de los dispositivos la cantidad de canales disponibles a usar será el mismo.

En la figura 2.6 se muestran las diferentes propuestas analizadas para resolver el problema de la asignación de canales [19].

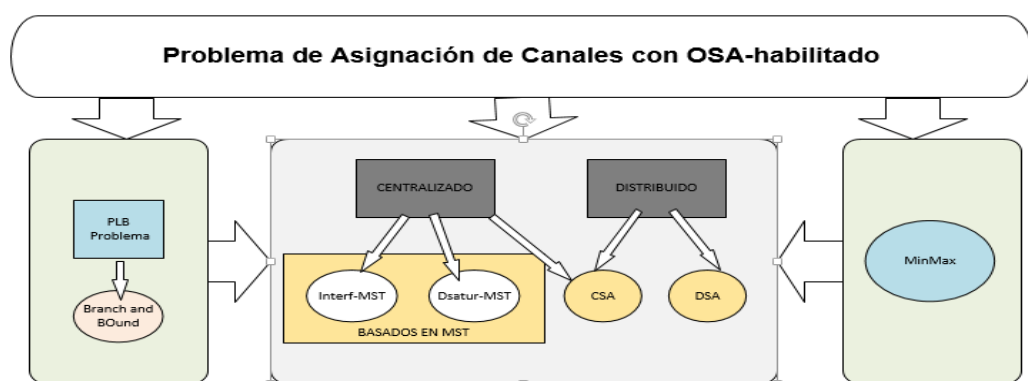


Figura 2.6: Propuestas para resolver el problema de asignación de Canales en Redes Inalámbricas utilizando OSA-Enabled [17]

Uno de las alternativas para resolver el problema de la asignación de canales es utilizar los algoritmos de Programación Lineal Binaria y Branch and Bound, con el fin de obtener una solución óptima, pero debido al alto requisito computacional, este enfoque se lo utiliza como un punto de referencia frente a otras estrategias, pueden ser utilizadas para evaluar las redes WLAN con escenarios de pocos equipos.

Debido a la necesidad de resolver este tipo de problemas utilizando soluciones computacionales eficientes, algunos algoritmos heurísticos son propuestos y analizados, considerando dos tipos de soluciones distribuidos y centralizados.

Se proponen 3 algoritmos heurísticos (Interf-MST, Dsatur-MST y CSA), de los cuales los dos primeros se basan en la construcción de un árbol de expansión mínimo (MST), en el que se consideran las restricciones de canal admitidas por cada AP, utilizando un orden para utilizar el canal.

Los gráficos MST se definen con relación a dos factores: la disponibilidad del canal primario y la penalización por la interferencia existente entre MST, o el grado de saturación para cada AP.

La tercera propuesta basada en un enfoque computacional centralizado es el algoritmo Simulated Annealing SA, el cual busca minimizar las

restricciones que utilizan los algoritmos basados en MST, permitiendo elegir soluciones candidatas para evitar óptimos locales. Este algoritmo permite la asignación de canal para cada AP y este se elegirá de acuerdo a un conjunto de probabilidades, adicionalmente el algoritmo SA utiliza una función de utilidad, evalúa la variación y si ésta aumenta el canal propuesto sería asignado al AP, en caso contrario se utilizaría una asignación con probabilidades.

Se utilizará el algoritmo SA para el diseño del mecanismo de optimización para la asignación de canales en el escenario propuesto, en capítulos posteriores se detallará aún más el funcionamiento del algoritmo.

CAPITULO 3

3. MODELO DEL SISTEMA

El presente capítulo describe el funcionamiento de los dispositivos a utilizarse para la implementación del mecanismo de asignación de canal propuesto. Se muestran los factores que serán considerados para la realización de los cálculos, estos son: Potencias de transmisión, Modelo de Propagación, interferencias ocasionadas por los dispositivos, frecuencias de operación a utilizar, etc.

3.1 Modelamiento del escenario tipo Manhattan

Para implementar el mecanismo adecuado de optimización se utiliza un escenario en el que se permite la incorporación de varios dispositivos ubicados en diferentes lugares, a estos dispositivos se les evalúa el desempeño sometiéndolos a diversos niveles de interferencias que provienen de otros equipos de similar característica o pertenecientes a otros tipos de sistemas.

Parámetro	Valor
Ancho del Edificio (b3)	10
Largo del Edificio (b2)	15
Altura del Edificio (b1)	10
Altura del Habitáculo	5
Ancho de la calle (a1)	5m
Largo de la calle (a2)	15m

Tabla 3.1: Datos del Escenario

El escenario propuesto está constituido por una gran cantidad de equipos en una zona urbana densamente poblada, a esto se lo conoce como un escenario tipo Manhattan [18], consta de varios edificios de departamentos dentro de una zona urbana, en particular usaremos dos bloques de edificios separados por una calle central, en la que existen gran cantidad de dispositivos WSNs, esto se muestra en la figura 3.1.

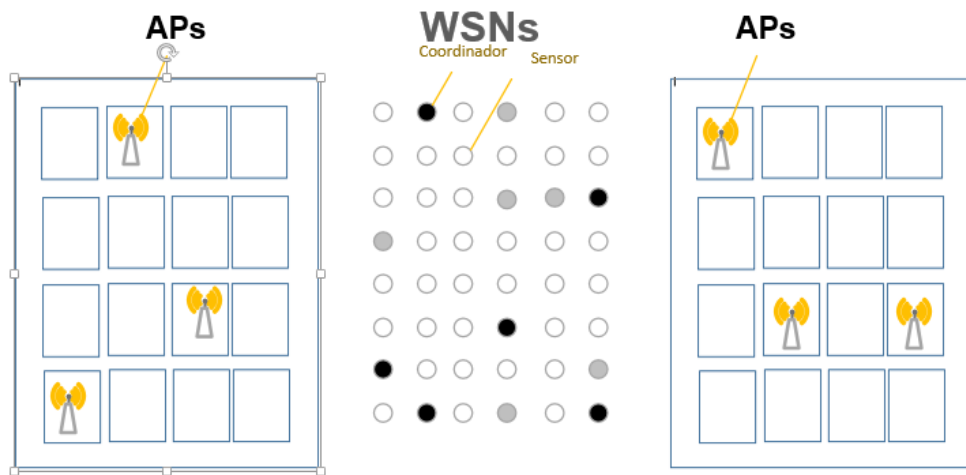


Figura 3.1: Escenario de Estudio para Redes de Corto Alcance WSNs

En cada uno de los edificios se ubicarán dispositivos WLANs, es decir, Access Point (AP) que proveerán el servicio de internet de manera inalámbrica, estos se encuentran ubicados dentro de los departamentos de cada edificio como se muestra en la figura. Los edificios y departamentos cuentan con varias dimensiones que se muestran en la tabla 3.1, se indican de igual manera en la figura correspondiente al escenario. En la figura 3.2 se muestra la vista lateral de los Edificios y los APs distribuidos

