



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CONECTIVIDAD Y REDES DE ORDENADORES

Tesis previa la obtención del Grado
Académico de Magíster en
Conectividad y Redes de
Ordenadores

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS COMO
PROBLEMA REAL EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES.
AÑO 2015.”**

AUTOR:

ING. EMILIO RODRIGO ZHUMA MERA

ASESOR:

LCDO. AMILKAR PURIS CÁCERES, PHd.

QUEVEDO– ECUADOR

2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CONECTIVIDAD Y REDES DE ORDENADORES

Tesis previa la obtención del Grado
Académico de Magíster en
Conectividad y Redes de
Ordenadores

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS COMO
PROBLEMA REAL EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES.
AÑO 2015.”**

AUTOR:

ING. EMILIO RODRIGO ZHUMA MERA

ASESOR:

LCDO. AMILKAR PURIS CÁCERES, PhD.

QUEVEDO– ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

Lcdo. Amilkar Puris Cáceres, PhD., Docente Tutor de Tesis, previo a la obtención del Título Académico de Magíster en Conectividad y Redes de Ordenadores

C E R T I F I C A

Que la Ing. Emilio Rodrigo Zhuma Mera, ha cumplido con la elaboración de la Tesis titulada: **TEMA: “ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS COMO PROBLEMA REAL EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES. AÑO 2015.”**

El mismo que está apto para la presentación y sustentación respectiva.

Lcdo. Amilkar Puris Cáceres, PhD.
DOCENTE- ASESOR

AUTORÍA

Los criterios ideas, comentarios, conclusiones y recomendaciones son de mi autoría, excepto aquellos referentes que se encuentran debidamente citados.

Asumo la responsabilidad por el contenido de esta investigación

Ing. Emilio Rodrigo Zhuma Mera

Autor

DEDICATORIA

A Dios, Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor

A la memoria de mi Abuela, que desde el cielo nos sigue queriendo.

A mí amada esposa y mi Hijo Adorado, por ser el motor que me impulsa a seguir adelante

A mi madre y a mi tía Isabel, por estar siempre aconsejándome y su motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por brindarme la oportunidad de perfeccionar mi formación a través del Programa de Maestría: “CONECTIVIDAD Y REDES DE ORDENADORES”.

A los docentes de todos los módulos que transfirieron sus conocimientos, por sus valiosos aportes durante la colegiatura de la maestría.

Al PhD. Amilkar Puris Cáceres, amigo que con su orientación y gran apoyo se pudo llegar a realizar este trabajo de investigación.

Al Ing. Msc. Byron Wladimir Oviedo Bayas, por su apoyo constante desde el momento que comenzamos este proceso de maestría.

Emilio Zhuma

PRÓLOGO

En el trabajo **“ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS COMO PROBLEMA REAL EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES. AÑO 2015”**, el autor propone diseñar una propuesta para aplicar la meta-heurística ACO a la asignación de frecuencias en las redes móviles GSM. En el mismo se analiza el desarrollo de algoritmos que permitan resolver este tipo de problemas complejos de manera eficiente y óptima. La idea principal de este trabajo es desarrollar nuevos métodos que permitan solucionar problemas cada vez más complejos con el menor esfuerzo computacional posible, e ir mejorando los resultados obtenidos mejorando el coste computacional en comparación con los resultados obtenidos por los algoritmos ya conocidos. Además el autor sugiere Identificar los escenarios del problema de asignación de frecuencia que más se utilizan para evaluar rendimientos de los algoritmos. El autor además determina la información heurística que más se ajusta a las características impuestas por el espacio de búsqueda del problema de estudio, para luego evaluar el alcance del algoritmo propuesto a partir de un estudio comparativo con otras soluciones al problema de estudio. Luego presenta un algoritmo que trata de solucionar la disminución de la calidad de la señal debido a las interferencias que aparecen en la red móvil provocadas por la reutilización de frecuencias y el incremento en la demanda de tráfico. El trabajo presenta una correcta escritura, los objetivos están acorde con la necesidad de dar solución al problema detectado para la investigación. Los resultados son analizados de manera correcta haciendo un análisis de los beneficios que serán obtenidos con el desarrollo del algoritmo. Por lo antes expuesto y la calidad del trabajo propongo que este estudio sea considerado para exponerlo ante las empresas proveedores de internet del medio.

Ing. Ángel Torres Quijije, MsC.
Coordinador Carrera Ingeniería en Telemática

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo de investigación se analiza un problema real de las redes de telecomunicaciones, nos proponemos aplicar técnicas meta heurísticas a problemas de asignación de frecuencias, utilizando el algoritmo Ant System (AS) en escenarios que simulan una red celular GSM.

La industria de las telecomunicaciones ha proporcionado, y sigue proporcionando, una gran cantidad de problemas de optimización que surgen desde el propio diseño del sistema de comunicación hasta algunos aspectos de su funcionamiento y aquí entran los procedimientos meta heurísticos que son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas complejos de optimización, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Los meta-heurísticos proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial.

Nuestra investigación se basa en comparar en un ambiente simulado el algoritmo de Colonia de hormigas ACO con otros algoritmos utilizados en la asignación de frecuencias y analizar si los resultados obtenidos son competitivos contra los otros algoritmos.

Con todo esto se quiere llegar a una modelación matemática de Optimización basada en algoritmos de hormigas (ACO) para asignación de frecuencias.

ABSTRACT

In this research a real problem of telecommunications networks is analyzed, we intend to apply Meta heuristic techniques to problems of frequency allocation, using the algorithm Ant System (AS) in scenarios that simulate a GSM cellular network.

The telecommunications industry has provided, and continues to provide, a lot of optimization problems that arise from the design of the communication system itself to some aspects of its operation and here are the Meta heuristic procedures which are a class of approximate methods they are designed to solve complex optimization problems, where the classic heuristics are not effective. The meta-heuristics provide a general framework to create new hybrid algorithms combining different concepts derived from artificial intelligence.

Our research is based on comparing a simulated algorithm ACO ant colony with other algorithms used in the allocation of frequencies and analyze environment if the results are competitive with other algorithms.

With all this we want to reach a mathematical modeling of optimization based on ant algorithms (ACO) for assignment of frequencies.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
PRÓLOGO	vi
RESUMEN EJECUTIVO	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.1. Ubicación y Contextualización de la Problemática.	5
1.2. Situación actual de la problemática	6
1.3. Problema de investigación.....	7
1.4. Delimitación del problema.....	7
1.5. Justificación	8
1.6. Cambios esperados con la investigación.....	9
1.7. Objetivos.....	9
1.7.1. Objetivo General.....	9
1.7.2. Objetivos Específicos.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10

2.1. Fundamentación conceptual	11
2.1.1. Red de telecomunicaciones.....	11
2.1.1. Red Global System for Mobile (GSM).....	11
2.1.2. Frecuencia	11
2.1.3. Espectro radioeléctrico	11
2.1.4. Algoritmo.....	12
2.1.5. Optimización	12
2.1.6. Método Heurístico.....	12
2.1.7. <i>Procedimientos meta-heurísticos</i>	12
2.1.8. Meta-heurísticas de trayectoria simple	13
2.1.9. Meta-heurísticas poblacionales	13
2.2. Fundamentación Teórica	14
2.2.1. Sistemas celulares.....	14
2.2.2. Técnicas de Acceso.....	16
2.2.3. Arquitectura GSM	17
2.2.4. Colonia de Hormigas	23
2.2.5. Optimización basada en colonia de hormigas (ACO)	24
2.3. Fundamentación legal.....	30
Artículo 2.- Objetivos generales.	30
Artículo 5.- Definición de Telecomunicaciones.....	30
Artículo 6.- Definición de Espectro Radioeléctrico.....	31

Artículo 14.- Uso y Explotación del Espectro Radioeléctrico	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	32
3.1. Métodos utilizados en la investigación	33
3.1.1. Método inductivo	33
3.1.2. Método Deductivo	33
3.1.3. Método Analítico	33
3.1.4. Método Descriptivo	34
3.1.5. Técnica cuasi experimental	34
3.1.5.1. Ventajas y usos del método cuasi experimental	34
3.1.5.2. Pasos del desarrollo de la Investigación	34
3.2. Construcción metodológica del objeto de Investigación	35
3.3. Elaboración del Marco Teórico	35
3.4. Recolección de Información Empírica	35
3.5. Descripción de la Información Obtenida	36
3.6. Análisis e Interpretación de Resultados	36
3.7. Construcción del Informe de Investigación	36
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN RELACIÓN CON LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	38
4.1. Hipótesis de la Investigación	39
4.1.1. Hipótesis General	39
4.1.2. Matriz de Operacionalización	39

4.2. Ubicación y descripción de la información empírica	40
4.2.1. Análisis y descripción de la asignación de frecuencias	40
4.2.1.1. Clasificación de los problemas de asignación de frecuencias	41
4.2.1.2. Escenario COST 259	42
4.2.2. Discusión de la información obtenida en relación a la hipótesis.....	43
4.2.2.1. Representar el problema en forma de grafo	43
4.2.2.2. Definición de los rastros de feromona.....	45
4.2.2.3. Definición de la función heurística	45
4.2.3. Análisis de experimentos utilizando AS (Ant System)	49
4.2.3.1. Resultados de AS en la instancias Tiny.....	51
4.2.3.2. Resultados de AS en la instancias K	56
4.3. Estudio comparativo con el algoritmo evolutivo CHC y Algoritmo Genético secuencial AG	59
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones Generales.....	64
5.2. Recomendaciones	65
Bibliografía	76

