

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“GESTIÓN DE CARGA EN SISTEMAS DE MULTI-ACCESOS  
INALÁMBRICOS”**

**TESINA DE SEMINARIO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**Ronnie André Castro Fernández**

**Gabriela Andrea Lemos Herrera**

Guayaquil – Ecuador

2014

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la fortaleza que me ha brindado para continuar frente a todas las adversidades que se han colocado en el camino.

A mis padres Gustavo y Graciela por ser la base de mi vida que con su ejemplo de dedicación y responsabilidad me han guiado hasta este punto.

A mis hermanas Gisela y Grace que con su carisma y amor han luchado para hacerme entender que la vida es una sola y que la verdad siempre prevalecerá ante todo.

También agradezco a mi querido José que con paciencia ha sabido caminar a mi lado durante este periodo importante de mi vida, dándome el apoyo necesario para continuar.

De igual manera agradezco a mi compañero Ronnie por haber aceptado compartir este momento importante de nuestra existencia.

**Gabriela Andrea Lemos Herrera**

Agradezco a mi Dios porque a través de su infinito amor ha permitido que pueda llegar hasta aquí, le doy gracias a mi padre porque su existencia ha sido mi aliento y mi razón de luchar, le agradezco a mi madre por sus tiernos cuidados y sus cálidas oraciones que siempre han bendecido mi vida, le doy gracias a mi dulce Karla por ser mi tierno refugio, mi eterno apoyo y mi ángel de la guarda. También quiero agradecer a mi amiga y compañera de proyecto por su esfuerzo y paciencia durante todo este tiempo.

**Ronnie André Castro Fernández**

## DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo a mis padres por saberme guiar con gran amor y espíritu de lucha, son ellos con su ejemplo quienes me han inculcado que se debe luchar hasta el final de la batalla, que jamás hay que rendirse si se pelea con la verdad.

**Gabriela Andrea Lemos Herrera**

Este trabajo se lo dedico a mis padres que siempre estuvieron apoyándome en todo momento y a mi familia, que son la razón por la cual he logrado llegar a este punto en mi vida.

Dedico este trabajo a toda mi familia pero en especial a cuatro seres que son lo más valioso en mi vida, a mi Dios por mostrar una vez más su fidelidad y gracia inmerecida, a mis padres por su inagotable amor y a mi Karla por su incansable apoyo.

**Ronnie André Castro Fernández**

## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**PhD. FRANCISCO NOVILLO**

PROFESOR DEL SEMINARIO  
DE GRADUACIÓN

---

**ING. JORGE GÓMEZ**

PROFESOR DELEGADO POR  
LA UNIDAD ACADÉMICA

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesina de seminario, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Gabriela Andrea Lemos Herrera

---

Ronnie André Castro Fernández

## RESUMEN

Actualmente los sistemas de comunicaciones inalámbricos disponen de una cantidad limitada de recursos radio (e.g. ancho de banda, potencia de transmisión, etc.), se vuelve importante definir mecanismos que permitan utilizar estos recursos de una manera eficiente para mantener la calidad en el funcionamiento del sistema. Dado lo antes expuesto, en la presente tesis se presenta un mecanismo de gestión de carga, empleando la técnica probabilística simulated annealing (SA), el cual se basa de la solución provista por un análisis de niveles de señales recibidas y un mecanismo de asignación de costos que se realiza para cada uno de los múltiples accesos inalámbricos que dispone un dispositivo móvil. En resumen, el objetivo principal de éste trabajo es obtener un acceso o conjunto de accesos operativos con un nivel de carga balanceada, que permita minimizar el costo total de operatividad del sistema sujeto a mantener la capacidad de canal por encima de cierto umbral.

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de un algoritmo de balanceo de carga que permita a los sistemas gestionar sus múltiples accesos con el fin de mantener tasas de transmisión elevadas y ofrecer una buena calidad de servicio pese a limitaciones de ancho de banda y condiciones adversas de propagación que caracterizan al canal de radio.

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>III</b>
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>DECLARACIÓN EXPRESA</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1 Descripción del Problema .....	1
1.2 Objetivo General .....	3
1.3 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación del Proyecto.....	4
1.5 Estructura de la Tesina.....	7

CAPÍTULO 2 .....	9
<b>ESTADO DEL ARTE DE SISTEMAS RADIO .....</b>	<b>9</b>
2.1 Redes Wi-Fi .....	9
2.1.1 Estándares que Certifica Wi-Fi.....	10
2.1.2 Descripción de Solapamiento Canales Wi-Fi.....	10
2.1.3 Sensibilidad en Sistemas Wi-Fi.....	11
2.2 Redes UMTS .....	12
2.2.1 Características de las Redes UMTS.....	14
2.3 Canal Inalámbrico .....	16
2.3.1 Efectos Del Canal .....	19
2.4 Relación Señal a Ruido en Sistemas Wi-Fi y 3G.....	20
2.5 Capacidad de Canal.....	21
2.5.1 Canal de Información.....	22
2.5.2 Teorema de Shannon.....	22
2.6 Modelos de Propagación.....	22
2.6.1 Modelo de Propagación en Interiores.....	23
2.6.2 Modelo de Propagación en Exteriores.....	25
2.7 Balanceo de Carga .....	26
2.7.1 Políticas y Toma de Decisiones en el Equilibrado de Carga .....	27
2.7.2 Tipos de Balanceo de Carga .....	28
2.7.3 Balance de Carga Estático.....	28
2.7.4 Balance de Carga Dinámico.....	28
2.7.5 Métodos de Balanceo de Carga .....	29
CAPÍTULO 3 .....	32

<b>MODELADO DEL ESCENARIO.....</b>	<b>32</b>
3.1 Definición del Escenario de Planificación .....	32
3.2 Modelo de Señales .....	35
3.3 Modelos de Propagación.....	39
CAPÍTULO 4 .....	43
<b>ALGORITMO PROPUESTO.....</b>	<b>43</b>
4.1 Planteamiento del Problema .....	44
4.2 Formulación del Problema .....	46
4.3 Descripción del Algoritmo.....	49
4.4 Pseudocódigo .....	52
CAPÍTULO 5 .....	56
<b>EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL ALGORITMO .....</b>	<b>56</b>
5.1 Parámetros de Configuración.....	56
5.2 Análisis de los Resultados .....	58
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES.....	67
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>

## ABREVIATURAS

AGCSMI	Algoritmo de Gestión de Carga para Sistemas Multi-acceso Inalámbricos
AP	Puntos de acceso
CC	Capacidad de Canal
CR	Control Remoto
dB	Decibelios
DM	Dispositivo Móvil
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International Communication Union
MCCR	Min Max Power
MF	Frecuencia mediana
Mw	mili watts
PDA	Asistente Personal Digital
PCS	Sistema de comunicación personal
RDM	Random
RTT	Tecnologías de Transmisión de Radio

SA	Simulated Annealing
SNR	Relación Señal a Ruido
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
$U_w$	micro watts
VLF	Frecuencia muy baja
WCDMA	Acceso múltiple por división de código de banda ancha
Wi-Fi	Wireless-Fidelity

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1. Estructura de la Tesina.....	8
Fig. 2.1 Solapamiento de canales en la banda 2.4GHz [21].....	11
Fig. 3.1. Escenario de Estudio. a) Vista Transversal, b) Vista tridimensional.....	34
Fig. 3.2. Modelo de señales e interferencias recibidas en el DM.....	38
Fig. 4.1. Esquema de Funcionamiento del Sistema. ....	45
Fig. 4.2. Pseudocódigo del algoritmo Simulated Annealing.....	53
Fig. 5.1. Función de utilidad de cada mecanismo de asignación de accesos.....	61
Fig. 5.2. Capacidad de Canal entregada de acuerdo al mecanismo de asignación.....	62
Fig. 5.3. Capacidades de canal balanceada en los accesos WiFi y 3G mediante AGCSMI. ....	63
Fig. 5.4. Probabilidad de seleccionar el acceso 3G según el mecanismo de asignación. ....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidad de Transmisión de los estándares IEEE 802.11. ....	10
Tabla 2. Sensibilidad en estándar 802.11g (2.4GHz) [27]......	12
Tabla 3. Capacidad de velocidad de Trasmisión. ....	15
Tabla 4. Bandas de frecuencias y anchos de banda de canal UMTS-TDD [21]......	15
Tabla 5 Rango de frecuencias para las Telecomunicaciones [18] .....	18
Tabla 6. Atenuación de la señal dada por la ITU-R M1225 [22]......	25
Tabla 7. Medidas del modelado del escenario de simulación. ....	57

## INTRODUCCIÓN

La demanda de dispositivos móviles, que requieran transmisiones con un cierto nivel de calidad de servicio, han incrementado durante los últimos años, como es el caso de: los comunicadores de bolsillo o PDAs, teléfonos móviles, los drones, sistemas inalámbricos de monitoreo, sistemas informáticos móviles, sistemas de navegación de automóviles, equipos para educación a distancia, entre otros. Sin embargo muchos de estos dispositivos usan un acceso a la vez lo que les expone a problemas que puedan ocurrir en su radio enlace, como es el caso de elevados niveles de interferencia co-canal y canal adyacente debido a accesos simultáneos en bandas de uso compartido (i.e. ISM band) en donde el espectro de frecuencias de radio es limitado [1,2], lo que conlleva a una disminución de la capacidad de transmisión de los canales radio y coberturas de menor alcance. Por otro lado, dispositivos con canales de uso exclusivo (e.g. 3G) según [3] podrían aumentar la cobertura inalámbrica, pero sujetos a nuevos inconvenientes, tales como la optimización del consumo de energía en [4,5], o el coste de conexión a una infraestructura de red de pago lo que se podría derivar en problemas de incremento de costos operativos [6].

Una solución que se ha dado a estos problemas ha sido el proveer de múltiples accesos a cada dispositivo móvil, sin embargo el uso eficiente de los diferentes accesos crea un nuevo desafío en la comunidad científica ya

que de no hacerlo se mantendrían los problemas antes mencionados. En este contexto de múltiples accesos se han planteado algunas soluciones que permiten reducir costos operativos, aumentar el ahorro de energía, mantener un balanceo de carga, disminuir tiempos de ejecución y establecer niveles de calidad de servicio. Así por ejemplo en [6], se propone un mecanismo de control de potencia en sistemas inalámbricos para el estándar IEEE802.11e, que permite obtener capacidades de ahorro de energía y de calidad de servicio basado en teoría de juegos y la misma que es descrita en [7], como una herramienta para solucionar problemas como el uso ineficiente de la potencia de transmisión de los dispositivos móviles.

Para lograr una eficiente gestión de los requerimientos de gestión de carga (i.e. capacidad de flujo de datos), en [8] se define el balanceo de carga, como el encargado de distribuir de la manera más precisa y equitativa los trabajos y asimismo, los trabajos son la asignación de información que se transmite por un acceso dentro de un sistema. Como por ejemplo la capacidad de canal por la que se transmiten los datos en un canal de comunicación. Así en [9] se propone un algoritmo dinámico para balancear la carga, con el propósito de incrementar la eficiencia global de un sistema y reducir tiempos de ejecución mediante el uso de vectores de probabilidad y matrices adaptativas.

En la actualidad, el balanceo de la carga en los sistemas con múltiples accesos es uno de los principales temas de estudio en el ambiente científico ya que mediante este tipo de mecanismos se puede repartir el trabajo realizado entre varios procesos, ordenadores u otros recursos. La solución de balanceo de carga permite dividir las tareas que tendría que soportar un único dispositivo, con el fin de maximizar las capacidades de proceso de datos, así como de ejecución de tareas [10]. Según [9], gracias a los algoritmos de balanceo de carga se puede conseguir que el rendimiento global del sistema incremente considerablemente debido a la redistribución de las tareas de los accesos sobrecargados a aquellos que se encuentran con una carga ligera.

Por lo tanto, en esta tesis se propone un mecanismo de gestión de carga para un sistema con múltiples accesos inalámbricos, que permita minimizar el costo total de operatividad del sistema sujeto a mantener la capacidad de canal por encima de cierto umbral, con el propósito de obtener un acceso o conjunto de accesos operativos con un nivel de carga balanceada. Para esto se definen funciones de utilidad asociados a cada acceso, estas consideran algunos parámetros tales como potencia recibida, relación señal – ruido, capacidad de canal y los costos de las diferentes tecnologías. Estas utilidades por acceso establecen una función de utilidad total al sistema, la

misma que será maximizada mediante el uso de la conocida técnica probabilística de optimización llamada simulated annealing [11-13].

El desarrollo de esta tesis está estructurado en seis capítulos, los cuales están constituidos de la siguiente manera:

En el Capítulo I se desarrollaron aspectos que contribuyen a describir y justificar el problema, enmarcando dentro de ello el Planteamiento del Problema, los Objetivos de la investigación, la Justificación y la estructura de la tesina. El Capítulo II comprende el estado del arte, donde se describen los trabajos previos realizados sobre el problema de balanceo de carga y de la realidad contextual en la que se ubica, además de las definiciones y características de las redes Wi-Fi y 3G. En el Capítulo III se describe el modelado del escenario, a través del cual se fundamentó la investigación y las diferentes fases de la misma, concluyendo con la propuesta del modelo de balanceo de carga, objetivo de este estudio. En el Capítulo IV se presenta el algoritmo propuesto, su formulación matemática y descripción del mismo. En el Capítulo V se establecen la evaluación de desempeño del algoritmo y sus especificaciones para obtener los resultados de la investigación, el análisis, la interpretación de las gráficas y las características del modelo parametrizado. Seguidamente las conclusiones y recomendaciones, donde se resume los principales resultados y aportes

más significativos de la tesina, asimismo las recomendaciones formuladas como consecuencia del estudio realizado. Finalmente se indican las referencias bibliográficas, las cuales detallan el material consultado para el desarrollo de los antecedentes y las bases teóricas de la tesina de graduación.