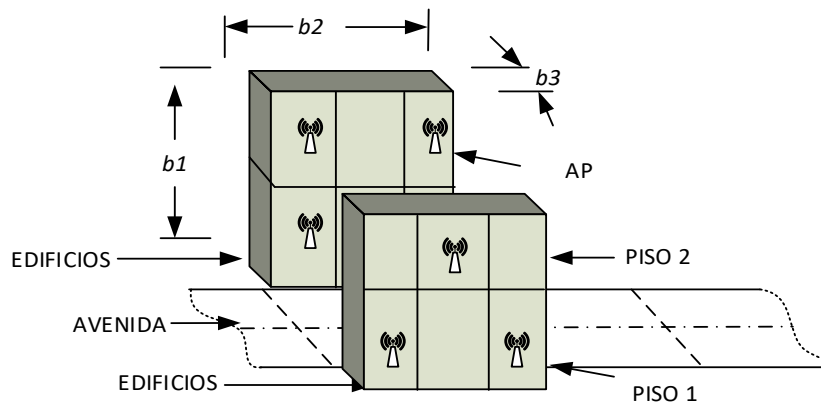


Figura 3.2: Vista Lateral del Escenario propuesto.

Por otro lado, dentro de la calle central se despliegan gran cantidad de WSNs, cada uno de estos sensores en topología estrella, y se componen de un coordinador (C), enlazado a diferentes sensores (S). Cabe indicar que al momento de transmitir u operar los diferentes coordinadores y sensores, solo un sensor a la vez enviará información a su respectivo coordinador, esto lo podemos observar en la figura 3.3 el cual muestra una especie de captura o snapshot justo en el instante en que la pareja Sensor-Coordinador interactúan. Cada par de sensor-coordinador mantiene una separación r y el ancho de la calle corresponde a $a1$ y $a2$ respectivamente.

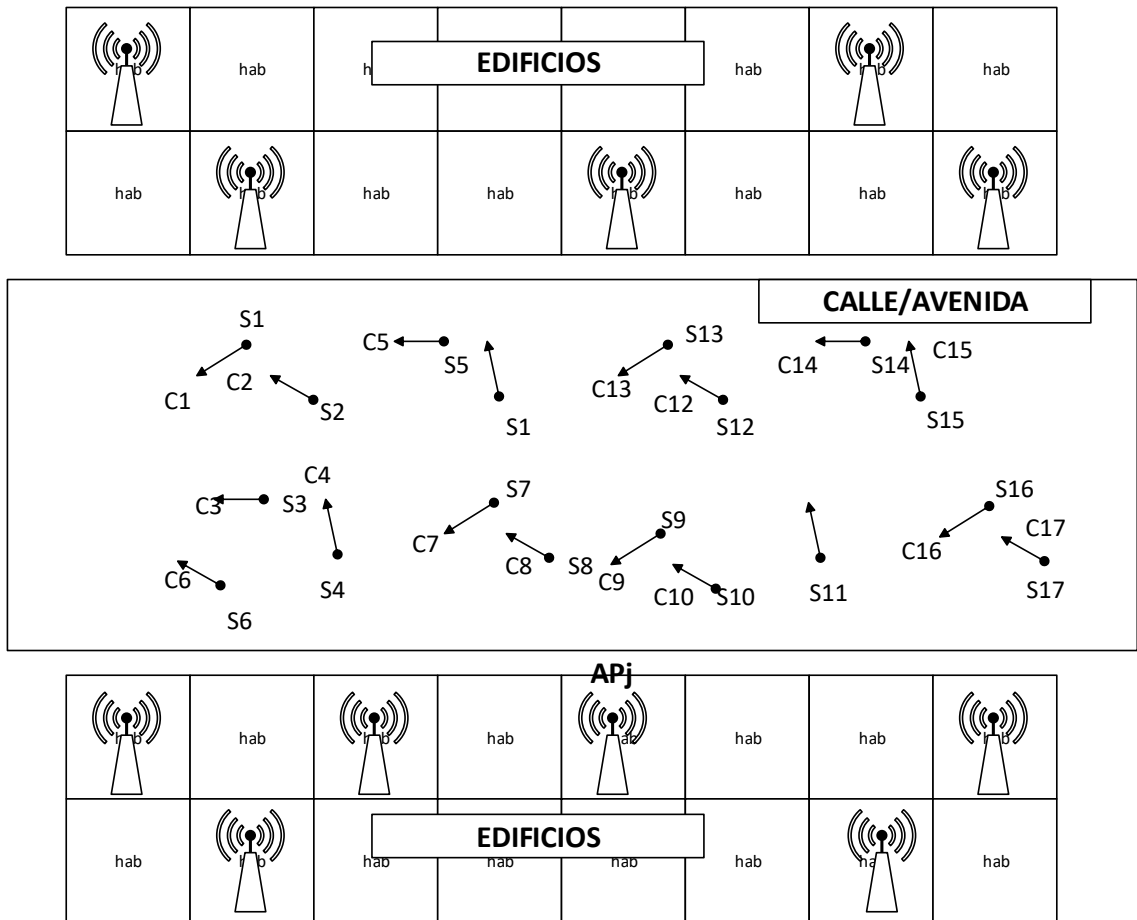


Figura 3.3: Captura de la distribución de los WSNs

3.2 Modelado de las características radio de los dispositivos WLAN y WSN de corto alcance.

Para el escenario descrito anteriormente, los equipos a utilizarse tanto WLANs como WSNs comparten la misma banda de operación ISM, por lo que los dispositivos WSNs podrían sufrir interferencias ya sea por los equipos WLANs o entre WSNs que se encuentren cercanas.

El despliegue de los equipos WLANs y WSNs para el escenario en estudio se realizará de manera aleatoria, para esto existen dos formas de

realizarlo: coordinados y no coordinados. Para el despliegue coordinado, la información de cada uno de los dispositivos los conoce un ente central, a esto también se lo conoce como un escenario centralizado., en cambio para el despliegue no coordinado no existe ningún ente que controle la disposición de cada uno de los equipos, para este caso el propio equipo WSN posee información de su entorno mas no del resto de equipos.