ÍNDICE DE ILUSTRACION

Ilustración 1. Zona de influencia de la UTEQ	6
Ilustración 2.Arquitectura de la red GSM.....	18

Ilustración 3. Elementos de la estación móvil.....	18
Ilustración 4. Subsistema estación base	20
Ilustración 5. Subsistema de control y conmutación.....	20
Ilustración 6. Interferencia entre transmisores.....	40
Ilustración 7. Representación FAP en forma de grafos	44
Ilustración 8. Asignación de frecuencias usando H1	46
Ilustración 9. Asignación de Frecuencias usando H2	47
Ilustración 10. Matrices de escenario	47
Ilustración 11. Asignación de frecuencias usando H3	49
Ilustración 12. Representación de algoritmo de hormiga aplicado en el problema de asignación de frecuencias	50
Ilustración 13. Escenario Tiny	51
Ilustración 14.Comparación Interferencias Tiny con H1, H2, H3	54
Ilustración 15.Comparación Tiempos Tiny con H1, H2, H3	55
Ilustración 16.Resultados Instancia K con H1	56
Ilustración 17. Resultados Instancia K con H2	56
Ilustración 18. Resultados Instancia K con H3	57
Ilustración 19. Resultados Comparación K con H1, H2, H3	57
Ilustración 20.Comparación Interferencias K con H1, H2, H3	58
Ilustración 21. Comparación Tiempos de K con H1, H2, H3	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas de acceso de sistemas de segunda generación	17
Tabla 2. Algoritmos para la optimización basada en colonias de hormigas	28
Tabla 3. Familia de Algoritmos ACO	28
Tabla 4. Matriz de Operacionalización	39
Tabla 5. Solución Asignación de frecuencias	44
Tabla 6. Matriz de feromona.....	45
Tabla 7. Celdas para escenario Tiny	52
Tabla 8. Asignación de frecuencias para escenario Tiny	52
Tabla 9. Resultados Instancia Tiny con H1	52
Tabla 10. Resultados Instancia Tiny con H2	53
Tabla 11. Resultados Instancia Tiny con H3	53
Tabla 12. Resultados Comparación Tiny con H1, H2, H3	54
Tabla 13. Comparación Interferencia Algoritmo AS y CHC en escenario K	60
Tabla 14. Comparación de Tiempos Algoritmo AS y CHC en escenario K	60
Tabla 15. Comparación de Interferencias Algoritmo AS y AG en escenario Tiny	61
Tabla 16. Comparación de Tiempos Algoritmo AS y AG en escenario Tiny	61

INTRODUCCIÓN

Las Telecomunicaciones en el siglo XXI han superado todas las expectativas de crecimiento tecnológico y han aportado a que las sociedades puedan evolucionar hacia la era digital. No hay duda de que ésta evolución de la era analógica a la era digital ha sido originada, fundamentalmente, por los progresos realizados en los sistemas de telecomunicaciones. Existen varios problemas de optimización que se plantean en esta industria y su resolución exitosa se ha dado gracias al desarrollo y uso generalizado de estos sistemas

Unos de los propósitos de la investigación en las ciencias de la computación ha sido la creación de algoritmos que resuelvan problemas cada vez más complejos y reales y los problemas de optimización de búsqueda es un campo fundamental en algunas investigaciones, en el área de las telecomunicaciones es un aspecto muy importante para el desarrollo de nuevas tecnologías ya que se pueden resolver problemas donde el esfuerzo y tiempo computacional sea poco y a la vez optimizando resultados conseguidos por algoritmos existentes.

En este sentido aparecen en la literatura un conjunto de técnicas llamadas meta-heurísticas que proponen un marco general de exploración para espacios de búsquedas complejos. La base fundamental del éxito de estos métodos radica en que no exploran de manera exhaustiva el espacio de soluciones por lo que son conocidos como métodos aproximados. Las meta-heurísticas si bien no son capaces de garantizar encontrar la solución óptima, si logran acercarse mucho a esta en un tiempo razonable por lo que han sido muy estudiadas en el área de la optimización.

Una de la meta-heurística más utilizada para la solución de problemas discretos es la Optimización Basada en Colonias de Hormigas (ACO). Este modelo se basa en usar el comportamiento de las colonias de hormigas naturales, las cuales minimizan el recorrido entre su nido y cualquier fuente de alimento. Esta meta-heurística desde su surgimiento ha representado una muy buena herramienta

para solucionar problemas de optimización combinatoria. (Bello, R and A. Puris, 2006) (Puris, A. and R. Bello, 2007)

Las telecomunicaciones han proporcionado un gran número de dificultades de optimización que surgen a partir del propio diseño del sistema de comunicación móvil en sí y sobre algunos aspectos del funcionamiento del mismo. La solución de estos problemas utilizando algoritmos de optimización ha ayudado el desarrollo de en sí de estos sistemas de comunicación.

Por todo lo expuesto anteriormente es que se propone esta tesis. Donde se plantea aplicar técnicas meta-heurísticas para problemas de optimización de frecuencias procedentes de bases de conocimientos del área de las telecomunicaciones, analizando diferentes escenarios para obtener el máximo rendimiento de estas técnicas y ofrecer soluciones de calidad en el menor tiempo posible.

El primer capítulo hacemos referencia al marco contextual de la investigación en el cual se realiza una descripción del problema, justificación, cambios esperados, objetivo general y objetivos específicos que se proyecta alcanzar en el desarrollo del proyecto.

El segundo capítulo está orientado al marco conceptual, teórico y legal que contribuyen a la comprensión de los conceptos básicos empleados en el desarrollo del trabajo de investigación.

El tercer capítulo está conformado por la metodología de investigación deductiva inductiva, método descriptivo, método analítico, empleando la técnica cuasi experimental, describiendo los pasos o etapas que se desarrollaron en la investigación, realizando análisis e interpretación de resultados obtenidos, que ayudaron con la demostración de la hipótesis.

El cuarto capítulo está estructurado por la clasificación de los problemas de asignación de frecuencias, se realiza un análisis de la definición de los rastros de feromona, se definen las heurísticas utilizadas en la investigación, se realizan

experimentos utilizando el algoritmo AS (Ant System) y se hace un estudio comparativo con un algoritmo genético.

El quinto capítulo comprende las conclusiones generadas por la investigación relacionadas a los objetivos y se establecen las recomendaciones para futuros trabajos.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Ubicación y Contextualización de la Problemática.

La telefonía móvil es el sistema de telecomunicación más exitoso que ha tenido esta industria y su crecimiento ha sido de forma acelerada debido, en gran medida, a la gran demanda que han tenido las empresas del sector. Este crecimiento ha hecho que la investigación en el área de la telefonía móvil se incremente y los resultados de estas investigaciones han dado como resultado grandes avances tecnológicos así como un número considerable de modelos matemáticos y algoritmos de optimización para utilizar en la toma de decisiones de la planificación y gestión de los mismos. La contribución más notoria de la optimización consiste en mejorar la calidad de los procesos de asignación de los recursos escasos que se tiene (espectro de transmisión, antenas, etc.) y en aumentar la calidad de los servicios que se ofrecen (como, por ejemplo, ancho de banda o retraso de las transmisiones). Entre los problemas que tienen que ver con la optimización la más importante que surgen en los sistemas de telefonía móvil tienen que ver con el propio diseño del sistema.

Las técnicas meta-heurísticas son procedimientos de búsqueda que no garantizan la obtención óptima del problema considerado que también se basan en la aplicación de reglas relativamente sencillas. A diferencia de los heurísticos, las técnicas meta-heurísticas tratan de huir de óptimos locales orientando la búsqueda en cada momento dependiendo de la evolución del proceso de búsqueda.

La aplicación de las técnicas meta-heurísticas es especialmente interesante en caso de problemas de optimización combinatoria: problemas en las que las variables de decisión son enteras (o discretas, al menos) en las que, generalmente, el espacio de soluciones está formado por ordenaciones de valores de dichas variables. Sin embargo, las técnicas meta-heurísticas se pueden aplicar también a problemas de otro tipo, como con variables continuas.

La investigación se desarrollará en la sala de la Academia CISCO de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. El cantón Quevedo, se encuentra

situada en las coordenadas 1° 20' 30" de Latitud Sur y los 79° 28' 30" de Longitud occidental, dentro de una zona subtropical. Está limitado por: Al norte: por los cantones Valencia y Buena Fe. Al Sur se encuentra limitada por el cantón Mocache. Al Este se encuentra limitado por los cantones Quinsaloma y Ventanas. Al Oeste se encuentra limitado por la provincia del Guayas a través del cantón El Empalme. Una de las características del cantón Quevedo es por estar caracterizada por estar comunicada por vías terrestres y por estar ubicada en el centro del país la conectan a varias provincias de la sierra y la costa ecuatoriana.