## **CAPÍTULO 1**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Descripción del Problema**

El problema de balanceo de la carga se encuentra intrínsecamente relacionado con la planificación de los requerimientos y asignación de nuevos recursos en el sistema. Se ha identificado que el equilibrado de la carga es un problema fundamental para cumplir con niveles eficientes de calidad de servicio, de manera que la distribución de la carga debería encargarse de la gestión para múltiples accesos inalámbricos.

En esta actividad, parámetros tales como la atenuación de la señal, potencia recibida, capacidad de canal entre otros deben ser

monitoreados constantemente. Si los parámetros salen de los rangos respectivos, la estabilidad del sistema puede verse afectada negativamente. Mediante este estudio proponemos el diseño de un algoritmo heurístico de gestión de carga destinado al equilibrio de la misma dentro de sistemas con multi-acceso inalámbrico.

Hay varios retos para implementar un algoritmo de gestión y equilibrio de carga, en este trabajo de graduación nos enfocaremos en evaluar dos aspectos del proceso de transferencia de datos en sistemas de multi-acceso inalámbrico: la potencia recibida y la calidad del servicio. El primero es importante porque las redes inalámbricas son vulnerables a interferencias en el medio, por lo que la atenuación debida a varios factores como pueden ser por ejemplo, la distancia y obstáculos en el medio que producen alteraciones a la señal transmitida por un punto de acceso, afectan la señal recibida y con esto se afectan los parámetros a calcular ya antes mencionados. El segundo es importante para garantizar el servicio de transmisión de datos. Es decir, asegurar que el sistema transmita la información de una manera confiable, reduciendo los efectos de pérdida de paquetes en los accesos inalámbricos.

El objetivo de nuestro proyecto es diseñar un algoritmo de balanceo de carga dinámico para mejorar la disponibilidad, tiempo de ejecución, rendimiento y calidad de servicio en un sistema de multi-accesos inalámbricos. El sistema experimental consiste en un dispositivo móvil que mide las potencias recibidas en cada punto de acceso, estos se encuentran en edificaciones y son procesados a través del algoritmo de balanceo de carga para obtener los datos respecto a las métricas propuestas.

Las pruebas de simulación se realizarán en el programa MATLAB a varias escalas es decir con diferentes números de puntos de acceso, variación de escenarios, de manera que el procesamiento de los datos sea cercano a un valor óptimo.

## **1.2 Objetivo General**

El objetivo de este proyecto es desarrollar un algoritmo para gestión de carga de multi-accesos inalámbricos para poder ser implementado en un escenario modelo Manhattan y cuya finalidad principal es el balanceo de carga y la minimización de costos operativos en el sistema.

### **1.3 Objetivos Específicos**

- Definir una métrica de balanceo de carga.
- Mantener una calidad de servicio bajo la medición de parámetros como la capacidad de canal y la potencia recibida.
- Minimizar los costos operativos en el sistema.

### **1.4 Justificación del Proyecto**

En Ecuador, la gestión de llevar un proceso a cabalidad requiere urgentemente el balanceo de las tareas asignadas. Uno de los mayores problemas en las comunicaciones inalámbricas es la saturación de las redes debido al elevado número de tareas que llevan a cabo. Esto ocurre tanto durante la transmisión de datos como en la trayectoria que se propagan las señales, teniendo como consecuencia un desbalanceo de cargas dentro de un sistema.

Los algoritmos de balanceo de carga presentan múltiples ventajas, sin embargo su implementación en entornos urbanos no es de mucho interés debido a los efectos mencionados anteriormente y una de las ventajas que presenta el algoritmo a implementar, frente a otros

algoritmos, es el bajo costo de operación del sistema al utilizar enlaces inalámbricos. Además que, los puntos de acceso estarán desplegados de forma uniforme para disponer una amplia cobertura en los enlaces, de modo que si uno de los accesos presenta problemas de sobrecarga, la carga enviada deberá ser colocada en un acceso que cumpla con las restricciones del sistema y cumplir con el balanceo de carga. Con esta propuesta queremos alcanzar de manera eficiente los objetivos mencionados, razón por la cual se requiere el análisis de algunos parámetros que intervienen para la comparación entre sistemas inalámbricos.

El desarrollo de este proyecto es como consecuencia del elevado consumo de ancho de banda que ocurre durante la transmisión de datos, a mayor distancia se presenta mayor atenuación en el procesamiento de las señales, razón por la cual la pérdida de potencia en la estación receptora no presentará correctamente el trabajo que se ha designado, debido a que la carga es muy pesada y saturará los accesos. Es importante notar que en este tipo de comunicación se presenta interferencia que provienen de dispositivos Wi-Fi, Bluetooth, zigbee, teléfonos fijos inalámbricos, entre otros, que no permiten su detección de manera eficaz y la mayoría de estas son propias de la banda ISM 2.4 GHz, ya que es una banda no licenciada y permite el

acceso libre. Por ello es necesario un mecanismo que permita balancear la carga en sistemas de múltiples acceso inalámbricos. Un ejemplo real es la calidad de servicio dentro de una compañía de comercio electrónico como lo es Amazon, debido a su exposición directa en la web, es de alta importancia llevar un seguimiento de cada uno de los servicios que ofrecen a la población mundial y con ello crece la necesidad de tener un mecanismo remoto que permita mejorar el tiempo de ejecución en sus respectivas prestaciones.

Por lo tanto los resultados que se obtendrán son de carácter global, dado que su aplicación puede mejorar el rendimiento de sistemas con múltiples accesos inalámbricos. Al colocar un mecanismo de balanceo de carga en multi-accesos inalámbricos mejoraría el control operativo remoto en el sistema, reduciendo los costos para los usuarios y manteniendo la calidad en el servicio.

Finalmente mediante el desarrollo e implementación de un algoritmo en base a gestión de carga en sistemas de múltiples accesos inalámbrico se pretende disminuir el tiempo de ejecución e incrementar la eficiencia global del sistema utilizado, involucrando a ciencias como la computación y las telecomunicaciones que han avanzado significativamente y que ofrecen soluciones muy efectivas

tanto en funcionalidad como en rapidez para balancear la carga y llevar un control riguroso en este tipo de proceso.

### **1.5 Estructura de la Tesina**

El proyecto consiste en implementar un mecanismo de gestión de carga para sistemas de multi-acceso inalámbrico, el mismo que se encargará de reducir costos operativos en el sistema, balanceando la capacidad de canal en los accesos y además de proveer una eficiente calidad de servicio bajo parámetros de configuración que se calculan en el capítulo 5. Todo esto se llevará a cabo bajo el diseño de un algoritmo propuesto en el capítulo 4, el mismo que en primer plano se desarrolla como una formulación matemática y además se muestra el algoritmo con su respectivo pseudocódigo. El esquema de desarrollo de esta tesis es mostrado en la Fig. 1.1.

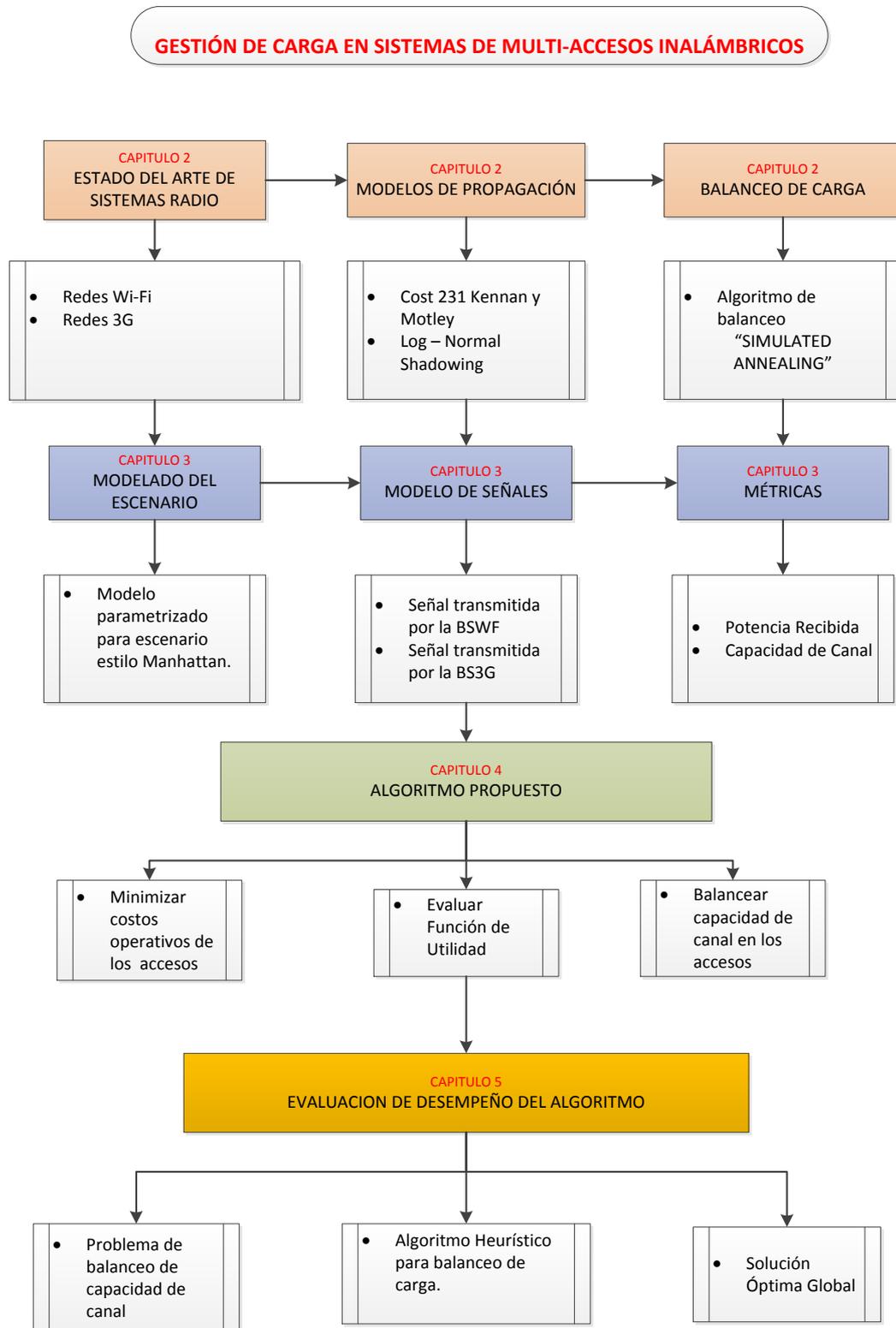


Fig. 1.1. Estructura de la Tesina.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTADO DEL ARTE DE SISTEMAS RADIO**

#### **2.1 Redes Wi-Fi**

Esta tecnología apareció por la necesidad de establecer un mecanismo de conexión en las redes inalámbricas con el usuario a una infraestructura de red no cableada, el mismo que fuese compatible entre distintos dispositivos [18]. Como lo define Rappaport en [29], la comunicación inalámbrica está disfrutando de su período de crecimiento rápido en la historia, debido a las tecnologías de apoyo que permitan el despliegue de amplia difusión.

### 2.1.1 Estándares que Certifica Wi-Fi

Según el estándar IEEE 802.11, los tipos de Wi-Fi aprobados se definen a continuación en la tabla 1. [29]:

Banda de Operatividad	Estándar IEEE	Velocidad de Transmisión
2.4 GHz	802.11 b	11 Mbps
	802.11 g	54 Mbps
	802.11 n	300 Mbps

Tabla 1. Velocidad de Transmisión de los estándares IEEE 802.11.

Es de suma importancia recalcar que en la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11a, conocido como Wi-Fi 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales libre de dispositivos y tecnologías interferentes. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y como su uso no tiene mayor acogida existen muy pocas interferencias. Su alcance es aproximadamente un 10% menor que el de los estándares que trabajan en la banda ISM 2.4 GHz, debido a que la frecuencia es mayor existe menor alcance.

### 2.1.2 Descripción de Solapamiento Canales Wi-Fi

En el rango de 2.4GHz, cada canal se separa del siguiente por 5MHz, sin embargo el ancho de banda para cada canal es de entre 22Mhz y 25MHz. Esto implica que el canal 1 se solapa con los 4 siguientes. Por

ejemplo, imaginémonos que el canal 1 comienza en la frecuencia 0MHz, el 2 en 5MHz y así sucesivamente. Según esto, en esta banda de frecuencias sólo existen tres canales sin solapamiento 1, 6 y 11 [21].

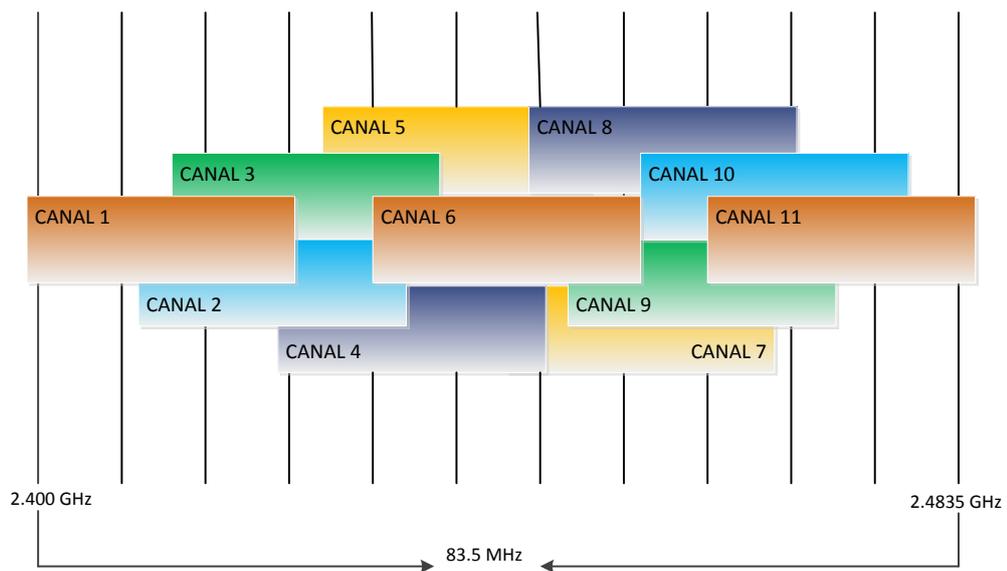


Fig. 2.1 Solapamiento de canales en la banda 2.4GHz [21]

### 2.1.3 Sensibilidad en Sistemas Wi-Fi

Se define en [27] que la sensibilidad del receptor es el nivel de potencia mínimo en la entrada del receptor de RF producido por un transportista en la nominal frecuencia del receptor, sin interferencias. Note que el nivel mínimo de señal recibida depende de la tasa de transmisión y a medida que el nivel de señal recibida disminuye, el radio reducirá la velocidad de transmisión intentando mantener la

estabilidad de la señal. La sensibilidad mínima del receptor no será inferior a los valores de referencia como se indica en la tabla 2.