Para el escenario en estudio se realizará el análisis de los dispositivos desplegados de manera no coordinada, el despliegue de todos estos equipos ocasiona interferencias provenientes de otras WSNs y WLANs, en donde intervienen las interferencias co-canal desde otras WSNs o WLANs cercanas. Debido a esta disposición de los equipos y la gran cantidad utilizada, podría ser necesario la reutilización o la reasignación de canales.

En las redes WLANs las interferencias ocasionadas se pueden visualizar mediante la representación de canalizaciones entre las WSNs y las WLANs detallados en la figura 3.4. En la gráfica se observa como los canales de las WSNs son representados por BW_z que es el ancho de banda utilizado y una separación Δf_z ; en cambio, para los canales WLANs utilizado por los APs, están representados por BW_w con una separación entre las frecuencias centrales de Δf_w .

Como se puede observar una banda WLAN solapa a varios canales WSN a la vez, en la figura se observa como los canales 19, 20, 21, 22 son solapados por el canal 9 de las WLANs, con esto debemos considerar la posibilidad de que un equipo WLAN podría causar interferencia a 4 canales WSN de acuerdo a la disposición de estos en el escenario.

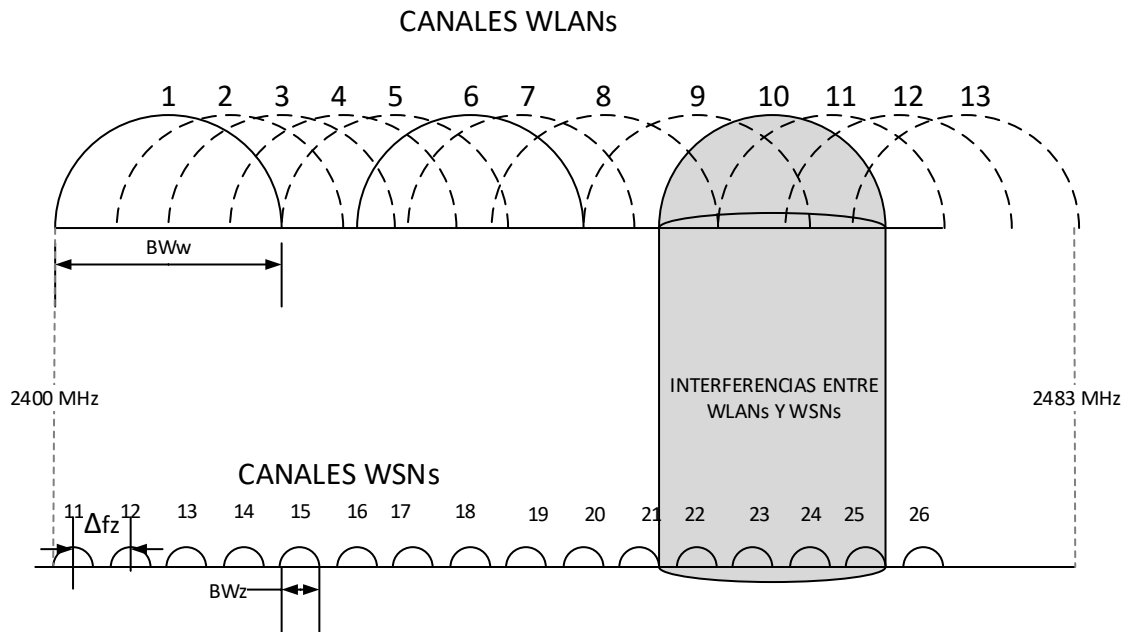


Figura 3.4: Interferencias Potencial entre WSN y WLAN

Para este escenario son considerados la Potencia de transmisión, la sensibilidad y el margen de protección.

En relación a los parámetros para el uso del espectro, el canal operativo usado por cada AP y WSN debería ser usado en la banda ISM, soportado por las redes WLANs y WSNs, también se podría utilizar otra banda de frecuencia propietaria permitida en OSA (por ejemplo: Banda de TV), a esta la llamaremos Banda Primaria (PB), en donde la aceptación de los

dispositivos WLAN y WSN son permitidos siempre y cuando los usuarios de la PB no sean interferidos.

Para el uso de OSA, los dispositivos WSN y WLAN se denominan usuarios secundarios (SU) de la banda licenciada (PB) del sistema primario, por lo que los dispositivos se denominan usuarios primarios (PU). Para esto, la disponibilidad de canales a utilizar en la PB para ser utilizado por cada dispositivo WSN y WLAN va a depender de la asignación de la frecuencia en los PU.

La cantidad de canales disponibles para el funcionamiento de las WSN y WLAN se definen como C_{ISM} para los canales de la banda ISM y C_{PB} para los canales de la banda primaria. La cantidad total de canales a utilizarse para el escenario va a ser $C_{ISM} + C_{PB}$.

Para el escenario en estudio, el modelo de pérdida de propagación de las señales transmitidas y recibidas por ciertos dispositivos está definida por (4), elegida bajo el análisis de [20]:

$$L(\mathbf{dB}) = L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

3.2 Modelamiento de los canales de banda licenciada y no licenciada.

Para el escenario de red propuesto, el sistema de la banda primaria considera canales con 5 MHz de ancho de banda, las WLAN que utilizan 22MHz y las WSNs con 6MHz, como se muestra en la figura 3.4. El uso de la banda licenciada y no licenciada para el escenario se muestra en la figura 3.5