Fig. 1. Zona de influencia de la U.T.E.Q

Ilustración 1. Zona de influencia de la UTEQ



Fuente: Elaborado por: Infoterra

1.2. Situación actual de la problemática

Las redes de telecomunicaciones en la actualidad son más complejas, en esencia porque deben atender una gama de requisitos más amplio, entre los que se

encuentran la coexistencia de aplicaciones y servicios diversos en la misma red, debe dar soporte para que la movilidad pueda ser posible, y la necesidad casi obligatoria de interconexión con otras redes como ejemplo de esto podemos mencionar la telefonía móvil y la telefonía fija. En consecuencia, el diseño de una red cada vez es más difícil. Si bien la forma habitual de hacer frente a este problema consistía en dividir la tarea del diseño en subtarefas un poco más pequeñas y fáciles de atender, también se limitó algunas de las posibilidades de diseño, estas subtarefas resultantes continúan siendo a veces problemas muy complejos como por ejemplo podemos citar la configuración de componentes, la asignación de recursos, encaminamiento y el diseño de la topología, que se convierten de manera natural en problemas de optimización que se tienen que resolver. Por lo tanto, como las redes que se diseñan son cada vez más complejas, la necesidad de incorporar estas técnicas de optimización avanzadas también ha ido aumentando en importancia para la solución de estos problemas.

1.3. Problema de investigación

¿La forma actual en que se asigna las frecuencias en una red móvil GSM disminuye la calidad de la señal?

P1: ¿La reutilización de frecuencias y el incremento en la demanda de tráfico contribuyen al deterioro de la calidad de las señales debido a los varios tipos de interferencias que aparecen en la red móvil?

P2: ¿Las herramientas de planeamiento de red utilizadas suelen emplear tiempos de procesamiento extensos, elevando así el costo del proceso?

P3: ¿Las técnicas meta heurísticas utilizadas han solucionado el problema de la mala asignación de frecuencias?

1.4. Delimitación del problema

CAMPO: Ciencias de la Ingeniería

ÁREA: Redes y Telecomunicaciones.

ASPECTO: Asignación de frecuencias

TEMA: “ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS COMO PROBLEMA REAL EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES. AÑO 2015.”

PROBLEMA: ¿LA FORMA ACTUAL EN QUE SE ASIGNA LAS FRECUENCIAS EN UNA RED MÓVIL GSM DISMINUYE LA CALIDAD DE LA SEÑAL?

1.5. Justificación

Los sistemas de telefonía móvil sin lugar a dudas es la tecnología que más evolución en el ámbito de las telecomunicaciones y su desarrollo ha dado como resultado que nuevos servicios y aplicaciones se oferten y que la demanda aumente para que las empresas de este sector sean las grandes ganadoras. Esto ha provocado que se siga investigando mucho más en el área de las telecomunicaciones y que los avances tecnológicos sean muy considerables, entre las investigaciones tenemos una gran cantidad de algoritmos de optimización y modelos matemáticos que pueden ser utilizados para la toma de decisiones, dar soluciones a problemas de planificación y gestión de frecuencias y celdas. Una de las mayores aportaciones de los algoritmos de optimización consiste en mejorar los tiempos en la que se asignan los recursos en esta caso un rango de frecuencia de los que se dispone (espectro radioeléctrico), esto ha permitido incrementar la calidad de los servicios proporcionados como podemos citar el ancho de banda, menos interferencias en las comunicaciones o retraso de las transmisiones.

En la actualidad los sistemas de telecomunicaciones tienden a desarrollar sistemas de bajo coste, de complejidad reducida y configuración amigable y que nos permita reducir en gran medida la necesidad de planificación y configuración.

Diseñar un sistema de telefonía móvil involucra una serie de estudios como el del establecer los sectores donde se instalarán las estaciones transceptoras base (BTS), configurar sus parámetros de funcionamiento como altura de la antena, ángulo de inclinación, el acimut y a potencia de la misma. Otro estudio que se tiene que realizar es el de asignación de un rango de frecuencias que cubra y garantice comunicación suficiente para cada celda.

1.6. Cambios esperados con la investigación

La asignación de frecuencias en las señales GSM mejora ostensiblemente con la implementación de la meta-heurística Optimización basada en Colonia de Hormigas.

Espectro disperso mejor utilizado con la misma demanda de tráfico y el mismo esfuerzo computacional.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Diseñar una propuesta para aplicar la meta-heurística ACO a la asignación de frecuencias en las redes móviles GSM.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- Identificar los escenarios del problema de asignación de frecuencia que más se utilizan para evaluar rendimientos de los algoritmos
- Determinar la información heurística que más se ajusta a las características impuestas por el espacio de búsqueda del problema de estudio.
- Evaluar el alcance del algoritmo propuesto a partir de un estudio comparativo con otras soluciones al problema de estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación conceptual

2.1.1. Red de telecomunicaciones

Se entiende por red de telecomunicación al conjunto de medios (transmisión y conmutación), tecnologías (procesado, multiplexación, modulaciones), protocolos y facilidades en general, necesarios para el intercambio de información entre los usuarios de la red. La red es una estructura compleja. (O' Brien, J. A. & Marakas, G. M., 2008)

2.1.1. GSM (Red Global System for Mobile)

GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) es un sistema de telefonía móvil digital que se utiliza ampliamente. GSM utiliza una variante de Time Division Multiple Access (TDMA) y es el más utilizado de las tres tecnologías de telefonía inalámbricas digitales (CDMA, TDMA, GSM). GSM digitaliza y comprime los datos, después, lo envía por un canal con otras dos corrientes de datos de usuario, cada uno en su propio horario. Opera ya sea en el 900 MHz o banda de frecuencia de 1800 MHz (M.Mouly, M.B. Paulet, 1992) (R. Ayuso, B. Ceña, M. Fernández, B. Milan, Ma. Saturnina Torre, 1999)

2.1.2. Frecuencia

Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

2.1.3. Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial. (Arcotel, 2015) (Arcotel, 2014)

A través del espectro radioeléctrico es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo y económico de un país. (Arcotel, 2015) (Arcotel, 2014)

El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. Dentro de este contexto, La legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible. (Arcotel, 2015) (Arcotel, 2014)

2.1.4. Algoritmo

En las ciencias matemáticas, ciencias de la computación y otras disciplinas respectivas, un **algoritmo** (del griego y latín, *dixit algorithmus*) es un conjunto o una serie de instrucciones o reglas bien determinadas, ordenadas y finitas que permite realizar un proceso o tarea mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad. (Brassard, Gilles; Bratle, Paul, 1997)

2.1.5. Optimización

Es el proceso de tratar de encontrar la mejor solución posible para un determinado problema. (FAP, 2006).

2.1.6. Método Heurístico

Es un procedimiento para resolver un problema complejo de optimización mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución de manera eficiente. (Hooker, 1995)

2.1.7. Procedimientos meta-heurísticos

Son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas complejos de optimización, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Los meta-heurísticos proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evolución biológica y los

mecanismos estadísticos. (Michalewics, Z, y D. Fogel, 2004) (Glover, F. y G. Kochenberger, eds, 2003)

2.1.8. Meta-heurísticas de trayectoria simple

Se utiliza el término de trayectoria simple porque el proceso de búsqueda que desarrollan estos métodos se caracteriza por una trayectoria en el espacio de soluciones; es decir, que partiendo de una solución inicial, son capaces de generar un camino o trayectoria en el espacio de búsqueda a través de operaciones de movimiento. En este tipo de meta-heurísticas se destacan: la Búsqueda Tabú (Taboo Search) (*Glover, F y M. Laguna,, 1997*) Recorrido Simulado (Simulated Annealing) (*Kirkpatrick, S., C. Gellat, y M. Vecchi, 1983*), Búsqueda de Vecindades Variables (Variable Neighborhood Secar) (*Hansen, P., N. Mladenovic, y J.A.M. Pérez, 2008*), Búsqueda Local Guiada (Guided Local Secar) (*Voudouris, C. y E.Tsang, 1995*), Búsqueda Local Iterativa (Iterated Local Search) (*Hoos, H.H. y T. Stutzle, 1983*), entre otras.

2.1.9. Meta-heurísticas poblacionales

Las meta-heurísticas basadas en población, o meta-heurísticas poblacionales, son aquellas que emplean un conjunto de soluciones (población) en cada iteración del algoritmo, en lugar de utilizar una única solución como las meta-heurísticas del grupo anterior. Estas proporcionan de forma intrínseca un mecanismo de exploración paralelo del espacio de soluciones, y su eficacia depende en gran medida de cómo se manipule dicha población. Dentro de esta clasificación se destacan los Algoritmos Evolutivos (Evolutionary Algorithms; EA) (*Bäck, T., U. Hammel, y H. Schwefel, 1997*) (*Cano, J.R., F. Herrera, y M. Lozano, 2003*) y los algoritmos basados en Inteligencia Colectiva (Swarm Intelligence; SI) (*Bonabeau, 1999*) (*Engelbrecht, 2006*).