PARÁMETRO	DATA RATE	Value for a FER < 10% at a PSDU length of 1000 bytes
<b>Rx Sensitivity 802.11g</b>	6 Mbit/s	- 82 dBm
	9 Mbit/s	- 81 dBm
	12 Mbit/s	- 79 dBm
	18 Mbit/s	- 77 dBm
	24 Mbit/s	- 74 dBm
	36 Mbit/s	- 70 dBm
	48 Mbit/s	- 66 dBm
	54 Mbit/s	- 65 dBm

Tabla 2. Sensibilidad en estándar 802.11g (2.4GHz) [27].

El nivel de sensibilidad de recepción es principalmente limitado por el ruido térmico. La sensibilidad del receptor consiste en el nivel de ruido sobre una sola portadora, donde se define la relación señal-ruido (SNR) en el receptor.

## 2.2 Redes UMTS

Sistema universal de telecomunicaciones móviles UMTS es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación,

sucesora de GSM. Sin embargo, la red UMTS no está limitada a estos dispositivos, de manera que puede ser utilizada por otros [21].

La motivación para la migración a tecnologías 3G fue desarrollar una norma internacional la combinación y la sustitución gradual de 2G digitales celulares, PCS, y datos móviles servicios. Se esperaba que los sistemas 3G para mejorar la calidad de la voz, ampliación de la capacidad de la red y aumentar las tasas de datos de los servicios de datos inalámbricos. La norma principal para los sistemas 3G se refiere como las telecomunicaciones móviles internacionales más allá del año 2000 (IMT-2000). Entre las diversas tecnologías de transmisión de radio (RTT) las propuestas presentadas ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la mayoría se basan en el uso de CDMA [18].

Dada la experiencia adquirida con los sistemas celulares 2G, se reconoció que los sistemas de CDMA proporcionan una calidad de voz superior a la de otros sistemas. Más aún, CDMA proporciona un diseño de interfaz de aire muy flexible y además susceptible de personalización para aplicaciones multimedia de mayor tasa [18].

### 2.2.1 Características de las Redes UMTS

Las características que ofrecen las redes UMTS sobre las redes de segunda generación 2G, son las siguientes [28]:

- **Facilidad de uso y bajos costos:** UMTS proporcionará servicios de uso fácil que sean accesibles de manera rápida y sin complicaciones, además que puedan satisfacer las necesidades y preferencias de los usuarios.
- **Nuevos servicios:** Los servicios mejorados que ofrece UMTS dan la posibilidad de conectarse a Internet desde un dispositivo móvil o desde un ordenador conectado con la tecnología UMTS y así mejorar la calidad de servicio para sus usuarios.
- **Acceso rápido:** La principal ventaja de UMTS sobre los dispositivos de segunda generación, es la capacidad de soportar elevadas velocidades de transmisión de datos en diferentes ambientes con esto se logra un acceso rápido y eficiente para los usuarios, tal como se muestra en la tabla 3.

<b>Velocidad de Transmisión</b>	<b>Lugar Determinado</b>
144 kbit/s	Vehículos a velocidad
384 kbit/s	Espacios abiertos (extrarradios)
7.2 kbit/s	Interior de edificios (baja movilidad)

Tabla 3. Capacidad de velocidad de Trasmisión.

Además en la tabla 4. que se muestra a continuación, establece las mínimas características en RF para los tres canales absolutos RF del sistema UMTS por división de tiempo en dúplex [21].

Nombre	Frecuencia (MHz)	Canales absolutos RF de UTRAN		
		1,28 Mcps	3,84 Mcps	7,68 Mcps
<b>IMT</b>	1900 – 1920	9504 – 9596	9512 – 9588	9512 – 9588
<b>IMT</b>	2010 – 2025	10054 – 10121	10062 – 10113	10062 – 10113
<b>PCS</b>	1850 – 1910	9254 – 9546	9262 – 9538	9262 – 9538
<b>PCS</b>	1930 – 1990	9654 – 9946	9662 – 9938	9662 – 9938
<b>PCS</b>	1910 – 1930	9554 – 9646	9562 – 9638	9562 – 9638
<b>IMT-E</b>	2570 – 2620	12854 – 13096	12862 – 13088	12874 – 13076
	2300 – 2400	11504 – 11996	–	–
	1880 – 1920	9404 – 9596	–	–

Tabla 4. Bandas de frecuencias y anchos de banda de canal UMTS-TDD [21].

### 2.3 Canal Inalámbrico

El canal es un término usado para referirse al medio de propagación entre el transmisor y el receptor. El medio en una transmisión puede ser guiado (cable) o sin guía (inalámbrico) y la comunicación se logra utilizando señales eléctricas, señales ópticas y ondas electromagnéticas (EM) [28].

En la transmisión inalámbrica, la transmisión y la recepción se logra utilizando antenas de transmisión ya sean estas direccionales u omnidireccionales. El transmisor envía una señal EM hacia el medio y el receptor capta la señal del medio que lo rodea.

La transmisión inalámbrica puede ser clasificada en tres grupos [28]:

- Ondas de Radio
- Microondas
- Infrarrojo

Para un conocimiento general, en la transmisión direccional el transmisor envía un rayo EM concentrado. El transmisor y receptor deben ser cuidadosamente alineados y mantener una línea de vista. Esta transmisión es mucha más apropiada para señales de frecuencias más altas [28]. Es necesario mencionar que en el caso de transmisión omnidireccional, el transmisor esparce la señal en todas las direcciones y estas señales pueden ser receptadas por varias antenas, este es el tipo de antenas que asumimos utilizar en el modelado del escenario que se presenta en el capítulo 3.

Como se explicó previamente, para poder lograr una transmisión inalámbrica se necesita del uso de antenas. Para nuestro caso hemos utilizado una estación base para un acceso 3G y además un dispositivo móvil que posee tres accesos Wi-Fi, por lo que la transmisión inalámbrica será a base de ondas radio.

Las ondas ionosféricas operan en el rango de frecuencias entre 2 y 30 MHz y son las denominadas banda MF. Debido a la propiedad de reflexión la propagación no es limitada por la curvatura de la tierra, al igual que las ondas terrestres, tiene un mayor alcance que puede llegar a ser intercontinental [22]. En la presente tabla 5 se puede

observar el rango de frecuencias de las telecomunicaciones para sus diferentes bandas.

<b>Etiqueta</b>	<b>Rango de Frecuencia Nominal</b>	<b>ITU- Región 2</b>
<b>HF</b>	3 - 30 MHz	
<b>VHF</b>	30 - 300 MHz	138-145, 216-225 MHz
<b>UHF</b>	300 - 1000 MHz	420-450, 890-942 MHz
<b>L</b>	1 - 2 GHz	1215-1400 MHz
<b>S</b>	2 - 4 GHz	2.3-2.5, 2.7-3.7 GHz
<b>C</b>	4 - 8 GHz	5.25-5925 GHz
<b>X</b>	8 - 12 GHz	8.5-10.68 GHz
<b>Ku</b>	12 - 18 GHz	13.4-14, 15.7-17.7 GHz
<b>K</b>	18 - 27 GHz	24.05-24.25 GHz
<b>Ka</b>	27 - 40 GHz	33.4-36 GHz
<b>R</b>	26,5 - 40 GHz	
<b>Q</b>	33 - 50 GHz	
<b>V</b>	40 - 75 GHz	
<b>W</b>	75 - 110 GHz	

Tabla 5 Rango de frecuencias para las Telecomunicaciones [18]

Para frecuencias mayores a las nombradas se necesita el modo de propagación de Línea de vista (LOS), ya que para estas frecuencias ninguno de los efectos previos nombrados son significativos. El modo de línea de vista significa que las antenas transmisoras y receptoras deben de estar ubicadas en un punto en el que ambas antenas puedan verse, tengan visión y además las ondas electromagnéticas viajan en línea recta [18].

Las ondas transmitidas pueden ser difractadas, refractadas, reflejadas o absorbidas por la atmósfera y materiales de obstrucción, y por lo general no pueden viajar a través de obstáculos.

### **2.3.1 Efectos Del Canal**

En un sistema de comunicación en el cual existe una línea de vista además de tener los efectos mencionados que ayudan en la transmisión, también existen impedimentos producidos por el canal inalámbrico. Estos impedimentos pueden ser por atenuación, pérdida por espacio libre, ruido, absorción atmosférica, entre otros. [28]:

El desvanecimiento de pequeña escala es una característica de la propagación que se utiliza para describir el cambio rápido de amplitud,

fase o retrasos de multicamino de una señal de radio en un período pequeño de tiempo o una distancia, de tal forma que se puede ignorar los efectos de pérdida de paso para grandes escalas. El desvanecimiento es causado por la interferencia de dos o más versiones de la señal transmitida que llegan al receptor en tiempos casi iguales [28].

#### 2.4 Relación Señal a Ruido en Sistemas Wi-Fi y 3G

Como métrica de alta importancia en nuestro diseño del algoritmo es necesario dar una breve definición de la relación Señal a ruido, la misma que se determina como la relación de potencia entre una señal y el ruido existente. Tanto la señal y la potencia de ruido deben ser medidos en el mismo o equivalente puntos en un sistema, y dentro del mismo ancho de banda del sistema [30]. Donde  $P_{rx}$  es la potencia de señal recibida y  $Noise$  es el ruido del canal como se muestra en la siguiente expresión.

$$SNR = Prx[ dB ] - Noise[ dB ] \quad (2.2)$$

La potencia  $P_{rx}$  de la señal desempeña un papel dual en la transmisión de información. Primero,  $P_{rx}$  está relacionada con la

calidad de la transmisión. Al incrementarse  $P_{rx}$ , la potencia de la señal, se reduce el efecto del ruido de canal, y la información se recibe con mayor exactitud, o con menos incertidumbre. Considerando que una mayor relación de señal a ruido  $S/N$  permite también la transmisión a través de una distancia mayor [31].

## 2.5 Capacidad de Canal

Se define a la capacidad de canal en [21] como: “Es la máxima velocidad de transmisión de datos que se puede alcanzar en un canal, se expresa en bps”. Esta es una métrica de alta importancia en nuestro algoritmo propuesto en el capítulo 4.

Hartley indica en [22] que la capacidad del canal  $CC$  es:

$$CC = B \log_2 \left( 1 + 10^{\frac{SNR}{10}} \right) \quad (2.3)$$

Dónde  $B$  es el ancho de banda del canal,  $CC$  es la capacidad del canal (tasa de bits de información bit/s) y  $SNR$  es la relación señal a ruido expresada en dB.

### **2.5.1 Canal de Información**

El estudio del canal de información se ocupa de evaluar y permitir administrar adecuadamente los recursos del canal físico. Usa como criterio de eficiencia la velocidad de transmisión de la información y la calidad con la que ésta es transportada. Su objetivo fundamental es preservar la integridad de la información mediante el uso de medios de codificación adecuados para la detección y corrección de errores [22].

### **2.5.2 Teorema de Shannon**

El teorema establece la capacidad del canal de Shannon, una cota superior que establece la máxima cantidad de datos digitales que pueden ser transmitidos sin error (esto es, información) sobre dicho enlace de comunicaciones con un ancho de banda específico y que está sometido a la presencia de la interferencia del ruido.

Para un ancho de banda dado, esta ley de Hartley-Shannon establece que si la SNR tiende a infinito, así lo hará la capacidad [22].

## **2.6 Modelos de Propagación**

Como se describe en [28] es necesario adoptar un modelo de propagación ya que ayuda a predecir el valor medio de señal o las

pérdidas generadas en la trayectoria entre un transmisor y un receptor según la distancia y otros factores que contribuyen a la pérdida de trayecto, como el perfil del terreno, presencia de edificaciones u obstáculos, alturas de antenas transmisoras y receptoras, frecuencia de operación, entre otras. Para explicación de nuestro proyecto se hace uso de modelos de propagación para interiores y exteriores, los mismos que se tratan a continuación.

### **2.6.1 Modelo de Propagación en Interiores**

La propagación en entornos interiores es un fenómeno muy complejo ya que hay bloqueos por paredes, suelos, techos, etc. Por esto existen tres modelos propuestos por COST 231 y para nuestro caso de estudio hemos seleccionado el Modelo COST 231 Keenan y Motley, el mismo que tiene en cuenta las atenuaciones de las paredes, pisos y techo, por lo que tiene una mayor exactitud en sus predicciones [17].

Para modelar las pérdidas de propagación entre un transmisor y un receptor situado dentro del mismo edificio, se utilizó el modelo descrito en [17], tal como se expresa en (2.4).