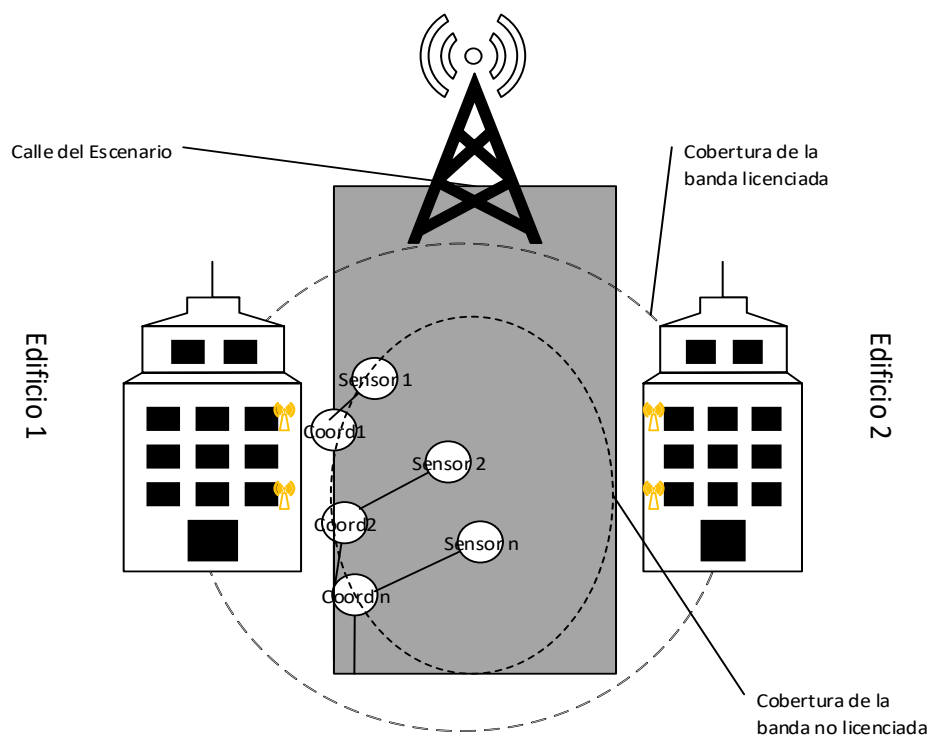


Figura 3.5: Cobertura de la Banda Licenciada y No Licenciada

3.3 Métricas que permiten medir el desempeño de los dispositivos

Para evaluar el algoritmo propuesto es necesario definir métricas adecuadas que permitan inferir el comportamiento del escenario, mostrando indicadores acordes a lo que se pretende resolver.

Una de las métricas a considerar por parte de los dispositivos WSNs es la capacidad de canal, con esto se logra asegurar uno de los factores

importantes dentro de un escenario lleno de interferencias. Para esto, el cálculo de la capacidad de canal que posee cualquier dispositivo viene dado por la siguiente expresión:

$$CC_i = B \log_2(1 + SINR_i) \quad (2)$$

Donde CC_i representa la capacidad de canal del coordinador C_i en bps; B , es el ancho de banda medido en Hertzios; y, $SINR_i$ constituye la relación de señal a ruido más interferencia medida en el coordinador C_i ; y, se calcula de la siguiente manera[]:

$$SINR_i = \frac{Pr_{S_i C_i}}{\sum_{j=1, j \neq i}^N I_{S_j C_i} + \sum_{l=1}^K I_{AP_l C_i} + Ruido} \quad (3)$$

siendo $Pr_{S_i C_i}$ la potencia recibida en el coordinador C_i desde el sensor S_i , como se puede apreciar en la Fig. 3.5. El factor $\sum_{j=1, j \neq i}^N I_{S_j C_i}$ representa las interferencias provenientes de otros sensores $S_j; j \neq i$; y, $\sum_{l=1}^M I_{AP_l C_i}$, corresponde a las interferencias que provienen de los APs. Estos casos de interferencias ya fueron indicados en la sección anterior. Finalmente, el término Ruido, representa el piso de ruido en el receptor.

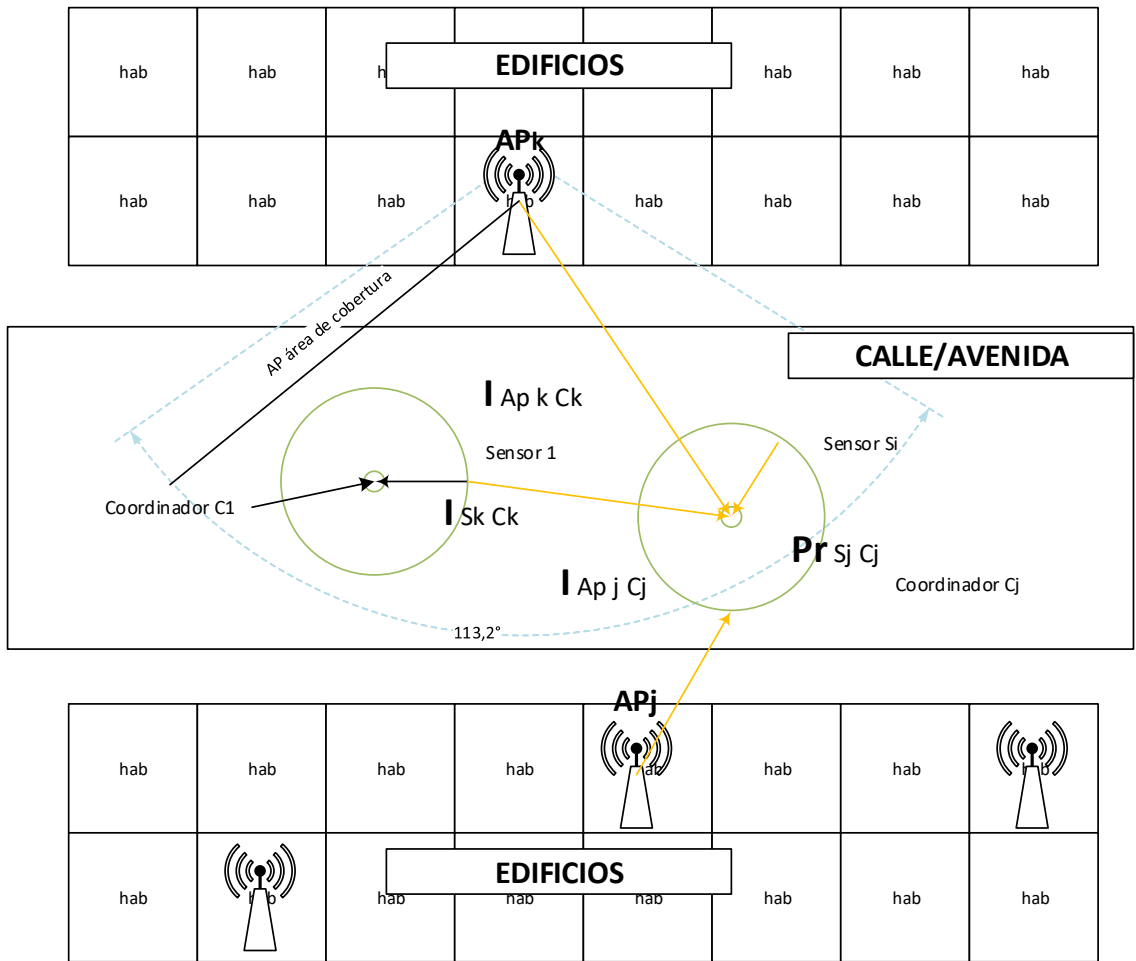


Figura 3.6: Interferencias entre una pareja de Coordinador vs Sensor

Otra métrica utilizada para medir el desempeño de las WSNs en el escenario propuesto es la factibilidad, esta consiste en determinar el porcentaje de dispositivos WSN coordinadores desplegados en el escenario, que pueden igualar o superar un cierto nivel de capacidad de canal umbral CC_{th} previamente establecido. El porcentaje factibilidad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Fact}(\%) = \frac{\text{Coordinadores con } CC_i > CC_{th}}{\text{Total de Coordinadores}} * 100 \quad (3)$$