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Sistemas celulares

La telefonía móvil en la actualidad, así como los sistemas que puedan surgir en el más adelante, establecen su funcionamiento en el principio básico de los sistemas celulares. La disponibilidad del servicio está asegurada por la distribución sistemática de las estaciones base situadas a lo largo de la región geográfica para la que se destina cubrir con señal celular, donde cada estación cubre lo que corresponde a un área de la célula o celda, de ahí el surge el nombre de sistema celular. (M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet, 1992), (Gete, 2008)

Las principales características de los sistemas celulares son:

- Gran capacidad de usuarios
- Utilización eficiente del espectro radioeléctrico
- Amplia cobertura a nivel nacional y mundial

Los primeros sistemas celulares o sistemas de telefonía móvil utilizaban estaciones base que proporcionan servicios a grandes áreas de cobertura. Este método era efectivo debido al uso limitado de servicios de telefonía móvil, donde permitía a cada estación base trabajar con un pequeño rango de frecuencias. Como la demanda por el servicio creció, se necesitaban más frecuencias para la estación base, con la demanda en alza llegó un momento que el rango de frecuencias de frecuencias era insuficiente para el tráfico que había. Entonces surgió la necesidad de un nuevo concepto el reuso de frecuencias, principio básico de los sistemas móviles. (Gete, 2008)

Los sistemas celulares fueron un gran avance en la solución del problema de la congestión del espectro radioeléctrico. Los sistemas celulares ofrecen una gran capacidad en un lugar espectro limitado sin grandes cambios

tecnológicos. En los sistemas celulares, las frecuencias se pueden reutilizar en diferentes células o celdas, siempre que la distancia entre ellos es suficiente para limitar los efectos de los varios tipos de interferencia o handover debido a la utilización de la misma frecuencia. Además, los sistemas celulares ofrecen la posibilidad de subdividir las celdas que tienen demasiada demanda en celdas más pequeñas y se les instala su estación base que emite menos potencia. Esta subdivisión se llama la división celular o cell splitting, lo que aumenta el número de veces que los canales son reutilizados, incrementando la capacidad del sistema celular. (Gete, 2008)

El inconveniente principal en la instalación de un sistema celular radica en la complejidad de la gestión de las comunicaciones entre las células o celdas. Cuando un usuario se mueva más allá de los límites del área de cobertura de una estación base, la comunicación debe tomar una nueva frecuencia de otra estación base y dejar la frecuencia que venía utilizando. Este procedimiento se denomina traspaso o handover. Por lo tanto la capacidad de los sistemas celulares es limitada y no puede ser subdividida innumerables veces las celdas, llegará un momento en que el número de transferencias entre las celdas dificulta el mantenimiento de la calidad de las comunicaciones. (Gete, 2008)

La primera generación de sistemas celulares no tenían algoritmos de control de potencia, es decir, los equipos terminales móviles y estaciones base siempre iban a transmitir con la misma potencia independientemente de la ubicación y distancia entre ellos. Esta limitación, junto con la mayor complejidad de la administración de sistemas con celdas, es lo que aceleró la saturación de los sistemas de primera generación, y se tuvo la necesidad casi obligatoria de diseñar nuevos sistemas. (Rappaport, 1996) (Gete, 2008)

Cuando la tecnología ya se había consolidado en el mercado lo suficiente como para desarrollar tecnología nueva y los sistemas analógicos de primera generación aparecieron: AMPS (Advanced Mobile Phone System), TACS (Total Access Communication System), etc. Los sistemas digitales de segunda generación como los sistemas GSM aparecieron en el continente Europeo; con el correcto aumento en la eficacia de los nuevos sistemas y con la introducción de nuevas técnicas para la codificación de voz, codificación de canal, intercalación, la modulación digital, etc. (Gete, 2008)

2.2.2. Técnicas de Acceso

Los métodos de acceso multiplexado son técnicas que proporcionan servicios de comunicaciones a varios usuarios en un medio de un solo ancho de banda por cable o inalámbrica. Los canales de comunicación, ya sean segmentos de espectro inalámbrico o conexiones de cable, son caros. Los métodos de acceso permiten que muchos usuarios compartan estos canales limitados y se pueda mantener comunicaciones simultáneas. (S.M. Redl, M.K. Weber, M.W. Oliphant, 1995)

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)** es el proceso de dividir un canal de ancho de banda o en varias bandas individuales, cada una para su uso por un solo usuario. Cada canal individual es lo suficientemente grande para dar cabida al espectro de la señal de las transmisiones a ser propagado. Los datos a transmitir se modulan a cada sub portadora, y todos ellos se mezclan entre sí linealmente.
- **TDMA (Time Division Multiple Access):** es una técnica digital que divide un único canal o banda en intervalos de tiempo. Cada intervalo de tiempo se utiliza para transmitir un byte u otro segmento digital de cada señal en formato de datos en serie secuencial. Esta técnica

funciona bien con señales de datos de voz lento, pero también es útil para otros datos de alta velocidad y vídeo comprimidos.

- **CDMA (Code Division Multiple Access):** es otra técnica digital pura. También se conoce como espectro ensanchado porque se necesita la versión digitalizada de una señal analógica y se extiende hacia fuera sobre un ancho de banda más ancha en un nivel de potencia inferior. Este método se llama espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS).

Los sistemas de primera generación utilizaban FDMA, mientras que los sistemas de segunda generación utilizan combinaciones de las diferentes técnicas de acceso:

Tabla 1. Técnicas de acceso de sistemas de segunda generación

Sistema Técnica de acceso	Sistema Técnica de acceso
GSM	FDD/FDMA/TDMA
IS-54	FDD/FDMA/TDMA
IS-95	FDD/FDMA/CDMA

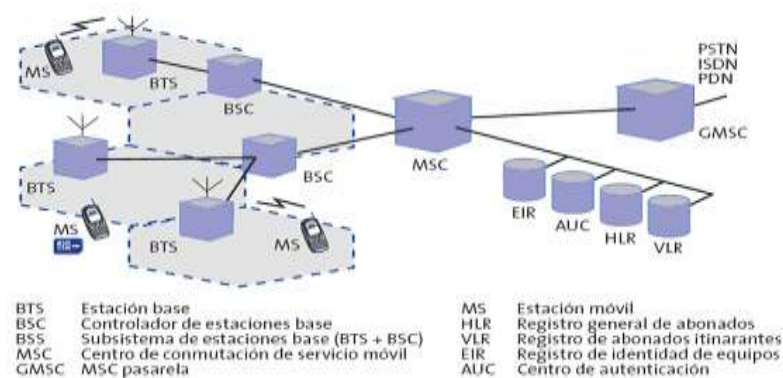
Fuente: (S.M. Redl, M.K. Weber, M.W. Oliphant, 1995)

2.2.3. Arquitectura GSM

GSM se compone de muchas unidades funcionales. Estas funciones e interfaces se explican a continuación. La red GSM se puede dividir en: (M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet, 1992) (Telecomunicaciones, 2005):

- La estación móvil (MS)
- El Subsistema de Estaciones Base (BSS)
- La Red de conmutación Subsistema (NSS)
- El Subsistema de Apoyo Operación (OSS)

Ilustración 2.Arquitectura de la red GSM



Fuente: (Telecomunicaciones, 2005)

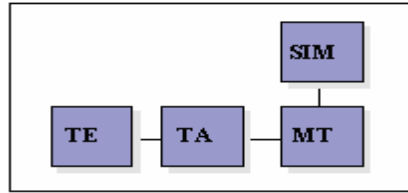
Estación móvil (MS)

Consiste en el equipo físico, tal como el transceptor de radio, la pantalla y procesadores de señales digitales, y la tarjeta SIM. Se proporciona la interfaz de aire para el usuario en las redes GSM. Como también se proporcionan tales, otros servicios, que incluyen: (TutorialPoints, 2015)

- Tele servicios de voz
- Servicios portadores de datos
- Servicios suplementarios Las características

MS También proporciona el receptor para los mensajes SMS, que permite al usuario cambiar entre el uso de voz y datos. Por otra parte, los facilita móviles acceso a sistemas de mensajería de voz. El MS también proporciona acceso a los diversos servicios de datos disponibles en una red GSM. (TutorialPoints, 2015)

Ilustración 3. Elementos de la estación móvil



Fuente: (Telecomunicaciones, 2005)

MT: Terminal móvil SIM: Módulos de identidad de suscripción
TA: Adaptador de terminal TE: Equipo Terminal

Subsistema de estaciones base (BSS)

El BSS se compone de dos partes:

- La estación transceptora base (BTS)
- El Controlador de Estación Base (BSC)

El BTS y el BSC se comunican a través de la interfaz Abis especificada, permitiendo operaciones entre los componentes que se hacen por diferentes proveedores. Los componentes de radio de un BSS pueden consistir de cuatro para siete o nueve celdas. Una BSS puede tener una o más estaciones base. El BSS utiliza la interfaz Abis entre la BTS y el BSC..

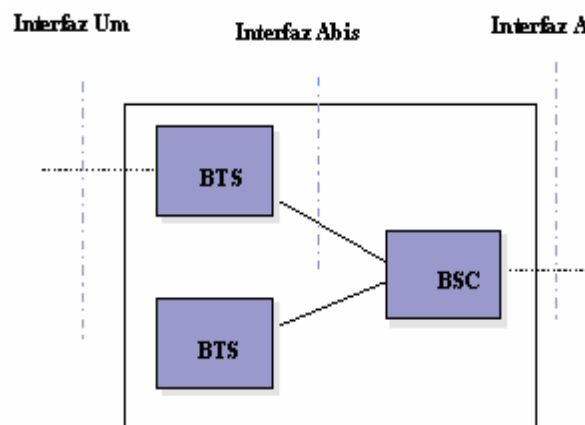
- **La estación transceptora base (BTS)**

El BTS corresponde a los transceptores y antenas utilizadas en cada celda de la red. Un BTS se coloca generalmente en el centro de una célula. Su potencia de transmisión define el tamaño de una célula. Cada BTS tiene entre 1 y 16 transceptores, dependiendo de la densidad de usuarios en la célula. Cada BTS sirve como una sola célula. (TutorialPoints, 2015)

- **El Controlador de Estación Base (BSC)**

Gestiona los recursos de radio para una o más BTS. Se ocupa de la configuración de radio de canal, salto de frecuencia, y los traspasos. El BSC es la conexión entre el móvil y el MSC. El BSC se traduce también el canal de 13 Kbps de voz utilizado por el enlace de radio al canal de 64 Kbps estándar utilizado por la red telefónica pública conmutada (PSDN) o RDSI. (TutorialPoints, 2015)