**Modelo COST 231 Keenan y Motley**

Desarrollado exclusivamente para propagación en ambientes interiores, es un modelo empírico que considera la pérdida en el espacio libre en conjunto con la pérdida adicional que se produce cuando la señal directa entre transmisor y receptor atraviesa diferentes paredes y pisos. Su aplicación requiere conocer un gran volumen de datos, y la atenuación de la señal se determina a través de [17]:

$$L(dB) = L_o + 10\gamma \log d + L_f N_f \left( \frac{L_f - 2}{L_f + 1} - b \right) + \sum_{j=1}^J N_{w,j} L_{w,j} \quad (2.4)$$

Dónde  $L_o$  es la pérdida de propagación a un (1) metro de la antena transmisora en dB,  $L_f$  es la pérdida de propagación de la señal a través de los pisos en dB,  $N_f$  es el número de pisos con las mismas características,  $L_{w,j}$  representa las pérdidas de propagación de la señal a través de paredes en dB,  $N_{w,j}$  es el número de paredes con las mismas características,  $b$  es un coeficiente de atenuación asociado a los pisos que la señal debe atravesar,  $J$  es la cantidad de tipos de paredes atravesadas por la señal.

De manera general, se ha comprobado que los valores de pérdidas de propagación para ciertos ambientes son los mostrados en la tabla 6.

Tipo de pérdida	Rango de atenuación (dB)
Pisos	3 – 27
Paredes	2 – 4
LW2	8 – 12
Ventanas	1 – 3
Pared de ladrillo con ventana	3.4
Suelo	18.7
De exterior a interior	37

Tabla 6. Atenuación de la señal dada por la ITU-R M1225 [22].

### 2.6.2 Modelo de Propagación en Exteriores

Para modelamiento de nuestro escenario, es necesario realizar una breve explicación de un modelo de pérdidas para ambientes exteriores, el mismo que es empleado en el capítulo 3. Como lo explican Laura Yépez y Manuel Gragirena, el modelo es simple, pero absorbe los efectos aleatorios de las sombras y multi-trayectorias que se producen para los distintos lugares de medición con la misma distancia entre el transmisor y receptor, pero con diferentes obstrucciones en el camino de propagación comparando con un valor de referencia [16].

#### **Modelo LOG-NORMAL SHADOWING**

Según Laura Yépez y Manuel Gragirena, es un modelo empírico que se basa en una referencia de las pérdidas a una distancia ya

establecida, y también es aplicable en entornos cerrados mediante factores de corrección. Utilizando el modelo descrito en [29], se calcula la pérdida de propagación entre un transmisor y un receptor en función de la distancia, tal como se expresa por:

$$PL(d) = PL(d_o) + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + X_\sigma \quad (2.5)$$

Donde  $PL(d)$  representa la potencia en función de la distancia,  $PL(d_o)$  es la potencia de referencia del enlace en dB cuando el receptor – transmisor está a una distancia de 1 metro,  $n$  es la variable de pérdida en el enlace debido al medio ambiente;  $d/d_o$  establece la distancia entre receptor y emisor en,  $X_\sigma$  es un proceso aleatorio siguiendo una ley log-normal y de desviación  $\sigma$  dependiente del entorno, que representa el grado de desvanecimiento de nivel de potencia presente en el medio ambiente expresada en dB [29].

## 2.7 Balanceo de Carga

Técnica usada para compartir el trabajo a realizar entre varios dispositivos. Está íntimamente ligado a los sistemas de multiprocesamiento, o que hacen uso de más de una unidad de

procesamiento para realizar labores útiles.

El balance de carga se mantiene mediante un mecanismo que divide de la manera más equitativa posible el trabajo, para así evitar la pérdida de cobertura para las señales inalámbricas transmitidas [18].

### 2.7.1 Políticas y Toma de Decisiones en el Equilibrado de Carga

La definición de un algoritmo de balanceo de carga consta de tres políticas propias y se explican a continuación: **la política de información**, que especifica la cantidad de carga necesaria para tomar las decisiones de reubicación de trabajo en los accesos; **la política de transferencia**, que especifica las condiciones bajo las cuales se transfiere una carga, por ejemplo, la cantidad de trabajo de un nodo en un momento determinado; y **la política de localización**, que engloba el estudio necesario para la asignación de trabajo a los diferentes accesos del sistema.

Las diferentes operaciones de equilibrado de la carga se pueden llevar a cabo de manera centralizada en un sólo elemento de proceso, o de manera distribuida entre todos los diferentes nodos de la red. En un entorno distribuido cada elemento de proceso tiene su propia imagen de la carga del sistema en cada momento [19].

### **2.7.2 Tipos de Balanceo de Carga**

Según [20], existen dos formas de balanceo de carga: balanceo de carga estático y balanceo de carga dinámico. En el primer caso, se conoce la cantidad de trabajo a realizar lo cual permite al dispositivo participar en la computación una vez que haya asignado una fracción del trabajo a cada acceso. El segundo caso, balanceo de carga dinámico es de mucha utilidad cuando la cantidad de trabajo es mayor que el número de accesos disponibles o cuando la cantidad de trabajo es desconocida al principio de la aplicación. A continuación se definen los tipos de balanceo de carga de mejor manera.

### **2.7.3 Balance de Carga Estático**

El balance de carga estático se caracteriza porque la distribución de las cargas de trabajo total se realiza con un conocimiento previo de la aplicación [20].

### **2.7.4 Balance de Carga Dinámico**

El balance de carga dinámico tiene como característica importante adaptarse a los cambios que se presenten en el sistema. El balance de carga dinámico es requerido para reducir los tiempos de ejecución de los trabajos, además de resolver problemas de optimización

combinatorial y en general problemas de paralelismo en que no se conoce de ante mano la naturaleza de los trabajos a paralelizar [20].

### **2.7.5 Métodos de Balanceo de Carga**

Los métodos de balanceo de carga como se describe anteriormente son estáticos y dinámicos, para cumplir con los requerimientos de balanceo de carga en nuestro sistema hemos optado por utilizar el método dinámico estocástico simulated annealing que ofrece más variedad en el control de la aleatoriedad en la redistribución de procesos. Con esto las mantenemos la calidad de señal y mejoramos el tiempo de ejecución que son de gran importancia al momento de balancear carga en una red [28].

#### **Método Simulated Annealing**

Es una potente técnica general para problemas de optimización combinatoria tales como minimización de funciones de varias variables inspirada en el recocido de cristales en física estadística [34]. La técnica es en esencia Monte Carlo lo cual simula los movimientos al azar de un conjunto de átomos que vibran en un proceso de calentamiento. Los átomos son más vibrantes a altas temperaturas que a bajas. El objetivo es llegar a una configuración de parámetros de energía baja óptima de los átomos a baja temperatura.

El algoritmo de recocido simulado pertenece a una clase de Algoritmos de búsqueda local comúnmente llamada Algoritmos de Umbral. En 1953 Metrópolis modeló el proceso de recocido: en cada paso del algoritmo se le da al átomo un desplazamiento azaroso y se mide el cambio de energía  $\Delta E$ . Si  $\Delta E \leq 0$  se acepta el desplazamiento. Si  $\Delta E > 0$ , se acepta el desplazamiento con probabilidad  $\exp(-\Delta E / T.K)$ , donde T es la temperatura del sistema y K es la constante de Boltzman [12,13].

### **Método Dimension Exchange (DE)**

El método Dimension Exchange pertenece a la clase de algoritmos nearest neighbor y es adecuado para implementar en una arquitectura de comunicación básica one port donde un procesador puede intercambiar mensajes con a lo sumo un vecino directo a la vez fue diseñado y estudiado intensamente para maquinas paralelas con estructura de hipercubo donde el balanceo procede iterativamente en dimensiones. En cada dimensión un procesador balancea su carga con su vecino que pertenece a esa dimensión. Una barrida (sweep) del proceso iterativo corresponde a ir a través de las dimensiones del hipercubo una vez. Dado que el conjunto de vecinos corresponde exactamente a las dimensiones del hipercubo el procesador habrá

comparado e intercambiado carga con cada uno de sus vecinos después de un sweep.

Cybenko mostró que independientemente del orden en que se consideren las dimensiones el método logra una distribución uniforme a partir de cualquier distribución inicial después de una ronda de operaciones de balanceo [32].

### **Método Balance Hidrodinámico**

Se trata de un método propuesto para el balance de carga dinámico heterogéneo basado también en la minimización de una forma de energía. El grafo que representa al sistema se ve como cilindros con líquidos conectados [35]. Cada nodo se asocia con un cilindro con líquido que representa la carga de trabajo alocada en él y hay un canal delgado que une los cilindros si existe una conexión entre los dos procesadores. La solución modela el flujo de líquido entre los cilindros. Es intuitivo que el balance global se logra cuando las alturas de las columnas de líquido son iguales. También es obvio que después de lograr el balance global no hay flujo de líquido entre los cilindros y el sistema se encuentra estable.

## **CAPÍTULO 3**

### **MODELADO DEL ESCENARIO**

En este capítulo, se analiza los niveles de señal recibidos por un dispositivo móvil multi-accesos que ha sido desplegado sobre un escenario urbano de elevada concentración de sistemas de radiocomunicación.

#### **3.1 Definición del Escenario de Planificación**

Para el análisis del presente trabajo se ha considerado un escenario urbano con alta densidad de edificaciones, donde se podría tener potencialmente una importante concentración de múltiples y diferentes sistemas de comunicación inalámbricos.

Por otro lado, sobre el escenario antes descrito un dispositivo móvil (DM) sigue una trayectoria a lo largo de una calle, para ello dispone de multi-acceso tales como Wifi, 3G, entre otros. Durante ese trayecto los múltiples accesos pueden ser objeto de múltiples interferencias provenientes de otros dispositivos ubicados dentro de las edificaciones (e.g. APs).

Además, para controlar la trayectoria del *DM* se dispone de un control remoto (*CR*) con los mismos múltiples accesos del *DM*, de manera que dependiendo de los niveles de interferencia que puedan existir entre el *DM* y *CR* se podría usar un acceso u otro.

Para representar este despliegue, en la Fig. 3.1 se muestra el escenario de estudio donde se encuentran  $nb$  edificaciones que han sido distribuidas a los costados de una avenida de largo  $a1$  y ancho  $a2$ , esta distribución densa de edificaciones está basada en un modelo Manhattan [14]. Dichas edificaciones de altura  $b1$ , ancho  $b2$  y profundidad  $b3$ , se encuentran separadas entre sí una distancia  $a3$ , distan  $a4$  respecto al borde de la avenida y poseen  $a5$  pisos, segmentados de forma tal que en cada piso se encuentra una cantidad  $b7$  de habitáculos, que tienen un ancho  $b4$ , longitud  $b5$  y altura  $b6$ .

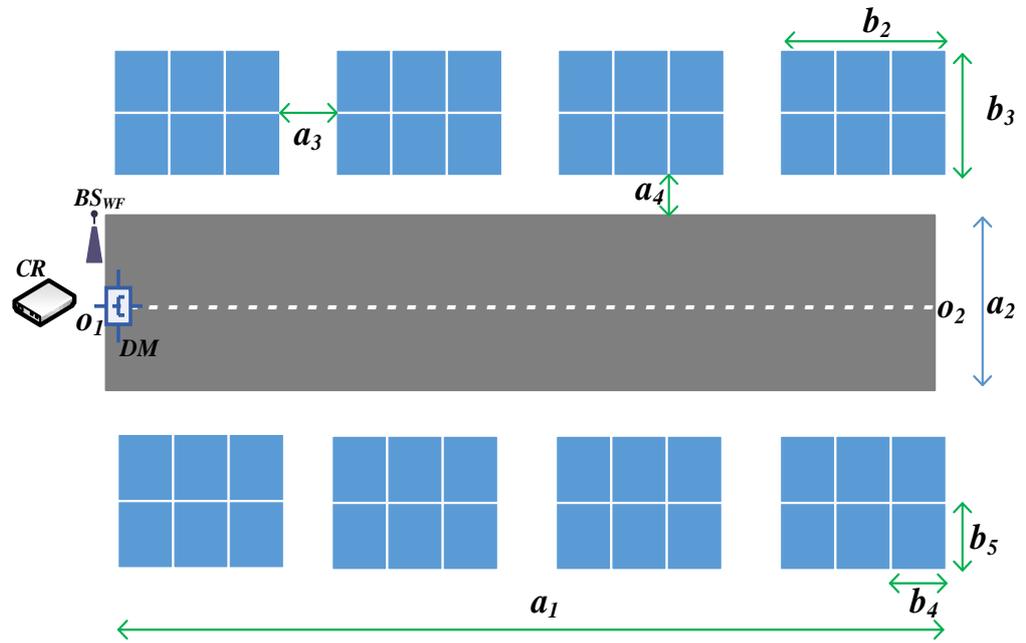


Fig. 1a)

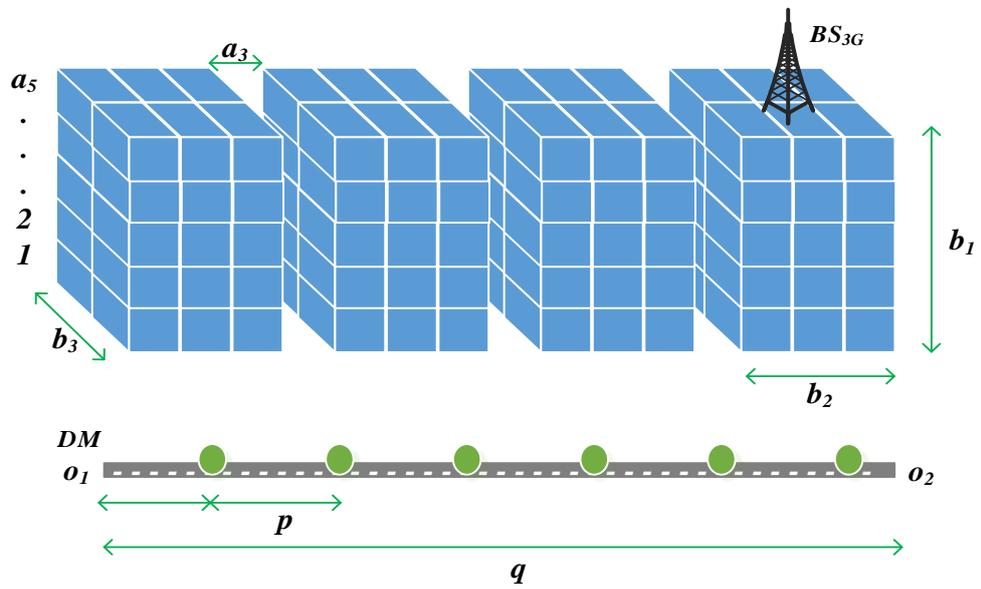


Fig. 1b)

Fig. 3.1. Escenario de Estudio. a) Vista Transversal, b) Vista tridimensional

DM está provisto de un número  $i+j$  accesos inalámbricos, y se desplazará una distancia total  $q$  dando pasos de tamaño  $p$  cuyo punto de partida se referencia como  $o1$  y el punto final como  $o2$ . En cada paso se realizará un análisis de interferencias para cada uno de los accesos del DM en relación a otros dispositivos desplegados en el escenario.