CAPITULO 4

4. ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN

Existen varios mecanismos para la asignación de canales, entre esos están los óptimos, con los que se logran obtener niveles aceptables de desempeño, utilizando un recurso alto de cálculos y procesamiento y otros que utilizan técnicas como por ejemplo Maximización, estos son un poco más livianos con respecto a la cantidad de operaciones o cálculos que se realizan, debido a la elección en este caso del máximo, antes de proceder a realizar los cálculos.

Para la resolución de estos tipos de problemas es necesario realizar la formulación matemática que permita mostrar de manera formal el planteamiento del problema, definiendo los parámetros a considerar para efectos de resultados.

4.1 Formulación matemática del algoritmo de optimización para asignación de canales con osa.

Para el escenario propuesto, definiremos las variables presentes indicando en detalle su utilización para el planteamiento del algoritmo. El escenario propuesto consta de una red de sensores y dispositivos WLANs desplegados de manera aleatoria, en esta intervienen un conjunto de coordinadores, de los cuales los representaremos por: $C(i) = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_N\} \forall i \in (1, 2, 3, \dots, N)$. Para los APs del escenario, la representación a utilizar será $AP(l) = \{AP_1, AP_2, AP_3, \dots, AP_k\} \forall l \in (1, 2, 3, \dots, k)$, en donde k representa a la cantidad de elementos AP. Para

cada coordinador, la Capacidad de Canal está representada por $CC(i) = (CC_1, CC_2, CC_3, \dots, CC_N) \forall i \in (1, 2, 3, \dots, N)$. El conjunto de canales que utilizaremos está representada por $Ch(j) = (Ch_1, Ch_2, Ch_3, \dots, Ch_M) \forall j \in (1, 2, 3, \dots, M)$.

Además, se define un parámetro que permite medir que tan factible es el algoritmo óptimo, esto es CC_{th} que define la capacidad umbral (threshold) que posee cada coordinador. El mecanismo propuesto compara la capacidad del canal que posee cada dispositivo con el valor de CC_{th} , con el fin de determinar los dispositivos factibles dentro del escenario. En base a estos cálculos, es posible utilizar una función de utilidad que permita evaluar el desempeño de cada Coordinador en base a la Capacidad de Canal (CC) que posee, para esto, es necesario utilizar una función de utilidad la cual es expresada mediante la ecuación (4), esta ecuación representa una función sigmoidea con valores entre cero y uno, y asigna valores de utilidades mayores a los coordinadores que sobrepasan el umbral CC_{th} y valores menores cuando sean inferiores al valor umbral CC_{th} , entre los valores posibles, para casos de coincidencia con el umbral el valor se lo define en 0.5; donde $u_{i,j}$, indica la utilidad del coordinador C_i cuando opera en el canal j ; CC_{ij} es la capacidad del coordinador C_i cuando opera en el canal j ; CC_{th} , es la capacidad del canal umbral; q es una variable equivalente al valor umbral de comparación y S la pendiente.

Los mecanismos de asignación de canales propuestos, utilizan la función utilidad descrita y funciona seleccionando los canales de operación para cada coordinador dentro del escenario, posteriormente calcula la utilidad total U_T de cada canal (5) por coordinador, con la finalidad de maximizar la sumatoria de utilidades de todos los coordinadores del escenario, de acuerdo a la expresión (6)

$$u_{i,j} = \begin{cases} 1 - (1 - q) \cdot e^{-s(CC_{ij} - CC_{TH})}; & CC_i > CC_{TH} \\ q \cdot e^{s(CC_{ij} - CC_{TH})} & ; \text{ otros casos} \end{cases} \quad (4)$$

$$U_T = \sum_{i=1}^N u_{i,j} \quad (5)$$

$$\text{Maximize } U_T \quad (6)$$

4.2 Descripción del funcionamiento del algoritmo optimo planteado.

Para el desarrollo del problema planteado como lo es el diseño de mecanismos de optimización, su resolución se basa mediante una aplicación conocida como simulated annealing (SA), esta consiste en realizar grandes cantidades de iteraciones. El algoritmo SA, es una técnica de optimización heurística que permite simular el proceso de recocido de los metales, esto es, aumentar/disminuir la temperatura para que en el momento de enfriamiento gradual se pueda alcanzar estados de energías bastante bajos y así eliminar defectos estructurales. A, medida que aumentamos la cantidad de iteraciones el algoritmo trata de llegar al resultado óptimo. El algoritmo SA, es utilizado como referencia superior para desarrollo de otros mecanismos de asignación de canales. En cuanto a la temperatura utilizada por SA, a medida que aumenta el algoritmo

puede explorar puntos lejanos en el espacio de la búsqueda, logrando encontrar soluciones que no favorecen a mejorar la utilidad. En el caso contrario, cuando la temperatura se enfría, el SA permite valores que se aproximan a la solución y por ende favorece a la utilidad.

Para el presente trabajo se realiza una evaluación de la utilidad del escenario con una temperatura inicial, cabe indicar que no es una temperatura real, su valor es utilizado para efectos de simulaciones del mecanismo a desarrollar. El valor que se utiliza debe seleccionarse en base a pruebas e iteraciones, con esto se logra visualizar el comportamiento del algoritmo.

Otro de los valores que posee el algoritmo es la tasa de enfriamiento CR, con valores entre cero y uno. Este valor a utilizar se multiplica por la temperatura para hallar la nueva temperatura de la iteración que sigue. Con valores cercanos a uno, aumenta la cantidad de iteraciones, esto genera demoras en los cálculos, caso contrario con valores cercanos a cero los cálculos disminuyen. Con esto logramos “enfriar” o “calentar” el proceso dependiendo del valor que utilicemos.