Ilustración 4. Subsistema estación base



Fuente: (Telecomunicaciones, 2005)

Subsistema de red (NSS)

Es la parte principal del Centro Móvil (MSC) de conmutación, realiza la conmutación de llamadas entre los usuarios de la red móvil y otros teléfonos fijos o celulares, así como la gestión de los servicios móviles, tales como la autenticación. (TutorialPoints, 2015)

El sistema de conmutación incluye los siguientes elementos funcionales:

- **Home Location Register (HLR)**

El HLR es una base de datos utilizada para el almacenamiento y gestión de suscripciones. El HLR se considera la base de datos más importante, ya que almacena los datos permanentes sobre los

abonados, incluyendo el perfil de un abonado al servicio, información de ubicación, y el estado de actividad. Cuando se obtiene un SIM, toda la información de este se registra en el HLR de ese operador. (TutorialPoints, 2015)

- **Servicios de Centro de Conmutación Móvil (MSC)**

El componente central del subsistema de red es el MSC. El MSC realiza la conmutación de llamadas entre los usuarios de la red celular y otros fijos o móviles, así como la gestión de los servicios móviles, tales como el registro, autenticación, actualización de la ubicación, traspasos, y encaminamiento de llamada a un abonado en itinerancia. (TutorialPoints, 2015)

- **Visitante Location Register (VLR)**

El VLR es una base de datos que contiene información temporal sobre los abonados que el MSC necesita para garantizar el servicio de abonados visitantes. El VLR está siempre integrada con el MSC. Cuando una estación móvil cambia a una nueva área de MSC, el VLR conectado a ese MSC pedirá datos sobre la estación móvil desde el HLR. Más tarde, si la estación móvil realiza una llamada, el VLR tendrá la información necesaria para el establecimiento de llamada sin tener que preguntar al HLR cada vez. (TutorialPoints, 2015)

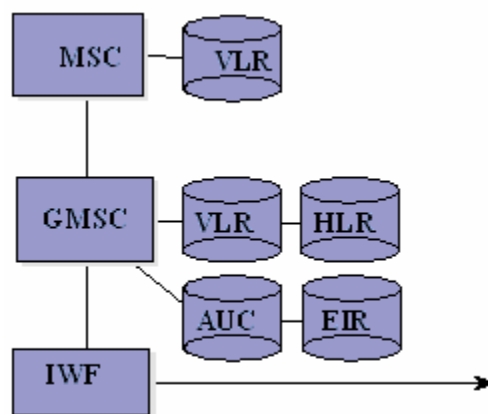
- **Centro de Autenticación (AUC)**

El centro de autenticación es una base de datos resguardada que almacena un respaldo de la clave secreta almacenada en la tarjeta SIM de cada abonado, que se utiliza para la autenticación y el cifrado del canal de radio. Las AUC protegen a los operadores de redes de diferentes tipos de fraude que se encuentran en el mundo celular de hoy. (TutorialPoints, 2015)

- **Equipo de Registro de Identidad (EIR)**

El Registro de Identidad de Equipo (EIR) es una base de datos que contiene una lista de todos los equipos móviles válidos en la red, donde su identidad de equipo móvil internacional (IMEI) identifica cada Estado miembro. Un IMEI se marca como no permitido si ha sido reportado como robado. (TutorialPoints, 2015)

Ilustración 5. Subsistema de control y conmutación



Fuente: (Telecomunicaciones, 2005)

Subsistema de gestión de red (NMS)

El centro de operaciones y mantenimiento (OMC) es el elemento principal de NMS y está conectado a todos los equipos en el sistema de conmutación y a la BSC. (TutorialPoints, 2015)

Estas son algunas de las funciones de OMC:

- Gestión de la Seguridad.
- Configuración de la red, Operación y Gestión del Rendimiento.
- Tareas de mantenimiento.
- Administración y gestión comercial (suscripción, terminales de gama, la carga y las estadísticas).

2.2.4. Colonia de Hormigas

Las investigaciones de Carbonaro y Maniezzo (Maniezzo V. y A. Carbonaro. 2000) nos dicen que el algoritmo Ants (Hormigas), fue construido inicialmente para el resolver el problema de asignación cuadrática (QAP), para solucionar el problema de asignación de frecuencias minimizando los valores de interferencias. Las principales características de este algoritmo es que las hormigas siempre buscan soluciones factibles en la etapa de construcción. Para la evaluación de las Ants, se han utilizado los varios escenarios para pruebas del mismo como son: CELAR, CALMA y Filadelfia (F. Comellas and J. Ozón, 2002). Estos escenarios fueron diseñados para resolver diferentes tipos de problemas de asignación de frecuencias como por ejemplo problema de asignación de frecuencias de mínimo orden (MO-FAP) y el problema de asignación de frecuencias de mínimo span (MS-FAP), que han sido adecuadas utilizando las soluciones más óptimas conocidas de forma que la función objetivo que es la interferencia, este valor sea cero, es decir una comunicación sin interferencias.

La investigación de Montemanni, Smith y Allen también han utilizado el algoritmo ANTS para buscar una solución factible al problema FAP, el tipo de problema de asignación de frecuencias que utilizan es el de mínimo span (MS-FAP), o establecer una mínima diferencia entre las frecuencias mínimas y las frecuencias máximas que son usadas en la red. Su algoritmo propuesto funciona estableciendo primero el rango de frecuencias disponibles a un valor considerablemente grande, y así ejecutar posteriormente el algoritmo ANTS para reducir los valores de interferencias. Una vez que no tenemos interferencias en la red, se reduce el número de frecuencias y se vuelve a ejecutar ANTS. (R. Montemanni, 2002)

Acan y Günay han propuesto en una investigación un Algoritmo ACO con memoria externa para resolver el escenario de Philadelphia. La memoria

externa incluye un historial de información que incorpora una guía para la búsqueda de la iteración. En este caso, lo que se va almacenando son bloques de tamaño variable de las soluciones más óptimas encontradas que ocurrieron en las iteraciones anteriores, esto ayuda cuando una hormiga va a construir una solución, extrae uno de estos bloques utilizando un mecanismo de selección como torneo binario y completa la solución más óptima utilizando el esquema general de ACO. . (A. Acan and A. Günay , 2005)

Para finalizar, queremos mencionar los trabajos de Comellas y Abril (J. Abril, F. Comellas, F. Cortés, J. Ozón, and M. Vaquer, 2000), que en su propuesta también utilizan hormigas. Pero estas hormigas trabajan son en realidad como agentes que se mueven por todas las soluciones del problema y no van siguiendo el modelo ACO clásico (matriz de feromonas, construcción de soluciones, etc.).

2.2.5. Optimización basada en colonia de hormigas (ACO)

Esta novedosa técnica cae en la categoría de meta heurística. Una meta heurística es una estrategia maestra que guía y modifica otras heurísticas para hallar soluciones. La ACO, (Reeves, 1995) y (Eberhart, 1995), es una meta heurística en la cual una colonia de hormigas artificiales cooperan para encontrar buenas soluciones a diferentes problemas de optimización discreta. La cooperación es un componente clave de los algoritmos ACO.

Se inspira en el comportamiento de las hormigas, animales casi ciegos pero con la habilidad de optimizar el camino hasta llegar a la fuente de su alimento y regresar al nido. Cae en la categoría de la llamada “Inteligencia Colectiva” (Swarm Intelligence) (Resende, 1989). Un enjambre (swarm) puede ser definido como una colección estructurada de organismos (agentes) que interactúan. La inteligencia no está en los individuos sino en el colectivo. La base de la misma está en la interacción social directa o

indirecta entre los individuos. La interacción indirecta ocurre cuando un individuo cambia el ambiente y el otro agente responde al nuevo ambiente. Ejemplos de inteligencia colectiva son las colonias de hormigas (ant colonies) y las bandadas de pájaros (bird flocks).

Las colonias de hormigas, y más general las sociedades de insectos, son sistemas distribuidos que, a pesar de la simplicidad de sus individuos, presentan una organización social altamente estructurada. Uno de los patrones de comportamiento exhibido por las hormigas es su habilidad para encontrar el camino más corto, para lo cual coordinan su actividad mediante una comunicación indirecta lograda por modificación del medio ambiente usando una sustancia química llamada feromona.

El modelo ACO (Ant Colony Optimization) es un modelo computacional que ofrece las técnicas algorítmicas más exitosas y ampliamente reconocidas basadas en el comportamiento de las hormigas (Eberhart, 1995). La idea básica del modelo ACO es usar una forma de comunicación indirecta artificial (artificial stigmergy) para coordinar sociedades de agentes artificiales para resolver problemas de optimización discretos.

Una hormiga artificial en ACO es un procedimiento constructivo estocástico que construye incrementalmente una solución agregando oportunamente componentes a la solución parcial en construcción. Las diferencias de las hormigas artificiales con respecto a las hormigas naturales son: (i) Tienen alguna memoria; (ii) No son completamente ciegas; y, (iii) Viven en un ambiente donde el tiempo es discreto.