### 3.2 Modelo de Señales

Para este estudio en particular, se considera que el DM tiene  $i$  accesos tipo Wi-Fi y  $j$  de tipo 3G, los cuales mantendrán comunicación con sus estaciones bases BSWF y BS3G respectivamente, como se muestra en la Fig. 3.1.

Los niveles de señal que pueden ser percibidos en el DM desde cualquier otro dispositivo en el escenario pueden ser descritos de la siguiente manera:

**- Señal transmitida por la BSWF y recibida en el DM:** para cada uno de los  $i$  accesos de tecnología WiFi que dispone el DM, se puede calcular el nivel de señal recibida en el DM desde una  $BS_{wFi}$ , mediante la siguiente expresión:

$$P_{BS_{WF_i} \rightarrow DM_i} = P_{BS_{WF_i}} - L_{BS_{WF_i}, DM_i} - \Delta_{WF} \quad (3.1)$$

donde  $P_{BS_{WF_i}}$  es la potencia transmitida por la  $BS_{WF_i}$  en el acceso  $i$ ,  $L_{BS_{WF_i}, DM_i}$  es la pérdida de la señal desde la  $BS_{WF_i}$  al  $DM_i$  y  $\Delta_{WF}$  es un factor de pérdida debido a que los accesos  $i$  usan canales que pueden solaparse entre ellos.

**- Señal transmitida por la BS3G y recibida en el DM:** para cada acceso  $j$  de tipo 3G que posee el  $DM$ , el nivel de señal recibido en el  $DM$  para ese acceso se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$P_{BS_{3G_j} \rightarrow DM_j} = P_{BS_{3G_j}} - L_{BS_{3G_j}, DM_j} \quad (3.2)$$

siendo  $P_{BS_{3G_j}}$  la potencia de transmisión de  $BS_{3G_j}$  al acceso  $j$  y  $L_{BS_{3G_j}, DM_j}$  la pérdida de señal que existe entre  $BS_{3G_j}$  y  $DM_j$ . Los niveles de señal recibida en el  $DM$  se muestran en la Fig. 3.2.

Por otro lado dado que la banda en la que operan los accesos del *DM* de tipo Wi-Fi es de uso compartido, este puede ser interferido por los diferentes puntos de acceso APs que puedan estar distribuidos en los edificios a lo largo del trayecto del *DM*. Por consiguiente se considera relevante realizar un análisis de cuanto afecta esta interferencia al *DM*:

**-Interferencias desde dispositivos desplegados en zona urbana al *DM*:** el nivel de interferencia en cada acceso *i* recibido en el *DM* en el canal *k* desde cualquier *ap<sub>m</sub>* que emite señal en un canal *r*, se define de la siguiente manera:

$$I_{ap_m^r \rightarrow DM_i^k} = P_{ap_m} - L_{ap_m, DM_i} - \Delta_{r,k} \quad (3.3)$$

Donde cada *ap<sub>m</sub>* transmite a una potencia  $P_{ap_m}$ ,  $L_{ap_m, DM_i}$  es la pérdida de señal que existe desde *ap<sub>m</sub>* hasta *DM<sub>i</sub>* y  $\Delta_{r,k}$  es el factor de pérdida por solape de canal. De tal manera que este factor puede ser calculado con la siguiente expresión [17]:

$$\Delta_{r,k} = -10 \log \left( \max \left( 1 - 0.2|r - k|, 0 \right) \right) \quad (3.4)$$

Esta interferencia se puede observar en la Fig. 3.2, que se presenta a continuación:

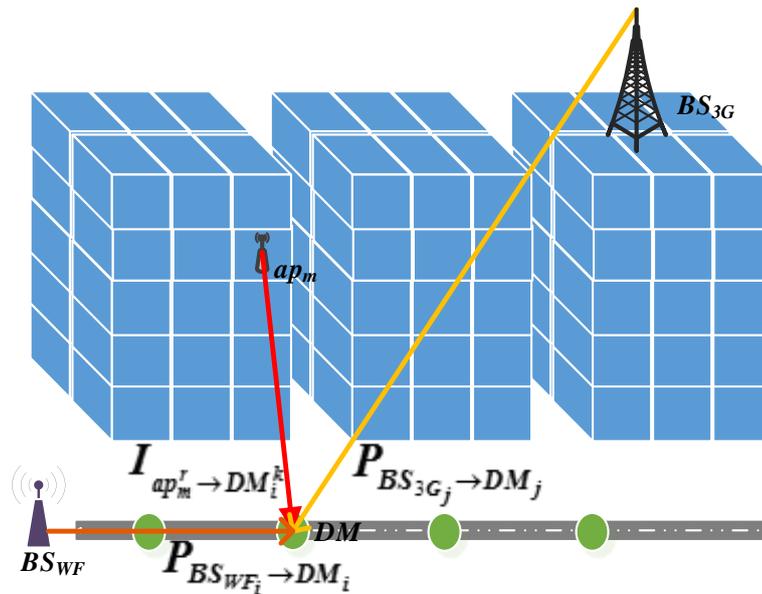


Fig. 3.2. Modelo de señales e interferencias recibidas en el DM.

Nótese que en el caso del acceso 3G, la interferencia que pudiesen ocasionar otros dispositivos al  $DM$  operando en este tipo de tecnología, no es considerada, dado que los niveles de potencia son controlados por la operadora, además que la banda que este sistema utiliza es de uso exclusivo.

Nótese también que para el presente trabajo, cada acceso  $i$  tiene asignado un canal sin solape dentro de la banda compartida, por lo tanto el factor  $\Delta_{WF}$  es igual a cero.

Además, se ha considerado que la pérdida de señal entre  $CR$  y  $BS_{WF}$  es despreciable y que la comunicación entre  $CR$  y la  $BS_{3G}$  es óptima.

### **3.3 Modelos de Propagación**

Con la finalidad de describir de mejor manera las pérdidas de radio propagación en escenarios interiores y exteriores en zonas urbanas en este trabajo se han usado varios modelos de propagación que permiten describir este fenómeno de forma muy aproximada. Por lo tanto, a continuación se presentan los modelos de pérdidas propagación utilizados, de acuerdo al tipo de transmisión.

#### **Pérdidas de propagación entre BS3G y DM**

Debido a que las estaciones bases se encuentran en localizaciones externas, el modelo de propagación a considerar solo toma en cuenta ese tipo de escenarios, así para estos casos se utiliza un modelo empírico de propagación, conocido como Log-Normal por desvanecimiento de sombra (Shadowing Path Loss Model) [16-17]. De

manera que la pérdida de señal entre una  $BS_{3G}$  y el DM se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$L_{BS_{3G_j}, DM_j} = L_o + 10\alpha \log d_{BS_{3G_j}, DM_j} + Shadow \quad (3.5)$$

Donde  $L_o$  es la pérdida de propagación a una distancia de un metro, en dB (calculada utilizando el modelo de pérdidas en el espacio libre) [17] definida como:

$$L_o = 10\alpha \log(41.9f) \quad (3.6)$$

De tal manera que  $f$  corresponde a la frecuencia de operación del sistema. Además  $\alpha$  es la pendiente de propagación dependiente de las condiciones del entorno,  $d_{BS_{3G_j}, DM_j}$  es la distancia desde la  $BS_{3G}$  al  $DM$ , y  $Shadow$  es la desviación estándar de pérdida debido al desvanecimiento por sombra que se obtiene de una variable aleatoria Gaussiana [17].

**Pérdida propagación entre el DM y la BSWF**

Dado que la comunicación entre la  $BS_{WF}$  y el  $DM$  se realiza en un escenario externo, el modelo de propagación utilizado es el mismo que para las pérdidas de propagación entre  $BS_{3G}$  y  $DM$  [16-17]. De modo que la pérdida entre  $BS_{WF}$  y el  $DM$  se define como:

$$L_{BS_{WF_i}, DM_i} = L_o + 10\alpha \log d_{BS_{WF_i}, DM_i} \quad (3.7)$$

Donde  $L_o$  es la misma usada anteriormente en la ecuación (3.6) y

$d_{BS_{WF}, DM}$  es la distancia de la  $BS_{WF}$  al DM.

**Pérdidas de propagación entre cualquier ap y el DM:**

Puesto que los puntos de accesos se encuentran desplegados al interior de los edificios, se debe considerar las pérdidas en los interiores y exteriores, es así que para determinar la pérdida de trayecto en ambientes interiores como exteriores entre cada apm y  $DM_i$ , se emplea el modelo de propagación COST 231 Kennan y Motley descrito en [17] de la siguiente manera:

$$L_{ap_m, DM_i} = L_o + 10\alpha \log d_{ap_m, DM_i} + L_{obs_{ap_m, DM_i}} \quad (3.8)$$

Donde  $L_o$  y  $\alpha$  definidos en la ecuación (3.6),  $d_{ap_m, DM_i}$  es la distancia de cada  $ap_m$  al  $DM_i$ , y  $L_{obs_{ap_m, DM_i}}$  es un factor de pérdida debido a los obstáculos que debe atravesar la señal interferente del  $ap_m$  hasta alcanzar al  $DM$ , de modo que:

$$L_{obs_{ap_m, DM_i}} = \sum_{floor=1}^{n_{floor}} L_{floor} + \sum_{wall=1}^{n_{wall}} L_{wall} + \sum_{window=1}^{n_{window}} L_{window} \quad (3.9)$$

Donde  $n_{floor}$  es la cantidad de pisos,  $n_{wall}$  es el número de paredes y  $n_{window}$  es el total de ventanas que debe atravesar la señal de cualquier  $ap_m$  hasta interferir con el  $DM_i$ . Los factores de pérdidas para paredes, pisos y ventanas corresponden a  $L_{floor}$ ,  $L_{wall}$  y  $L_{window}$  respectivamente.

## **CAPÍTULO 4**

### **ALGORITMO PROPUESTO**

En este capítulo, el dispositivo móvil será provisto de un mecanismo que le permita seleccionar sus accesos de manera eficiente tratando de solucionar los problemas de balanceo de carga y cumplir con niveles de calidad. El mecanismo calcula ciertas métricas basándose en los niveles de señal que percibe el dispositivo móvil en sus accesos, estas métricas proporcionan un valor de utilidad por cada acceso o combinaciones de accesos. La utilidad en conjunto con ciertas restricciones del sistema permiten asignar una probabilidad a cada acceso o combinaciones de accesos, luego empleando el conocido algoritmo de simulated annealing el mecanismo determinará el acceso o combinación de accesos con que opera el dispositivo móvil.

## 4.1 Planteamiento del Problema

Hoy en día, ciertos sistemas de comunicaciones requieren altos niveles de ancho de banda lo que representa un problema de carga, dado que no siempre un sólo acceso puede suministrar dicha demanda.

Adicionalmente hay que considerar que cualquier tipo de acceso con el que se opere puede presentar inconvenientes de degradación de señal por pérdidas en la trayectoria o debido a la saturación del canal causado por las interferencias de otros sistemas.

Por lo tanto, uno de los principales problemas que acarrear los sistemas de telecomunicaciones es el balanceo de carga sobre todos los accesos, de manera que se asegure la conexión, se mantenga el nivel de calidad de la comunicación y se evite centralizar toda la carga sobre un único acceso desaprovechando recursos.

Con el objetivo de encontrar una solución que satisfaga a tales demandas de calidad, en este capítulo se presenta un algoritmo de

balanceo de carga para sistemas multi-acceso inalámbrico el cual es esquematizado en la siguiente figura 4.1:

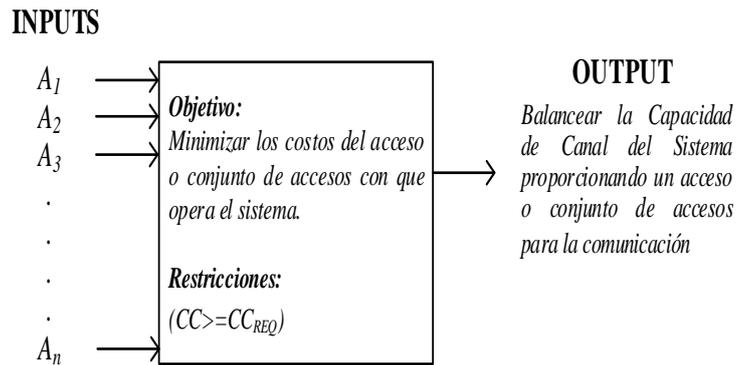


Fig. 4.1. Esquema de Funcionamiento del Sistema.