Para el diseño del mecanismo de optimización, cabe indicar que se utiliza valores muy altos de iteraciones basados en un algoritmo Simulated Annealing, siendo favorable utilizarlo como un mecanismo heurístico utilizando los valores adecuados.

Para el escenario propuesto se utilizará el algoritmo SA, esto es siempre y cuando uno de los dispositivos no cumplan con las restricciones definidas como lo es la capacidad de canal permitida para operar dentro del escenario, en el cual están desplegados gran cantidad de pares de sensores operando sobre la banda ISM y PB de ser necesario.

Para la resolución del escenario propuesto se utiliza un algoritmo distribuido, el cual consiste en que cada coordinador realice cálculos de manera separada sin poseer un ente central de control que le facilite la información del resto de pares de sensores y de los canales utilizados, para esto inicialmente disponemos del escenario desplegado de manera aleatoria, se realizan los cálculos de interferencias presentes en cada canal ISM por parte de los dispositivos WSNs y WLANs, luego de esto analizamos la utilidad generada en cada canal utilizando la fórmula (4), esto indica que la función de utilidad depende de la capacidad de canal de cada coordinador y del total de su utilidad permitida en ese canal. Al obtener dichos valores, se procede a mapear las preferencias del canal con los valores de utilidad, empleando una función de asignación de canal probabilística, con esto se logra maximizar la utilidad total en el canal y obtener capacidades de canal más altas para los coordinadores. En la figura 4.1 se muestra el pseudocódigo del algoritmo SA.

El funcionamiento del algoritmo SA es de la siguiente manera: en cada coordinador C_i se le asigna los canales de manera aleatoria, en este caso

constituyen los canales operativos iniciales que serán sujeto a cambios, adicionalmente se define los valores para T_0 , CR y ϵ . Luego de esto se empieza a dar valores de para que el bucle *while* entre en funcionamiento, el cual inicia con $i=1$; y tiene las condiciones de parada definidas por la cantidad de iteraciones N_{max} , por la convergencia del algoritmo para que pueda ser seleccionado el mejor canal en caso de encontrarse y por alcanzar la temperatura mínima T_{min} . Luego de esto se selecciona el coordinador c_i , para el cual buscaremos un nuevo canal j que se adecuado para ser asignado al coordinador, para esto se utiliza el proceso de selección conocido como canal candidato.

Para el cálculo del canal candidato con probabilidades de ser asignado al coordinador, evaluamos las utilidades $U(i)$ generadas por cada uno de los canales operativos iniciales y $U(j)$, la utilidad del nuevo canal j . El nuevo canal será aceptado siempre que: $\delta = U(i) - U(j) < 0$, en caso contrario, si el canal disminuye la utilidad, podría ser aceptado con una probabilidad que depende de la magnitud del cambio y la temperatura de operación T .

La probabilidad que se utiliza para elegir uno de los canales viene dado por: $\Pr[\delta, T] \leq e^{-(\delta T)}$. Adicionalmente se considera el caso en que las utilidades son similares, se aceptará el cambio a través de la probabilidad en donde el factor E y la temperatura T , $\Pr[\delta, T] = e^{-(\delta T)}$.

Datos:	Temperatura T_0 , CR , ϵ , C_i , $N_{i_{max}}$, T_{min} , Ch_j
Resultados:	maximize $[\sum_{i=1}^N u_{i,j}]$
1.	Definir $T=T_0$, CR , ϵ , C_i , $N_{i_{max}}$, T_{min}
2.	Iniciar con $i=1$
3.	while BUCLE criterio de parada si no es encontrado
	;Verificar if N_{max} , T_{min} , o alcanzó la convergencia
4.	C_i ; Coordinador i es seleccionado
5.	; obtener nuevo canal candidato j : para $C_{i,j}$
6.	Calcular $\delta = U(i) - U(j)$
7.	if $\delta < 0$ then
8.	$i=j$;
9.	elseif $\delta > 0$
10.	if random $[0,1] \leq e^{-(\delta T)}$ then
11.	$i=j$;
12.	end(10)
13.	elseif $\delta = 0$ then
14.	if random $[0,1] \leq e^{-(\epsilon/T)}$ then
15.	$i=j$;
16.	end(14)
17.	end(7)
18.	Agregar $C_{i,j}$ a matriz de canales
19.	Actualizar $T = CR.T$ e iteraciones Ni
20.	If $i=N$ then
21.	$i=1$;
22.	end(20)
23.	end(3)

Figura 4.1: Pseudocódigo del Algoritmo Simulated Annealing

CAPITULO 5

5. EXPERIMENTACIÓN Y ANALISIS DE DATOS

5.1 Configuración del sistema para funcionamiento del algoritmo planteado.

En esta sección se muestran los valores a utilizar por el algoritmo propuesto. Para el escenario se utilizan 2 bloques de edificios, cada edificio consta de 2 pisos cada uno con una altura de 5 metros, con 3 divisiones de habitáculos cada piso. La tabla 5.1 muestra los valores que posee el escenario en estudio.

Parámetro	Valor
Ancho del Edificio (b3)	10
Largo del Edificio (b2)	15
Altura del Edificio (b1)	10
Altura del Habitáculo	5
Ancho de la calle (a1)	5m
Largo de la calle (a2)	15m
BWz	2 MHz
Δf	5MHz
$\Delta \omega$	5MHz
BWz	22MHz
PIRE APs	-10dB
PIRE WSNs	-30dB
Piso de Ruido	-120dBm

Tabla 5.1: Parametros del Escenario Propuesto

Los parámetros utilizados por el algoritmo óptimo para los cálculos de los escenarios se muestran en la Tabla 5.2.

Descripción	Valor
Punto medio de la función de utilidad, q	0.5
Pendiente de la función de utilidad, s	35
Constante ϵ	1×10^{-2}
Número de canales WSNs	16
Número de canales WLAN	11
Temperatura mínima, T_{min}	1×10^{-5}
Cooling Rate, CR	0.9
Máximo Número de Iteraciones, Ni_{MAX}	30000

Tabla 5.2: Parámetros del Algoritmo Óptimo

5.2 Evaluaciones de desempeño del algoritmo planteado

Para lograr evidenciar las ventajas del algoritmo planteado, en esta sección se muestran los resultados obtenidos a partir de los datos de la Tabla 5.1 y 5.2, estos se los obtiene mediante simulaciones y se utiliza como herramienta de software Matlab, instalado en una maquina Dell Latitude Corei7 de 2.8GHz y 6 GB de RAM para los dispositivos WSN y AP operando en la banda ISM de 2.4GHz.