En el caso del TSP, el algoritmo ACO, (Dorigo M. y Gambardella L., 1997), (Dorigo M. y L.M. Gambardella, 1997), y (Dorigo M. et al., 1996), utiliza agentes muy simples (llamados hormigas) que deben establecer el camino más corto para visitar todas las ciudades del problema una sola vez y regresar a la ciudad origen, para lo cual utilizan la información acumulada

en una matriz de feromonas. Este modelo asume que la cantidad de feromona sobre un camino es proporcional a la cantidad de hormigas que usaron el mismo en el pasado. Expresa cuan deseado ha sido ese trayecto. Se construye un grafo, $G=(N, A)$, con una cantidad de nodos igual a la cantidad de ciudades y arcos indicando los caminos entre las ciudades. Según la expresión (1) se realiza el depósito de nueva feromona sobre un arco. Cierta cantidad de feromona se evapora con el tiempo.

Ecuación 1. Depósito de feromona sobre un arco

$$t_{ij} = t_{ij} + d_{ij} \quad (1)$$

Fuente: (Dorigo M. y Gambardella L., 1997)

Donde t_{ij} denota la feromona asociada al arco (i,j) y d_{ij} la cantidad de feromona que se deposita. Esta cantidad puede ser constante, expresión (2), o ser una función dependiente de la longitud del camino (L_k) que corresponde al arco, expresión (3).

Ecuación 2. Depósito de feromona constante

$$d_{ij} = k \quad (2)$$

Fuente: (Dorigo M. y Gambardella L., 1997)

Ecuación 3. Función de longitud de camino

$$d_{ij} = f(L_k) \quad (3)$$

Fuente: (Dorigo M. y Gambardella L., 1997)

Donde si $L_{k1} < L_{k2}$ entonces $f(L_{k1}) > f(L_{k2})$. En el caso de usar la expresión (2) el efecto de modificación de la feromona se conoce como longitud de camino diferencial ("differential path length".)

Por su parte la evaporación de la feromona, expresión (4), evita una rápida convergencia de todas las hormigas a un camino no óptimo.

Ecuación 4. Evaporación de la feromona

$$t_{ij} = (1 - p) * t_{ij}, p \in (0,1] \quad (4)$$

Fuente: (Dorigo M. y Gambardella L., 1997)

El pseudo código de esta meta heurística se puede representar como sigue:

Procedimiento MetaheurísticaACO;

 Actividades Programadas

 Construir Soluciones de las Hormigas

 Actualizar Feromonas

 Otras Acciones (opcional)

 Fin de las Actividades Fijas

Fin del procedimiento

Este procedimiento se anida en el siguiente procedimiento iterativo:

P1: Inicializar los valores de feromona.

 nciclo=1

P2: Repetir

Procedimiento MetaheurísticaACO

 nciclo= nciclo+1

Hasta que: FIN

Los criterios de parada de este proceso iterativo son, entre otros:

- Se alcanza un número máximo de ciclos.
- Se alcanza una solución con la calidad deseada.
- Convergencia a la misma solución (estancamiento o stagnation).

Se han desarrollado diferentes algoritmos para la optimización basada en colonias de hormigas como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Algoritmos para la optimización basada en colonias de hormigas

Algoritmo	Año
Ant System	1991
Elitist AS	1991
Ant-Q	1995
<i>MAX-MIN</i> AS	1996
Ant Colony System	1997
Rank-based AS	1997
ANTS	1999
Hyper-cube AS	2001

Fuente: (Dorigo M. y Gambardella L., 1997)

Ellos se agrupan en familias como se muestra en la tabla 2:

Tabla 3. Familia de Algoritmos ACO

Ant Systems
Elitist AS
Rank-based AS
<i>MAX-MIN</i> AS
Ant-Q
ANTS
Hyper-cube AS

Fuente: (Dorigo M. y Gambardella L., 1997)

Se considera el modelo “Sistema de Hormigas” (Ant System, AS) (Dorigo M, 1996) el primer representante de esta meta heurística. La convergencia del modelo fue probada en (Badr, A. y Fahmy, A., 2003). De este algoritmo se reconocen tres versiones (Dorigo M. et al. , 1999) y (Badr, A. y Fahmy, A., 2003):

- hormiga-densidad (ant-density),
- hormiga-cantidad (ant-quantity),
- hormiga-ciclo (ant-cycle)

La diferencia principal entre ellas radica en el momento en que actualizan la feromona y la cantidad de feromona a depositar. Hormiga-densidad y Hormiga-cantidad actualizan la feromona directamente después de que una hormiga se mueve de un nodo a otro. Respecto a la cantidad de feromona a depositar, Hormiga-densidad deposita un valor constante Q y Hormiga-cantidad el valor $\frac{Q}{d_{ij}}$, donde Q es una constante. En Hormiga-ciclo la actualización se produce después que todas las hormigas han construido su camino. De ellas prevaleció el Hormiga-Ciclo; el cual mostró resultados superiores a los otros dos algoritmos como se muestra en el estudio realizado en (Dorigo M. et al., 1996).

La selección del próximo nodo a visitar por cada hormiga se realiza usando una regla aleatoria proporcional, en la cual la probabilidad de seleccionar un nodo como próxima situación de la hormiga se define por la expresión (5).

Ecuación 5. Próximo nodo a visitar

$$p_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^\alpha * (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} (\tau_{il})^\alpha * (\eta_{il})^\beta} \quad \text{if } j \in N_i^k \quad (5)$$

Fuente: (Dorigo M. y Gambardella L., 1997)

Donde $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$, se denomina visibilidad y es un estimado heurístico. Los parámetros alfa (α) y beta (β) controlan el proceso de búsqueda. Para $\alpha = 0$ se tiene una búsqueda heurística estocástica clásica, mientras que para $\beta = 0$ solo el valor de la feromona tiene efecto. Un valor de $\alpha < 1$ lleva a una rápida situación de convergencia (stagnation). P_{ij}^k es un vector de probabilidades de ir de la ciudad i a cada ciudad j sin visitar (N_i^k) por la hormiga k y τ_{ij} el valor del elemento i, j en la matriz de feromona.

2.3. Fundamentación legal

El presente trabajo de investigación está sustentado por el marco legal de la Ley orgánica de telecomunicaciones y de servicios postales en su artículo 2 habla sobre los objetivos generales de la ley y uno de estos objetivos en el inciso 3 es.

Artículo 2.- Objetivos generales.

3.- Promover la evolución tecnológica del país, a través del desarrollo de redes y servicios de telecomunicaciones, a fin de favorecer la masificación del uso de las tecnologías de información y comunicación y, el avance hacia la Sociedad de la Información y Conocimiento. (BARREZUETA, 2015), (Navarrete, 2014)

Artículo 5.- Definición de Telecomunicaciones.- A los efectos de esta Ley, se entiende por telecomunicaciones toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, textos, video, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza, por sistemas alámbricos o inalámbricos, inventados o por inventarse, incluidos los servicios de radiodifusión sonora y televisión. La presente definición no tiene carácter taxativo, en consecuencia, quedarán incluidos en la misma cualquier

medio, modalidad o tipo de transmisión derivada de la evolución tecnológica o de la convergencia de servicios. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones emitirá los reglamentos o normas técnicas que considere convenientes para regular cualquier actividad o servicios derivados de adelantos tecnológicos en materia de telecomunicaciones. (BARREZUETA, 2015), (Navarrete, 2014)

Artículo 6.- Definición de Espectro Radioeléctrico.- A los efectos de esta Ley, se entiende por espectro radioeléctrico al bien del dominio público del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable, constituido por el conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000GHz y que se propagan por el espacio sin guía artificial.(BARREZUETA, 2015), (Navarrete, 2014)

La división y subdivisión del espectro radioeléctrico, la atribución de cada una de las bandas que lo conforman y los parámetros generales para su gestión se incluirán en el Plan Nacional de Frecuencias.

Artículo 14.- Uso y Explotación del Espectro Radioeléctrico.- El espectro radioeléctrico constituye un bien del dominio público del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable. Su uso y explotación requiere el otorgamiento previo de un título habilitante emitido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, de conformidad con lo establecido en la presente Ley y la normativa que resulte aplicable. (BARREZUETA, 2015)

En el Plan Nacional de Frecuencias, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones deberá establecer bandas de frecuencia para su asignación a estaciones de radiodifusión sonora y televisión públicas, privadas, mixtas y comunitarias en igualdad de condiciones. (BARREZUETA, 2015), (Navarrete, 2014)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Métodos utilizados en la investigación

3.1.1. Método inductivo

Este método es un proceso en el cual será parte del estudio de casos o hechos particulares para llegar a principios más generales, lo que implica pasar de un nivel de observación y experimentación a un sustento científico de categoría, es decir la formulación de leyes o teorías. Expresado en forma más sencilla el método inductivo va de lo particular a lo general.

3.1.2. Método Deductivo

Viene de un principio general ya reconocido para trabajar en él, este método considera consecuencias particulares, expresadas de una forma más simples, la deducción consistirá en partir de una teoría general para expresar hechos o fenómenos particulares.

Con la aplicación de este método se podrá deducir los problemas que existen en la asignación de frecuencias relacionados a la investigación planteada en las redes de telecomunicaciones, además identificará algunos factores claves que ayudarán a desarrollar las estrategias aplicables en el presente plan.

3.1.3. Método Analítico

Consiste en un trabajo intelectual para alcanzar la comprensión profunda y detallada de los componentes de un objeto o problema y así poder identificar las relaciones comunes y particulares de los componentes de un todo.

Al momento de utilizar este método permitirá analizar detalladamente los elementos que se encuentran vinculados directamente en el proceso de asignación de frecuencias y su funcionamiento en las redes de

Telecomunicaciones, así como la interpretación de las causas y efectos que genera la problemática planteada.