En esta figura se puede apreciar múltiples accesos ( $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ) que ingresan al sistema propuesto, este sistema asigna un costo a cada acceso o conjunto de accesos.

El sistema se encuentra configurado con el objetivo de minimizar los costos de cada acceso o conjunto de accesos con el que el sistema opere manteniendo la capacidad de canal del sistema ( $CC$ ) por encima de una capacidad de canal umbral ( $CC_{REQ}$ ).

El sistema proporciona como resultado un acceso o conjunto de accesos con un nivel de carga balanceada. Para lograr esta distribución de carga se usaron técnicas del conocido algoritmo de recocido simulado.

## 4.2 Formulación del Problema

Para formular este problema de manera matemática, se ha considerado que, el conjunto  $AP = \{ap_1, ap_2, \dots, ap_n\}$  corresponde a los  $n$  APs desplegados de manera uniforme dentro de los edificios, la posición de un  $ap_m$  cualquiera se define como  $pos(ap_m) = \{(x, y, z) / x, y, z \in \mathbb{R}\}$  y el canal  $r$  que emplea asignado dentro de los once canales de banda Wi-Fi, se denota por [18] :

$$ch(ap_m) = \{r \mid r = 1, 2, \dots, 11\}$$

En el caso del DM, el canal sin solape  $k$  usado por cada acceso  $i$  para comunicarse con su respectiva  $BS_{WiFi}$  es denotado como  $ch(DM_i) = \{k \mid k = 1, 6, 11\}$ , las coordenadas en un instante de su trayectoria son:  $tra(DM_i) = \{(x, y, z) / x, y, z \in \mathbb{R}\}$ . La posición de las estaciones bases BSWF y BS3G se definen por:

$$ubi_{BS_{WF}} \{(x, y, z) / x, y, z \in \mathbf{R}\} \quad \text{y} \quad ubi_{BS_{3G}} \{(x, y, z) / x, y, z \in \mathbf{R}\}$$

respectivamente, mientras la ubicación de CR es denotada por:

$$ubi_{CR} \{(x, y, z) / x, y, z \in \mathbf{R}\}.$$

En adelante se denotará como acceso  $g$  cualquier acceso que dispone el  $DM$ , ya sea Wi-Fi o 3G. Por lo tanto, basado en el modelo de señales analizado en la sección anterior en el  $DM$  las siguientes métricas pueden ser calculadas:

### **Potencia recibida**

Se ha definido la potencia que recibe un acceso  $g$ , como la relación entre el nivel de señal en cada acceso del  $DM$  representados por las ecuaciones (3.1) o (3.2) y el nivel total de interferencia  $IC_g$  que cada acceso percibe debido al despliegue de sistemas en banda compartida, también se ha añadido un parámetro aleatorio  $\delta$  con distribución normal como margen de protección [19] en el acceso, de modo que la potencia recibida en un acceso  $g$  puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_g = P_{ij} + \delta - IC_g \quad (4.1)$$

donde  $P_{ij}$  es el nivel de señal recibido en un acceso  $i$  o  $j$ , el cual puede ser (3.1) o (3.2), siendo además  $IC_g$  expresado del siguiente modo:

$$IC_g = \sum_{m=1}^n \rho_{r,k} \left( I_{ap_m^r \rightarrow DM_g^k} - S \right) \quad (4.2)$$

donde  $\rho_{r,k}$  ha sido definido en (3.5) y  $S$  es el nivel de sensibilidad para ese tipo de acceso, nótese también que para los accesos tipo 3G  $IC_g$  es cero debido a que su banda es de uso exclusivo.

### **Capacidad de Canal**

La Capacidad de canal por acceso  $g$  se define con la siguiente expresión:

$$CC_g = B \log_2 \left( 1 + SNR_g \right) \quad (4.3)$$

Tal que  $B$  representa el ancho de banda necesario para satisfacer el servicio de comunicación y  $SNR_g$  es la relación señal a ruido por acceso  $g$ , calculado mediante la expresión:

$$SNR_g = 10^{\frac{P_g - N_g}{10}} \quad (4.4)$$

siendo  $N_g$  el factor de ruido en el canal [20].

### 4.3 Descripción del Algoritmo

El algoritmo basa su decisión de asignación de accesos en una utilidad que refleje los efectos de costos de operatividad asociados a valores monetarios, niveles de potencia o capacidades de canal en los accesos.

A partir de las señales recibidas en el *DM*, la utilidad que puede ofrecer cada acceso, se define de la siguiente manera:

$$U_g = e^{-c} \left( w_1 \left( 1 - \left( e^{\frac{\min(S - P_g, 0)}{10}} \right) \right) + w_2 \max \left( \frac{(CC_g - CC_{REQ})}{(CC_g)}, 0 \right) \right) \quad (4.5)$$

donde el primer término relaciona la potencia recibida en el acceso  $g$  con el nivel de sensibilidad  $S$  para ese tipo de acceso y para proveer estabilidad se utiliza un coeficiente de suavización exponencial con un

valor bajo de 0.1 como se indica en [26], con el fin de disminuir cualquier ruido que pudiera presentarse en el sistema, este primer término es multiplicado por un ponderador  $w_1$ , el segundo término permite relacionar la capacidad de canal del acceso  $g$  con la capacidad de canal umbral requerida CCREQ por el sistema, tal como se observa en Fig. 4.1, este término es ponderado al ser multiplicado por  $w_2$ . Estos factores de ponderación permiten establecer cierta predominancia de una métrica sobre otra, tal que  $w_1+w_2=0.5$ . La suma de ambos términos es multiplicada por una función exponencial decreciente, de manera que a mayor costo económico de operatividad  $c$  corresponde una utilidad menor para el acceso  $g$ .

Por otro lado, dado que el *DM* puede operar con uno o varios accesos de manera simultánea, se define una utilidad total que denota la combinación de un acceso cualquiera con otros mediante la expresión:

$$U_{T_x} = \left( \sum_{g=1}^{n_c} \frac{U_g}{n_c} \right)^{n_c} \quad (4.6)$$

donde  $x$  es una de las  $n_x$  posibles formas de combinar a los accesos  $g$  del *DM* y  $n_c$  es el número de accesos  $g$  combinados. De tal modo que

la capacidad de canal total de cualquier combinación  $x$  de accesos  $g$  se define a continuación:

$$CC_{T_x} = \sum_{g=1}^{n_c} CC_g \quad (4.7)$$

Con el fin de seleccionar un acceso o combinaciones de ellos, se asigna a cada acceso o conjunto de accesos formado por su combinación, una probabilidad de selección mediante la siguiente expresión:

$$p_x = v1_x v2_x \frac{U_{T_x}}{\sum_{x=1}^{n_x} U_{T_x}} \quad (4.8)$$

siendo  $v1_x$  es un factor condicionante de la probabilidad  $p_x$  para aquellas combinaciones formadas por un solo acceso, tal como se define a continuación:

$$v1_x = \begin{cases} 0 & ; Si CC_{T_x} < CC_{REQ} \\ 1 & ; otros \end{cases} \quad (4.9)$$

así también,  $v2_x$  es otro factor que condiciona la probabilidad  $p_x$ , minimizando la posibilidad de uso de combinaciones compuestas por accesos que generan alto costo económico,  $v2_x$  está definido por la siguiente expresión:

$$v2_x = \begin{cases} 0 & ;Si CC_{g \text{ es WiFi}} > CC_{REQ} \\ 1 & ;otros \end{cases} \quad (4.10)$$

A partir de los valores de probabilidad  $p_x$  asignados a cada posible combinación  $x$ , se crea un vector de probabilidad acumulada  $pdf_x$ , del cual se selecciona probabilísticamente una de las  $n_x$  combinaciones de accesos, para proveer de una posible solución al sistema y empleando los criterios de aceptación del algoritmo simulated annealing, el *DM* obtiene una nueva asignación de accesos que cumplan con los requerimientos de calidad del sistema.

#### 4.4 Pseudocódigo

En la Fig. 4.2 se muestra el algoritmo que es ejecutado periódicamente en el *DM*, permitiéndole obtener la asignación de sus accesos balanceando; con el objetivo de cumplir con una capacidad

de canal requerida por el sistema, lo cual se logra maximizando la utilidad total calculada para cada acceso o conjunto de accesos mediante la técnica estocástica SA.

```

1. Set  $Ax \leftarrow Ax_0$  ; acceso inicial
   Set  $T \leftarrow T_0$  ; temperatura inicial
2. while número de iteraciones no es alcanzado
3.   Obtiene un nuevo acceso,  $Ax_0$  ;
4.   Compute  $\Delta U_{T_x} = U_{T_x}(Ax_0) - U_{T_x}(Ax)$ 
5.   if  $\Delta U_{T_x} < 0$  then
6.      $Ax = Ax_0$ ;
7.   elseif  $\Delta U_{T_x} > 0$  then
8.     if  $random[0,1] < e^{-\Delta U_{T_x}/T}$  then
9.        $Ax = Ax_0$ ;
10.    end_if
11.  end_if
12.  Update  $T = K \cdot T$  and número de iteraciones;
13. end_while

```

Fig. 4.2. Pseudocódigo del algoritmo Simulated Annealing

El funcionamiento del algoritmo es de la siguiente manera: Inicia asignando al  $DM$  un acceso  $Ax$  cuyo nivel de interferencia total percibido sea mínimo según (3.3), además es configurada la temperatura inicial  $T_0$  que emplea el algoritmo SA (línea: 1). Probabilísticamente se obtiene un posible nuevo acceso o combinación de estos  $Ax_0$  evaluando un valor entre (0~1) en el vector de probabilidad acumulada  $pdf_x$  (línea: 3). La decisión de mantener el acceso  $Ax$  o adoptar la posible nueva asignación de accesos  $Ax_0$  dependerá de la comparación entre utilidades  $\Delta U_{T_x}$  (línea: 4), donde  $U_{T_x}(Ax_0)$  denota la utilidad del nuevo acceso o de la combinación de accesos y  $U_{T_x}(Ax)$  representa la utilidad del acceso presente. Por lo tanto, si la utilidad se incrementa i.e.  $\Delta U_{T_x} < 0$ , se acepta al nuevo acceso o combinación (línea: 5-6). En el caso de que la nueva posible asignación disminuya la utilidad, se puede aceptar en base a una probabilidad que depende de  $\Delta U_{T_x}$  y el parámetro de temperatura actual  $T$  (línea: 7-9). Para otros casos, el acceso o combinación de accesos presente no cambia. El valor de temperatura  $T$  se actualiza en cada iteración a través de factor de enfriamiento  $CF$  y gradualmente disminuye, de manera que la probabilidad de aceptar una nueva

asignación de accesos que no mejoran la utilidad tiene la misma tendencia (línea: 12).

## **CAPÍTULO 5**

### **EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL ALGORITMO**

#### **5.1 Parámetros de Configuración**

En esta sección se evalúa el desempeño del algoritmo de gestión de carga para sistemas multi-acceso inalámbricos (AGCSMI) bajo un denso despliegue de APs. El algoritmo propuesto es comparado con otros dos mecanismos de asignación para sistemas con múltiples accesos: MCCR (Min-Max Power), donde la asignación de accesos que se obtiene se realiza a partir del acceso o conjunto de accesos con el mínimo nivel de potencia que cumpla con los requerimientos de capacidad de canal del sistema, y la asignación de accesos realizada

en forma aleatoria (RDM) que permite distribuir equilibradamente el uso de accesos de una forma probabilística simple.

Parámetro	Valor
Largo de la avenida, $a_1$	150 m
Ancho de la avenida, $a_2$	20 m
Espacio entre edificios, $a_3$	5 m
Pisos en cada edificio, $a_4$	15
Altura de edificios, $b_1$	75 m
Ancho de edificios, $b_2$	15 m
Profundidad de edificios, $b_3$	10 m
Ancho de cada habitáculo, $b_4$	5 m
Profundidad del habitáculo, $b_5$	5 m
Pasos del DM de tamaño, $p$	3 m
Desplazamiento total del DM, $q$	150 m
Accesos WiFi, $i$	3
Accesos 3G, $j$	1
Accesos totales, $g$	4
Pendiente de propagación, $\alpha$	3.5
Frecuencia de operación WiFi, $f$	2400 MHz
Frecuencia de operación 3G, $f$	1800 MHz
Factor de pérdida por piso, $L_{floor}$	3 dB
Factor de pérdida por pared, $L_{wall}$	3 dB
Factor de pérdida por ventana, $L_{window}$	1 dB
Sensibilidad para WiFi, $S$	-85 dBm
Sensibilidad para 3G, $S$	-95 dBm
Desviación estándar del desvanecimiento, $Shadow$	10 dB
Factor de Ruido del Canal, $N_g$	-103 dBm
Potencia de transmisión de acceso WiFi, $P_{BS_{WiFi}}$	20 dBm
Potencia de transmisión de acceso 3G, $P_{BS_{3G_j}}$	43 dBm
Factor de ponderación de potencia recibida $P_g, w_1$	0.1
Factor de ponderación de capacidad de canal $CC_g, w_2$	0.4

Tabla 7. Medidas del modelado del escenario de simulación.

Todas las evaluaciones se realizaron usando técnica de instantáneas periódicas en 100 iteraciones para los casos estilo Manhattan 200x200m<sup>2</sup> identificados en la sección II, dentro de esta área se consideran los parámetros de configuración que se muestran en la Tabla 7.