El presente trabajo analiza el comportamiento de las WSNs frente a diferentes situaciones que se presentan en el escenario, entre esas los niveles de interferencias del cual afectan el rendimiento de cada uno de los dispositivos WSNs.

Para realizar los cálculos en el escenario, la distribución de los dispositivos WSNs se lo hace de manera uniforme, para el caso de los dispositivos WLAN la ubicación de los APs se los realiza en el centro de cada habitáculo, estos dispositivos son habilitados por cada nivel dependiendo de la necesidad de generar mayor interferencia en el escenario.

Para la evaluación del mecanismo a utilizar, la gráfica 5.1 muestra las curvas de capacidad de canal promedio en Kbps para el mecanismo propuesto. Se puede evidenciar que al aumentar la cantidad de dispositivos la capacidad de canal promedio disminuye

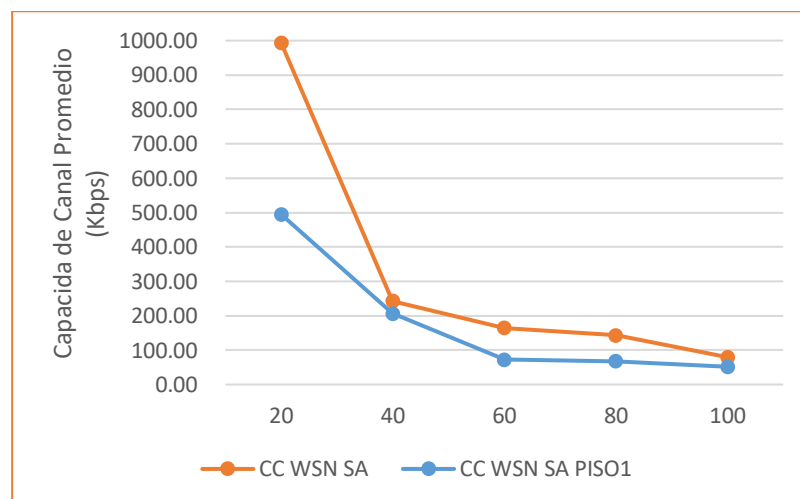


Figura 5.1: Capacidad de Canal Promedio utilizando el algoritmo Simulated Annealing

5.3 Comparación del algoritmo planteado con otros algoritmos

conocidos

Para la comparación con el algoritmo planteado, se ha utilizado el algoritmo Max, que consiste en obtener el canal con máxima capacidad disponible, para esto el procesamiento para lograr los resultados

esperados demandan de una capacidad de procesamiento que depende del dispositivo que lo vaya a realizar. Esto es útil para una cantidad pequeña de dispositivos, pero al momento de usar con grandes cantidades el tiempo aumenta. A continuación, se muestra la figura 5.2 con valores que alcanzan los dispositivos WSNs.

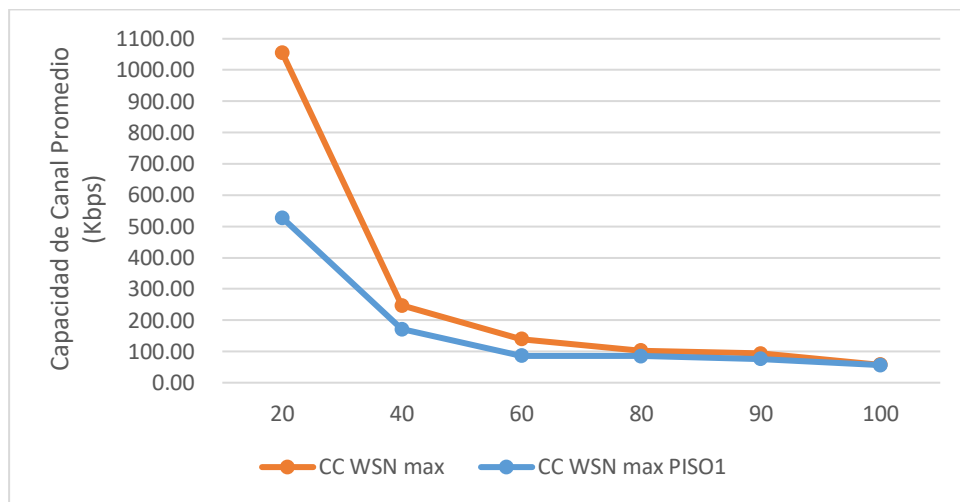


Figura 5.2: Capacidad de Canal Promedio utilizando el algoritmo MAX

La figura 5.3 muestra la diferencia entre ambos algoritmos. En el grafico podemos observar que existe una mejora en los valores utilizando el algoritmo Simulated Annealing, para este caso se utilizó 3 canales de la banda primaria.