3.1.4. Método Descriptivo

Consiste en representar el estado en que se encuentran los problemas, casos, fenómenos, hechos, personas, detallando y explicando sus distintas propiedades, partes o circunstancias, no solo por sus cualidades o atributos, sino más bien dando una idea completa del contexto del problema e interpretando en forma real la investigación.

3.1.5. Técnica cuasi experimental

La investigación utilizada en el presente trabajo responde a la metodología cuasi experimental, ya que se llevarán a cabo experimentos con instancias de diferentes dimensiones para formular el modelo matemático. Además se hace un estudio profundo de todos los operadores y actores que participan en el proceso de expansión y construcción del algoritmo. El paso final es hacer un estudio de los parámetros del algoritmo que afectan de una u otra manera en la calidad de las soluciones obtenidas con el objetivo de depurar la exploración del algoritmo.

3.1.5.1. Ventajas y usos del método cuasi experimental

Las investigaciones que utilizan cuasi-experimentos se enmarcan dentro de un grupo de restricciones, debido a la falta de aleatorización. No obstante, y teniendo presente la limitación en cuanto al valor predictivo de este tipo de análisis y estudios, las relaciones esporádicas para el experimento tienen un gran valor porque proveen el conocimiento de cómo manejar nuestro mundo sistemáticamente.

3.1.5.2. Pasos del desarrollo de la Investigación.

Lo primero que se realizó es definir las variables independientes y dependientes que se consideraran en el cuasi experimento.

Una vez que se tienen definidas las variables el segundo paso es elegir los niveles de manipulación de estas variables y convertirlos en tratamientos experimentales.

El tercer paso es crear los ambientes necesarios para medir las variables dependientes esto se logró a través de las bases de conocimiento que se consiguieron.

Una vez creados los ambientes el cuarto paso es la selección de los escenarios para probar los experimentos.

Como quinto paso seleccionamos el diseño cuasi experimental adecuado para la comprobar la hipótesis, objetivos y preguntas de investigación.

El sexto paso es la selección del mejor resultado después de haber realizado varios experimentos.

3.2. Construcción metodológica del objeto de Investigación

El presente trabajo de investigación se centralizó en el campus central de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo “Ing. Manuel Haz Álvarez” situada en el Km ½ de la vía a Santo Domingo, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos.

3.3. Elaboración del Marco Teórico

Se utilizó la investigación documental mediante la consulta y lectura de textos especializados y artículos científicos de diferentes autores, para poder hacer referencia a una amplia bibliografía, el marco teórico y facilitar la realización del análisis e interpretación de la investigación.

3.4. Recolección de Información Empírica

Para la realización del trabajo fue necesario obtener información de diferentes bases de conocimientos con diferentes escenarios que están disponibles para que se prueben y comparen con otros estudios realizados con estos.

3.5. Descripción de la Información Obtenida.

Para realizar nuestra investigación e implementación del algoritmo Ant System (AS) para el problema de asignación de frecuencias se realizó una investigación documental mediante la consulta de artículos científicos de diferentes autores, tesis de doctorado, libros de telecomunicaciones, bases de conocimientos donde se encuentran escenarios simulados de asignación de frecuencias para estudios, que permitieron entender el problema de asignación de frecuencias, además entender la meta heurística ACO con su algoritmo AS y como aplicarlo al problema de asignación de frecuencias.

3.6. Análisis e Interpretación de Resultados

En cuanto a los resultados obtenidos se realizó varios experimentos utilizando tres heurísticas diferentes y dos escenarios Tiny y K de la base de conocimientos COST259. Una vez que se obtuvo resultados con las heurísticas se tomó la mejor y se comparó valores de interferencia y tiempos con un algoritmo genético CHC que fue utilizado para probar este problema de asignación de frecuencias, donde los resultados arrojados por el análisis comparativo entre los dos algoritmos da que nuestra heurística obtiene interferencias más pequeñas y menos tiempos en encontrar soluciones óptimas.

3.7. Construcción del Informe de Investigación

Finalmente se presenta el problema estudiado, la ejecución de los experimentos realizados, las soluciones obtenidas entre las heurísticas y los resultados obtenidos con el algoritmo CHC y finalmente la interpretación para luego emitir las conclusiones. Se describe el material recogido, estudiado y analizado, elaborado y presentado en forma clara y precisa para obtener la información sobre la investigación.

Al presentar la hipótesis se efectuó la discusión de la información obtenida en relación a la naturaleza de la hipótesis, para hacer la comprobación de la misma y emitir conclusiones parciales.

CAPÍTULO IV

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE
RESULTADOS EN RELACIÓN CON LA
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1. Hipótesis de la Investigación

4.1.1. Hipótesis General

La Optimización basada en Colonias de Hormigas obtiene resultados competitivos en la asignación de frecuencias en una red móvil GSM.

4.1.2. Matriz de Operacionalización.

Tabla 4. Matriz de Operacionalización

Tipo de Variable	Definición Conceptual	Dimensión de la Variable	Indicador
Variable Independiente Aplicación de la meta-heurística Optimización basada en Colonia de Hormigas	Representación de los nodos de la malla, definición de los operadores de expansión de la malla y la forma de contraerla.	Modelación	Definir matemáticamente la formas de operación del algoritmo
Variable Dependiente Soluciones de buena calidad a la asignación de frecuencia.	Soluciones aproximadas a la solución óptima del problema	Eficacia	Calidad de las soluciones encontradas para el problema de estudio.

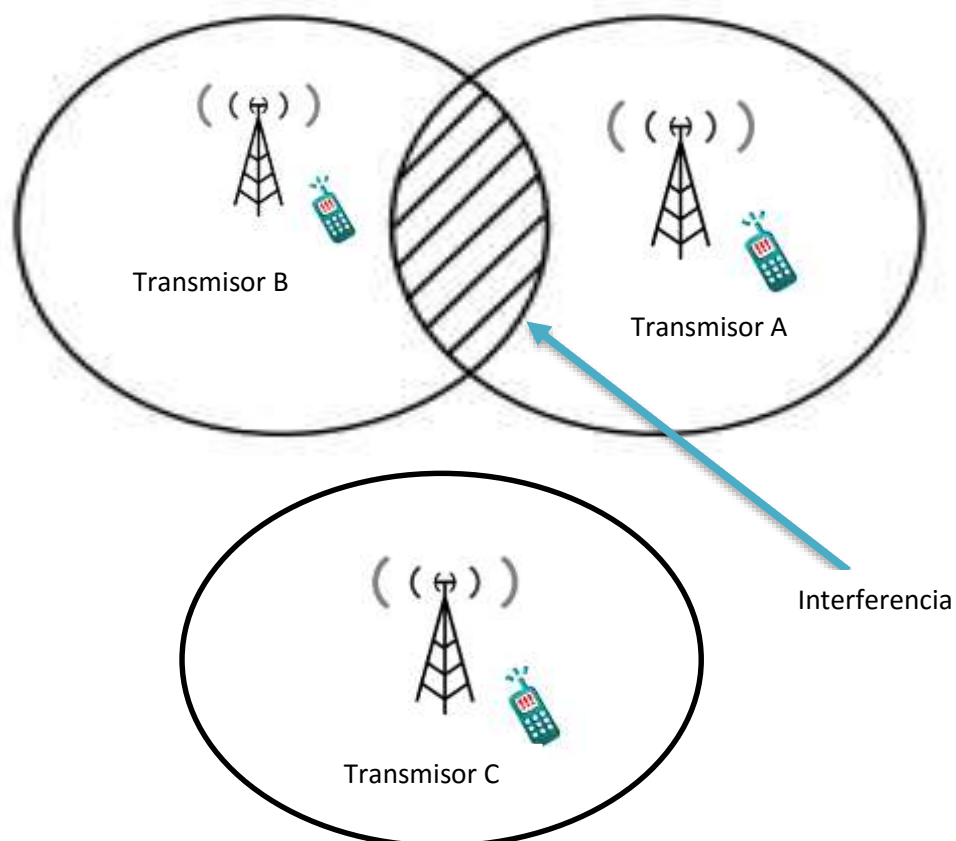
Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma

4.2. Ubicación y descripción de la información empírica

4.2.1. Análisis y descripción de la asignación de frecuencias

El problema de asignación de frecuencias (FAP, siglas de *Frequency Assignment Problem*) tiene un costo asociado y por tanto se tiene que tomar en cuenta en reutilizar las frecuencias en distintas comunicaciones simultáneas, esto puede causar interferencias entre las señales. Todos estos aspectos se deben considerar al momento de diseñar una red inalámbrica y lograr un balance entre la reutilización y la pérdida de calidad en la red debido a la interferencia.

Ilustración 6. Interferencia entre transmisores



Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Para generalizar lo expuesto anteriormente y extrapolarlo al diseño de una red inalámbrica se define el problema en los siguientes términos:

El ancho de banda disponible será $(f_{max} - f_{min})$, donde f_{min} es la frecuencia mínima disponible y f_{max} es la frecuencia máxima disponible. Este ancho de banda se divide en N canales de un ancho Δ , entonces $N = (f_{max} - f_{min})/\Delta$.

El conjunto de todos estos canales conforma el dominio del problema $D = \{1..N\}$. Es posible que existan restricciones que determinen que ciertos canales del dominio no están disponibles para una determinada conexión v (esto puede deberse por ejemplo a la proximidad física con otro país), por lo tanto los canales realmente disponibles para v forman un subconjunto de D . Dicho subconjunto se denota como D_v ($D_v \subseteq D$).