## **5.2 Análisis de los Resultados**

En el escenario inicial se han desplegado 480 puntos de accesos, en el cual los cálculos fueron realizados en 20 pasos y por cada paso 100 iteraciones. Con el fin de obtener una mayor probabilidad de aceptar un acceso o combinación de accesos con un costo mínimo, la Fig. 5.1 ilustra la utilidad máxima por cada paso como una solución óptima. Este resultado se encontró bajo los parámetros de entrada  $T_0 = 85^\circ$ ,  $CF=0.85$  de la técnica SA, para esto se comparan 3 mecanismos para el balanceo de carga, es decir el uso de accesos. El resultado muestra que el mecanismo AGCSMI tiene mejor utilidad promedio en aproximadamente del 27% frente a otros mecanismos de asignación de accesos, en comparación con MCCR aproximadamente 23% y RDM en 17%, además, conforme aumentan los pasos disminuye la probabilidad de una utilidad más alta, por lo que permite que el algoritmo requiera menos iteraciones para converger como se muestra en la Fig. 5.1. En consecuencia, la probabilidad del algoritmo SA

disminuye (i.e., la línea: 8 de la figura 4.), de modo que podría realizarse más iteraciones para encontrar mejores accesos.

La Fig. 5.2 ilustra la capacidad de canal que ofrecen los accesos de acuerdo al mecanismo que los asigna, cabe recalcar que tanto AGCSMI como MCCR cumplen con los requerimientos de calidad impuestos por el sistema  $CCREQ=150$  Mbps, sin embargo al realizar una asignación de accesos RDM puede ocurrir que no siempre se asigne al sistema accesos que ofrezcan una capacidad de canal por encima de la requerida, que en comparación con el mecanismo AGCSMI sólo cumpliría un 69% de la iteraciones con la capacidad de canal que se requiere. Los resultados obtenidos por AGCSMI son mejores en cualquier circunstancia que los obtenidos por los otros algoritmos. AGCSMI es más estable que los otros algoritmos para cambios en la capacidad de canal; esto también se puede observar en el porcentaje de utilidad promedio obtenido por AGCSMI en la Fig. 5.1 en la cual, la función de utilidad disminuye a una velocidad menor que los otros algoritmos.

La Fig. 5.3 representa la distribución de la capacidad de canal por acceso o combinación de accesos que se obtiene cuando un acceso Wi-Fi o 3G se encuentra dentro de la zona de cobertura en el recorrido

del DM. Durante la ejecución del mecanismo de asignación AGCSMI, a cada acceso se lo denota con un determinado color. En base a SA, los resultados obtenidos en la Fig. 5.3 muestran que el acceso 3G es el que más se utiliza, debido a que tiene mayor cobertura y las pérdidas por atenuación en las señales es menor respecto a los accesos Wi-Fi que por factores de interferencia y falta de cobertura sólo son elegidos para las zonas cercanas al DM. De tal manera que no se seleccionen los accesos con una capacidad de canal muy alta y se obtiene como solución óptima que el acceso que genere una capacidad de canal cercana a la requerida por el sistema  $CCREQ=150$  Mbps.

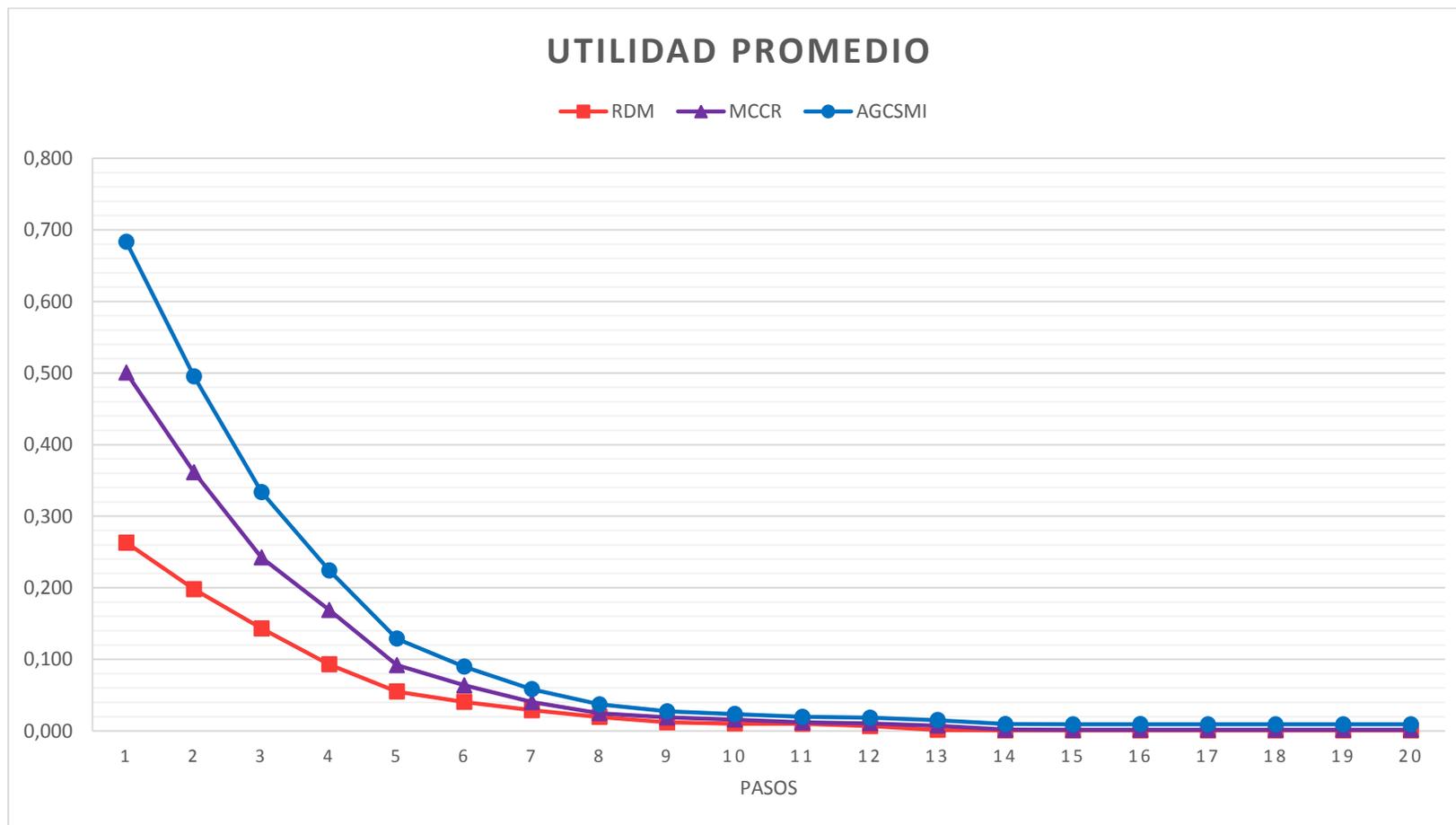


Fig. 5.1. Función de utilidad de cada mecanismo de asignación de accesos.

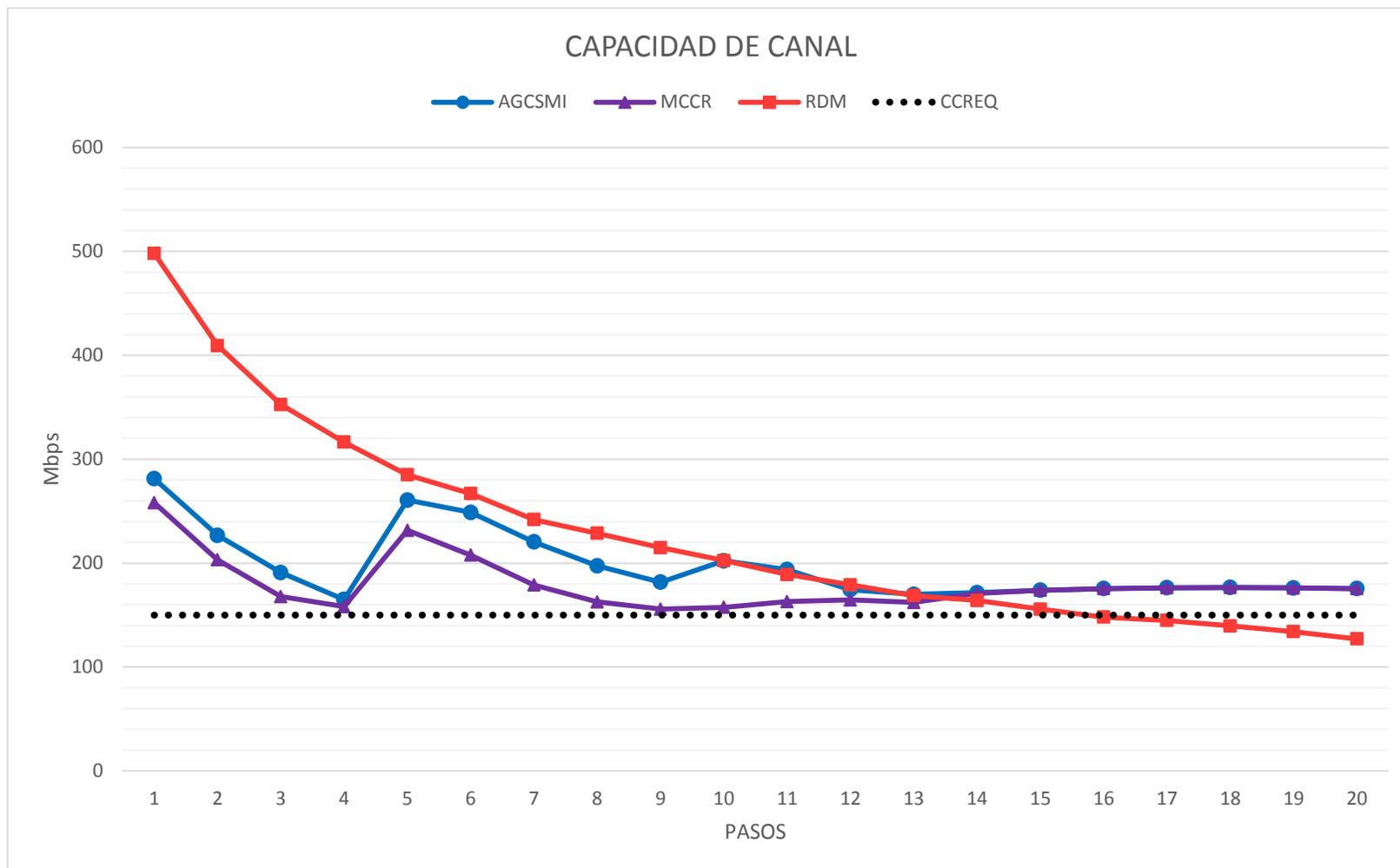


Fig. 5.2. Capacidad de Canal entregada de acuerdo al mecanismo de asignación.

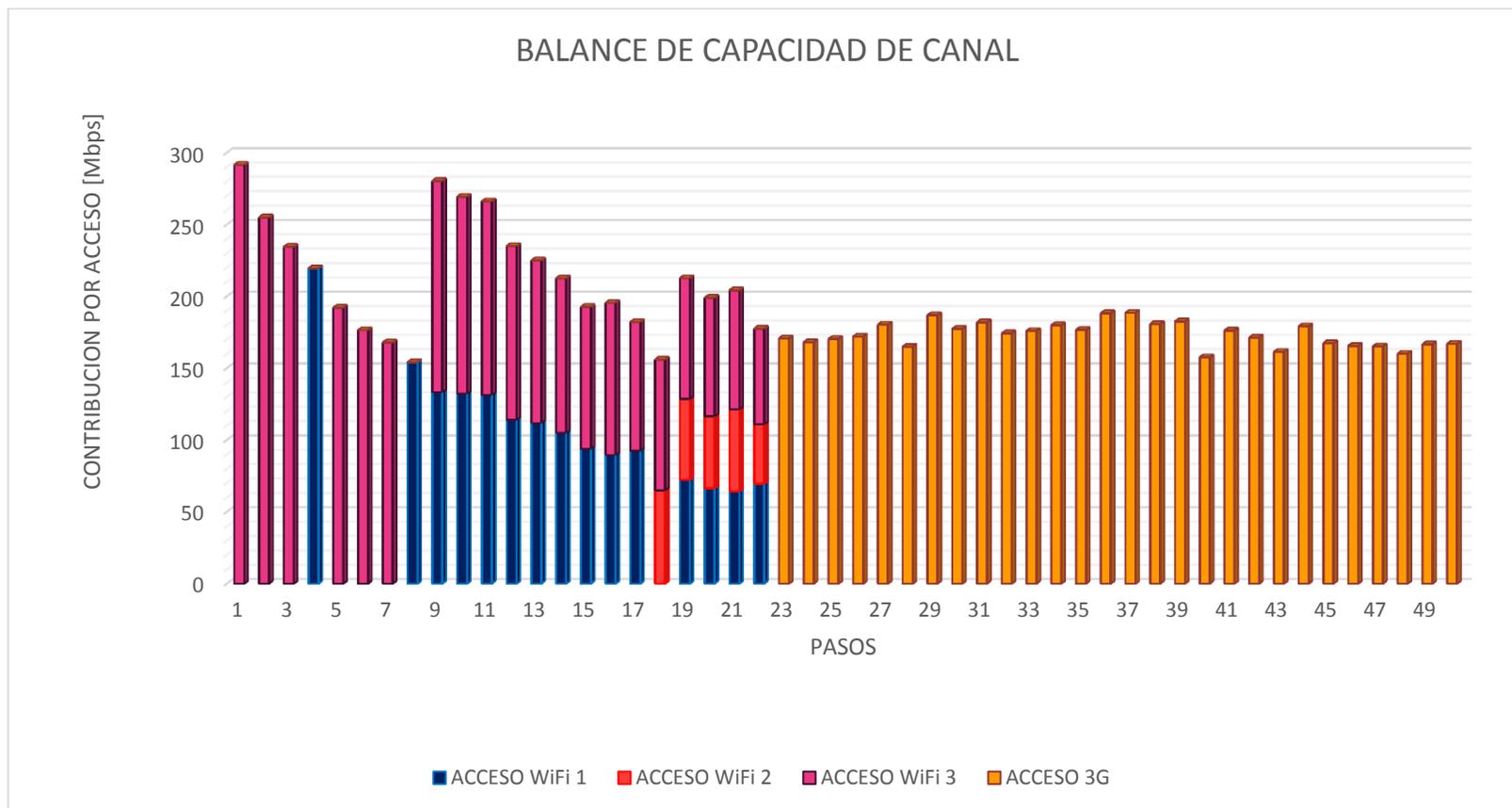


Fig. 5.3. Capacidades de canal balanceada en los accesos WiFi y 3G mediante AGCSMI.