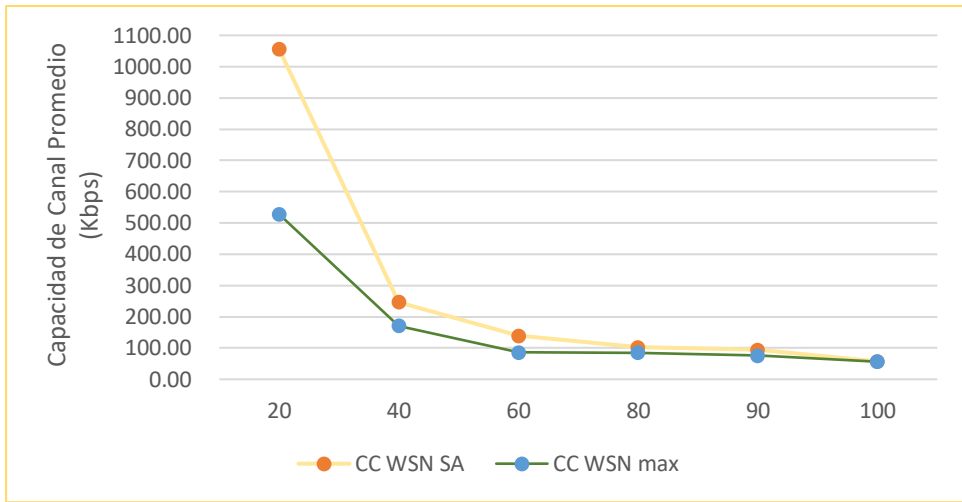


Figura 5.3: Comparación de ambos algoritmos

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente trabajo tiene como finalidad aportar en la resolución de problemas de escasez canales de la banda no licenciada ISM, utilizando una alternativa diferentes frente a las ya utilizadas por la comunidad científica.
- El uso del mecanismo propuesto pretender evitar la dependencia de entidades centrales que puedan ser inaccesibles por los dispositivos que deseen operar en alguna aplicación en particular sobre un determinado espacio de trabajo.
- La utilización de OSA en la banda de TV, propone una alternativa utilizable debido a la similitud del ancho de canal de las WSNs con la de UHF, además constituye una ventaja en la utilización de Internet de las cosas.
- Los modelos de probabilidad constituyen un aporte para resolver problemas de asignación de recursos, una alternativa a la opción de cálculos computacionales que son de mayor costo en la implementación.
- Este análisis constituye un aporte esencial para utilizar sistemas distribuidos que aprendan del ambiente debido a la escasez de recursos.

- El análisis realizado a través de cálculos se apega a la realidad debido a parámetros que podemos variar en el momento de realizar análisis en tiempo real con dispositivos.

REFERENCIAS

- [1] T. Stuart, A. Young y A. Noronha, «What Do Consumers Want from Wi-Fi? Insights from Cisco IBSG Consumer Research,» Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), Mayo 2012.
- [2] FCC Lab, «Report on Trends in Wireless Devices,» [En línea]. Available: www.fcc.gov/oet/info/documents/reports/wirelessdevices.doc.
- [3] H. Anwar y S. Hossein , «Department of Computer Science ETH,» [En línea]. Available: http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/hanwar_wintech14.pdf.
- [4] NETSCOUT® Systems, Inc., «El Impacto De Las Redes Inalámbricas 802.11ac En Los Técnicos De Redes,» [En línea]. Available: <http://enterprise-es.netscout.com/edocs/white-paper-impact-80211ac-wireless-networks-network-technicians>.
- [5] Recommendation ITU-RR 5.138- 5.150, [En línea]. Available: www.itu.int.
- [6] Mahalin, Nur & H. S. Ari'ffin, Sharifah & A Rashid y Rozeha, «2.4GHZ ISM band congestion: WLAN and WPAN performance analysis,» 2009. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/277852496_24GHZ_ISM_band_congestion_WLAN_and_WPAN_performance_analysis.
- [7] C. F. Chiasserini and R. R. Rao, «Coexistence mechanisms for interference mitigation in the 2.4-GHz ISM band,» in *IEEE Transactions on Wireless Communications*,» *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 2, nº 5, pp. 964-975, Sept. 2003.
- [8] Paúl O, Rojas Vargas y Andrés Rojas Araujo, «Incidencia de la Televisión Digital Terrestre en las estaciones televisivas ecuatorianas,» Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8984/1/AC-MGR-ESPE-048290.pdf>.
- [9] V. R. Petty et al., «"Feasibility of Dynamic Spectrum Access in Underutilized Television Bands," 2007 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks,» Dublin,, 2007.
- [1] Ming-Ju Ho, M. S. Rawles y M. Vrijkorte and L. Fei, «RF challenges for 2.4 and 5 GHz WLAN deployment and design,» *WCNC 2002 (Cat. No.02TH8609)*, *2002 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Record*, vol. 2, pp. 783-788, 2002,.
- [1] Digi-Key Electronics, «Is 5 GHz the Promised Land for Embedded Wireless Applications?,» 1] Febrero 2013. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2013/feb/is-5-ghz-the-promised-land-for-embedded-wireless-applications>.
- [1] F. Novillo, H. Galena y R. Ferrus, «Spectrum Availability in Indoor Locations for Opportunistic Spectrum Access In Dense Urban Scenarios,» *IEEE 69th*, pp. 1-5, 2009..

- [1 F. Novillo y R. Ferrus, «Channel Assignment Algorithms for OSA-Enable WLANs Exploiting
3] Prioritization and Spectrum Heterogeneity,» *IEICE TRANS. COMMUN*, vol. 1 de 2 , nº 4, pp.
1125-1134, 2012.
- [1 W. Stallings, «"IEEE 802.11:Wireless LANs from a to n",» *IT Professional*, 6, 32-37, 2004.
4]
- [1 de *A survey of dynamic spectrum access: Signal Processing and networking perspectives*,
5] 2007.
- [1 J. Mitola, «Cognitive radio - model-based competence for software radios,» KTH,
6] Stockholm , Septiembre 1999.
- [1 F. Novillo, M. Churchman, R. Ferrus y R. Agusti, «A channel allocation algorithm for OSA-
7] enabled IEEE 802.11 WLANs,» *International Symposium on Wireless Communication
Systems*, pp. 468-472, 2009.
- [1 A. Garhwal y P. Pratim Bhattacharya, «A Survey on Dynamic Spectrum Access techniques
8] for Cognitive Radio,» vol. 3, nº 4, 2011 December.
- [1 S. Chiochan, E. Hossain y J. Diamond, «Channel assignment schemes for infrastructure-
9] based,» *Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, nº 1, pp. 124-136, First Quarter
2010.
- [2 J. M. Torres, Á. Pinto-Mangones, M. R. Macea, N. A. Pérez García y L. Marlan Rujano,
0] «Modelo para la estimación de las Pérdidas de Propagación en redes WLAN operando en
2.4GHz y 5.8 GHz, para ambientes interiores de edificios comerciales,» *UUNIVERSIDAD,
CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, vol. 20, nº 78, pp. 42-53, 2015.
- [2 M. Acosta Herrera, «<http://repositorio.ug.edu.ec>,» 2016. [En línea]. Available:
1] <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18256/1/Tesis%20Michael%20Acosta%20Herrera%202016.pdf>. [Último acceso: 14 Septiembre 2019].
- [2 F. Soriano Barzola y D. Urriola Estrada, «<http://repositorio.ug.edu.ec>,» 2015. [En línea].
2] Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/88690/D-84626.pdf>. [Último acceso:
14 Septiembre 2019].
- [2 C. Herrera Cáceres, «<http://repo.uta.edu.ec>,» Mayo 2017. [En línea]. Available:
3] <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25541/1/Carlos%20Herrera%20Tesis.pdf>.
[Último acceso: 14 Septiembre 2019].