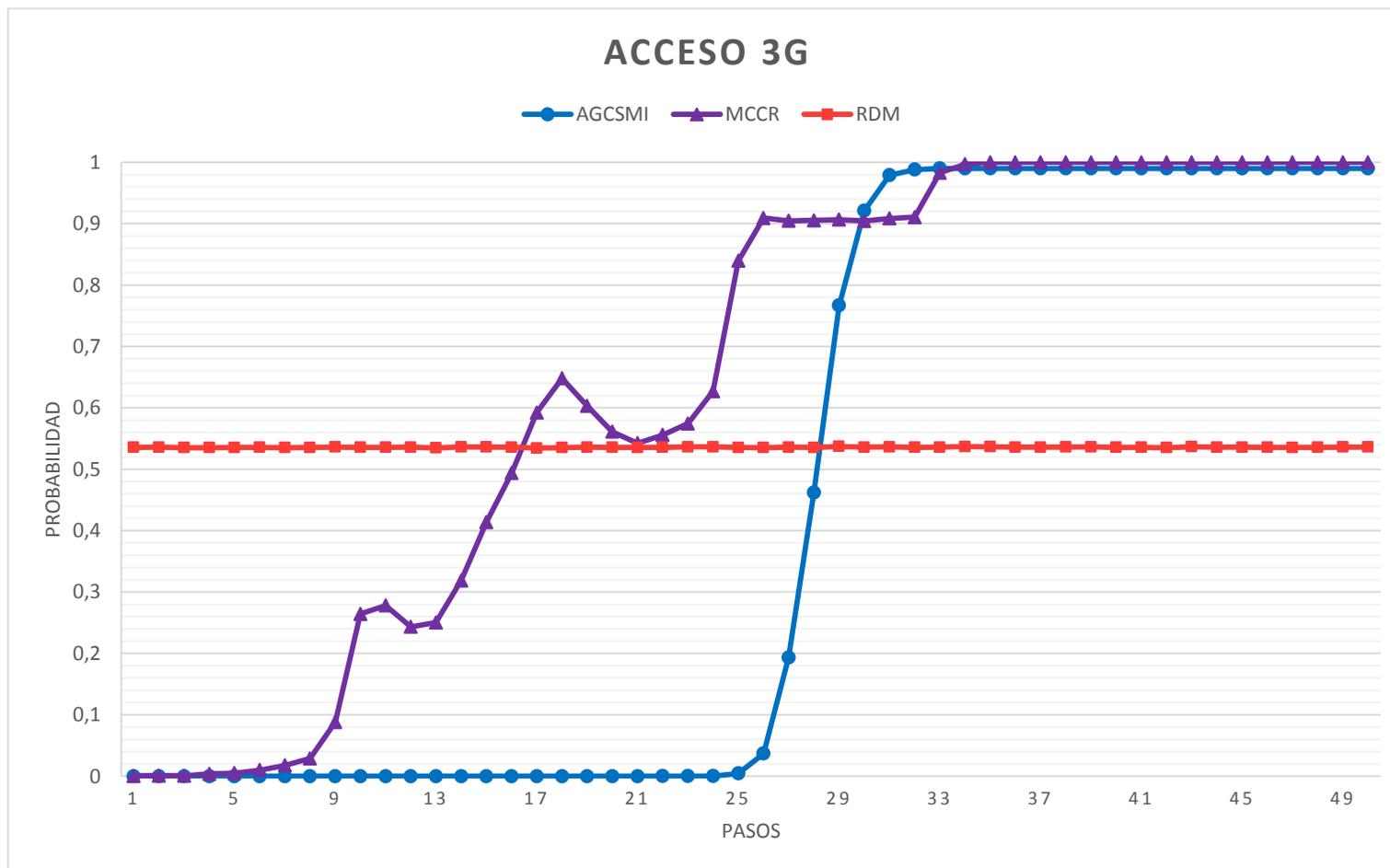


Fig. 5.4. Probabilidad de seleccionar el acceso 3G según el mecanismo de asignación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. Se observa que el mecanismo propuesto AGCSMI utiliza de manera más eficiente los recursos del sistema ya que demuestra que es capaz de mejorar el rendimiento de los accesos inalámbricos en un 75% frente a los otros mecanismos básicos en comparación, obteniendo la máxima utilidad con poco uso de su capacidad de canal, aproximadamente 260 Mbps y reduciendo de manera significativa los costos operativos en los accesos.
2. El mecanismo propuesto ha demostrado que aumenta considerablemente la probabilidad de encontrar soluciones de asignación de accesos inalámbricos mediante la minimización significativa de los costos operativos balanceando la carga sobre sus accesos, manteniendo la calidad del servicio a través del ahorro económico que se presta a sus usuarios.
3. A través de los resultados obtenidos se puede observar como nuestro mecanismo propuesto balancea la capacidad de canal haciendo uso de sus accesos inalámbricos de forma independiente o de forma

simultánea, donde el AGCSMI al inicio de su ejecución converge a los accesos Wi-Fi y a medida que aumentan las pérdidas de señal o los niveles de interferencia, el sistema converge al acceso 3G como una solución óptima global, hasta llegar a una estabilidad en el sistema.

## RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el rendimiento del método AGCSMI se recomienda dividir la distancia total del escenario en una cantidad uniforme de pasos, de manera que la solución del mecanismo propuesto sea cercana a la solución óptima global y se considere representativa de la realidad, con esto se obtendrá una significativa disminución en los tiempos de procesamiento del algoritmo.
2. Para obtener resultados relevantes se recomienda realizar las simulaciones cambiando las condiciones tanto de espacio como frecuencia del escenario de estudio, con el fin de verificar el rendimiento de nuestro mecanismo propuesto frente a diferentes situaciones y operando dentro de entornos urbanos densos.
3. Se recomienda también ajustar el coeficiente de enfriamiento del algoritmo simulated annealing de acuerdo a las condiciones del escenario, con el objetivo de que el sistema converja a una solución de manera más rápida dando estabilidad al acceso o conjunto de accesos con los que opera el sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Zomaya, Albert Y. Smith, Aidan. y Seredynski, Franciszek. “The use of the simulated annealing algorithm for channel allocation in mobile computing”, PDF, 2003.
- [2] Scourias J. Overview of the Global System for Mobile Communications, Web-source as at June 2001: [www.shoshin.uwaterloo.ca/~j4scouria/GSM/gsmreport.html](http://www.shoshin.uwaterloo.ca/~j4scouria/GSM/gsmreport.html), 1997.
- [3] Yokoo M. y Hirayama K. “Frequency assignment for cellular mobile systems using constraint satisfaction techniques. Vehicular Technology Conference Proceedings”, VTC 2000 Spring, Tokyo. 2000, IEEE 51st, Volume 2: 888–894.
- [4] Sánchez, Jesús Ramírez. y Díaz, José Vicente. “Las Redes Inalámbricas, más ventajas que desventajas” <http://www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/redes2008-2.pdf>, 2012.
- [5] Del Razo, Minerva. “Redes inalámbricas en Boletín Tress”, <http://www.tress.com.mx/boletin/junio2004/redes.html>, 2004.
- [6] Guevara, Obet. “Consumo de energía en dispositivos móviles” <http://odedispmov.blogspot.com/2012/04/consumo-de-energia-en-dispositivos.html>, 2012.
- [7] Quintero, Víctor. y Miramá, Víctor. “Control de Potencia en Sistemas de Comunicaciones Inalámbricos basado en Juego No Formal” , 2012.

- [8] Mesa Múnera, Andrea. “Método para el manejo de Balanceo de Carga en Sistemas de Cómputo Distribuido de alto desempeño” [http://www.bdigital.unal.edu.co/3497/1/32296964.2009\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/3497/1/32296964.2009_1.pdf), 2012.
- [9] Azpicueta González, Ángel. Rodrigo, Juan Antonio. Fernández Rodríguez, María del Carmen. y Pérez, Juan. “Algoritmo dinámico para equilibrar la carga mediante uso de vectores de probabilidades y matrices adaptativas” <http://ceur-ws.org/Vol-132/paper01.pdf>, 2010.
- [10] Wienbach, Natalia L., Echaiz, Javier. y Garcia, Alejandro J. “Un Algoritmo Distribuido y Cooperativo para Balance de Carga Dinámico” <http://cs.uns.edu.ar/~nlw/files/cacic03loadbalancing.pdf>, 2011.
- [11] Zomaya, AY. y Kazman, R. Simulated annealing techniques (Chapter 37). In Handbook of Algorithms and Theory of Computation. Atallah MJ (ed.). CRC Press: Boca Raton, FL, 1999; pp. 37.1–37.19.
- [12] Callister Jr WD. Materials Science and Engineering, An Introduction. Third Edition, John Wiley & Sons: New York, 1994; pp 325–326, 423.
- [13] Kirkpatrick S, Gelatt Jr CD y Vecchi, MP. “Optimisation by simulated annealing”. Science, 1983; pp 671–680.
- [14] Barreto, A. y Cardinale Y. “Modelo De Balance De Carga Para Un Cluster Computacional basado en la estabilidad de Lyapunoc”, publicado en revista venezolana de Informacion, Tecnología y Conocimiento, 2011.
- [15] Avallone, Claudio. y Capdehourat, Germán. “Posicionamiento Indoor con señales de Wi-Fi”

[http://iie.fing.edu.uy/~gcapde/trabajos/tes/Posicionamiento\\_indoor\\_con\\_WiFi\\_Avallone\\_Capdehourat.pdf](http://iie.fing.edu.uy/~gcapde/trabajos/tes/Posicionamiento_indoor_con_WiFi_Avallone_Capdehourat.pdf), 2010.

[16] Yépez, Laura. y Gragirena, Manuel. “Corroboración del modelo de propagación indoor Log-Normal Shadowing Path Loss Model” <http://www.poz.unexpo.edu.ve/postgrado/uct/descargas/XJornada/Electr%C3%B3nica/IEL09.CORROBORACION%20DEL%20MODELO%20DE%20PROPAGACION.pdf>, UNEXPO Jornadas de Investigación, 2012.

[17] Pérez García N. “Nuevo Modelo de Propagación para Redes Wlan Operando en 2.4GHz, en Ambientes Interiores” <http://www.publicaciones.urbe.edu/index.php/telematique/article/viewArticle/921/html>, con fecha 21-11-2010.

[18] Pahlavan, K., Levesque, A., “Wireless Information Networks (2nd Edition)”, John Wiley & Sons. (2005).

[19] Novillo, Francisco. , Ferrus, Ramon., “Distributed Channel Assigment Algorithm based on Simulated Annealing for Uncoordinated OSA-Enabled WLANs”, 2011.

[20] Castro Lechtaler, Antonio y Fusario, Rubén Jorge. Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información, Reverté, volumen 2, Segunda edición, capítulo 6, pp. 370 y 371.

[21] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/25102-b30.pdf>, ed. Technical Specification 25.102 V11.3.0 pp. 19- 20. Fecha de publicación 16 Enero 2013.

- [22] Castro Lechtaler, Antonio Ricardo, Fusario, Rubén Jorge; Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información, volumen 2, Segunda edición, capítulo 6, páginas 370 y 371.
- [23] Stallings, W. "Data and Computer Communications (8th Edition)", Pearson. (2007).
- [24] McClaning, K. "Wireless Receiver Design for Digital Communications (2nd Edition)". SciTech Publishing. (2012).
- [25] Bustos J. y Quinteros J. Balanceo de Carga Dinámico para Objetos Móviles, <http://users.dcc.uchile.cl/~jqinter/downloads/JavierBustos-propuestatesis.pdf>, 2012.
- [26] Paredes Roldán, Jorge. "Planificación y Control de la Producción". Páginas 11 y 12. (2001).
- [27] Flickenger, Rob. "*Redes Inalambricas en los Paises en Desarrollo*", Creative Commons, segunda edicion, capítulo 4, <http://wndw.net/pdf/wndw2-es/wndw2-es-ebook.pdf>. (2007).
- [28] Seybold, Jhon S. "Introduction to RF Propagation", Wiley-interscience, (2005).
- [29] Rappaport, Theodore S. "Wireless Communications", Prentice Hall, segunda edición, 2002.
- [30] Relación Señal a Ruido, definición, [http://centrodeartigo.com/articulos-enciclopedicos/article\\_86420.html](http://centrodeartigo.com/articulos-enciclopedicos/article_86420.html), (2012).

- [31] Fundamentos de Telecomunicaciones y Redes, <http://www.eveliux.com/mx/Relacion-senal-a-ruido-SNR.html>, con fecha 10 de Julio del 2007.
- [32] Cybenko, G. "Load Balancing for Distributed Memory Multiprocessors", Revista de Computación Paralela y Distribuida, páginas 279 – 391. (1989).
- [33] WillebeekLeMair, M.H. y Reeves, A.P. "Estrategias Locales vs Estrategias Globales para el Equilibrio de Carga Dinámico", publicado en Conferencia Internacional sobre Procesamiento Paralelo, volumen 1, 1990, pp 569-570.
- [34] Kirkpatrick, S. Gelatt, C. y Vecchi, M. "Optimización por Simulated Annealing", Science, 1983, pp 671-680.
- [35] Hui, ChiChung. y Chanson, Samuel T. "Hydrodynamic Load Balancing", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 1999.