4.2.1.1. Clasificación de los problemas de asignación de frecuencias

Los problemas de asignación de frecuencias pueden clasificarse de diversas maneras. A continuación se presenta la taxonomía propuesta por (Koster, 1999).

- **Minimum Order Frequency Assignment Problem (MO-FAP)**

Consiste en hallar una asignación de frecuencias de tal modo que no se produzcan interferencias inaceptables y que la cantidad de frecuencias diferentes utilizadas sea la menor posible. Este último objetivo data de los comienzos de la telefonía móvil a principios de la década del 70, donde las frecuencias eran muy costosas y se vendían por unidad.

- **Minimum Span Frequency Assignment Problem (MS-FAP)**

Consiste en hallar una asignación de frecuencias de tal modo que no exista interferencia inaceptable y que la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima utilizadas (*span*) sea minimizada. Este problema guarda una relación más estrecha con la situación actual, donde el espectro radioeléctrico se licencia por ancho de banda y no por frecuencias individuales.

- **Minimum Blocking Frequency Assignment Problem (MB-FAP)**

En el caso que no puedan asignarse a cada nodo todas las frecuencias que requiere sin incurrir en interferencias inaceptables, puede optarse por realizar una asignación parcial (sin proporcionarle a todos los nodos la totalidad de las frecuencias que demandan). En definitiva esta variante consiste en asignar frecuencias de tal modo que no se produzcan interferencias inaceptables y la probabilidad de bloqueo global sea minimizada.

- **Minimum Interference Frequency Assignment Problem (MI-FAP)**

Consiste en asignar frecuencias de un conjunto finito de frecuencias disponibles de tal manera de no incurrir en interferencias inaceptables y que la suma total de interferencias sea minimizada. Esta variante es la seleccionada para su resolución en este trabajo.

4.2.1.2. Escenario COST 259

COST (*European COoperation in the field of Scientific and Technical Research*) es una reconocida red de investigación en Europa, basada en un marco de trabajo intergubernamental que involucra 34 estados miembros e Israel como estado cooperador. COST abarca 13 dominios científicos entre los cuales se encuentra el de interés para este proyecto: telecomunicaciones, ciencia de la información y tecnología (TIST).

COST 259 (Eisenblätter, A., Koster, A., 1996) está compuesto por varios grupos: “*Radio System Aspects*”, “*Propagation & Antenas*” y “*Network Aspects*”. Dentro de este último se encuentra el subgrupo “*Standard Scenarios for Frequency Planning*” que tiene como objetivo brindar un conjunto de escenarios de planificación de frecuencias (reales y artificiales) que sirvan como base estándar para ejecutar algoritmos de planeamiento de asignación de frecuencias y

determinar la calidad de sus resultados, permitiendo realizar dos tipos de comparaciones: el comportamiento de un algoritmo sobre diferentes escenarios y el de diferentes algoritmos en un mismo escenario. Más información acerca de COST259 ver anexo 1

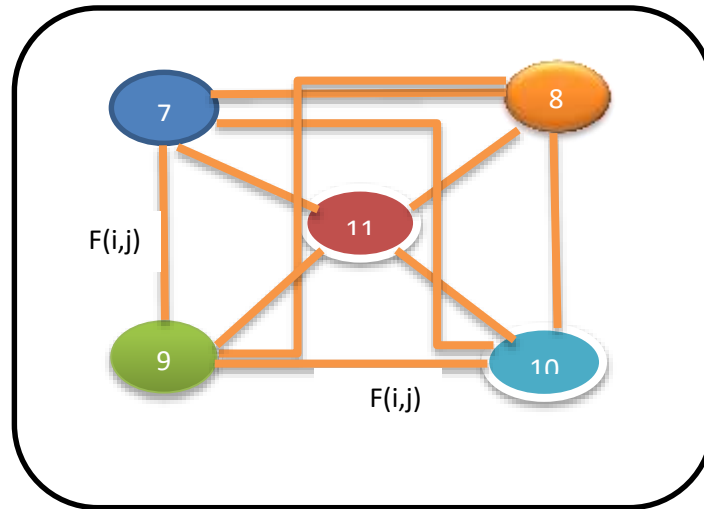
4.2.2. Discusión de la información obtenida en relación a la hipótesis.

Para la resolución de un problema de optimización utilizamos algunos de los algoritmos ACO es necesario ajustar las siguientes directrices al problema de estudio.

4.2.2.1. Representar el problema en forma de grafo

- Cualquier problema FAP se representa mediante un grafo $G = (V, E)$ conocido como grafo de interferencia o grafo de restricciones donde:
- c es el número de frecuencias requeridas por $v \in V$.
- V es el conjunto de vértices del grafo, que se corresponden con los nodos del escenario inalámbrico.
- E es el conjunto de aristas del grafo. Para dos nodos $v, w \in V$, $(v, w) \in E$ si y sólo si las señales de los nodos v y w pueden interferirse en al menos un par de frecuencias.
- $\forall v \in V$; $D_v \subseteq D$ es el conjunto de frecuencias disponibles para el nodo v .
- p_{vwfg} denota la penalización asociada a la interferencia entre las frecuencias f y g asignadas al mismo nodo v .
- $F_{(i,j)}$ representa un combinación de frecuencias que muchas veces ha sido asignada.

Ilustración 7. Representación FAP en forma de grafos



Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Para este problema una posible solución sería:

Tabla 5. Solución Asignación de frecuencias

Tr	1	2	3	4	5
	7	10	8	11	9

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Esto representa que a la primera celda se le asigna la frecuencia 7 a la segunda celda se le asignó la frecuencia 10, a la tercera celda la frecuencia 8, etc.

Este ejemplo carece de restricciones como matriz de separación, matriz de canales bloqueados y matrices de interferencias.

Si tuviera este tipo de restricciones tendríamos que comprobar si las frecuencias asignadas en cada celda cumplen con estas restricciones.

4.2.2.2. Definición de los rastros de feromona

Para este problema de asignación de frecuencias los valores de feromona fueron definidos en el arco del grafo quedando representado la accesibilidad de una combinación de frecuencia para una solución a través de una matriz de números reales, donde la posición i,j se relaciona con lo deseado que ha sido la asignación de la frecuencia i,j o j,i en dos celdas adyacentes. Para el ejemplo anterior la matriz de feromona asociada sería la tabla 6, donde la posición (1,1) representa la feromona asociada a la combinación de frecuencias (7,9), esto quiere decir cuántas veces se asignado después de la frecuencia 7 la 9 y el valor asociado 0.3 representa lo deseado que ha sido que después de la frecuencia 7 asignar la 9 en dos celdas adyacentes.

Tabla 6. Matriz de feromona

	1	2	3	4	5
1	0.0	0.2	0.4	0.2	0.3
2	0.1	0.0	0.6	0.2	0.1
3	0.3	0.2	0.0	0.1	0.3
4	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1
5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

4.2.2.3. Definición de la función heurística

La función heurística es uno de los componentes encargados de guiar la exploración en los algoritmos de optimización ACO. Tiene mucha relevancia con el problema. Para este caso se definieron un conjunto de Funciones Heurísticas que luego serán probadas.

4.2.2.3.1. Heurística 1: Reutilizando las frecuencias seleccionadas

Ecuación 6. Heurística 1

$$H_{ij}^1 = 1 - \frac{1}{R_j}$$

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

- $j \in N$; $N \in$ conjunto de frecuencias disponibles para el escenario.
- Dónde: R_j es la cantidad de veces que ha sido reutilizada la frecuencia j .
- R_j no puede ser 0.

Ilustración 8. Asignación de frecuencias usando H1

	Tr					
	1	2	3	4	5	i
	7	10	8	11	9	7
Rango de Frecuencias	7	8	9	10	11	
Cant. Veces reutilizadas	2	1	1	1	1	

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

De manera general esta función heurística persigue encontrar una solución que premie la reutilización de las frecuencias, de manera tal que vamos a encontrar una solución que utilice la menor cantidad de frecuencias, en este caso se toma en cuenta las restricciones de separación y de canales bloqueados y no se toma en cuenta las restricciones de interferencias. Con esto percibimos que las hormigas encuentran la mayor cantidad de soluciones completas ya que las soluciones incompletas aparecen cuando tenemos en cuenta las restricciones de interferencia.

4.2.2.3.2. Heurística 2: Generando vecindad de frecuencias

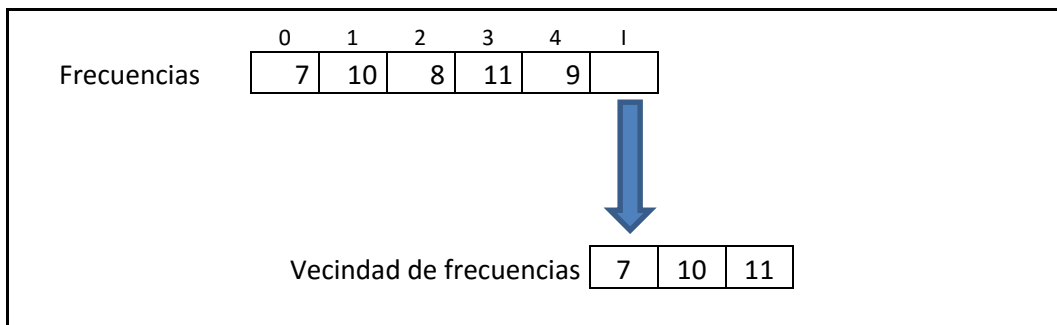
Ecuación 7. Heurística 2

$$H_{ij}^2 = 1 - K_j$$

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

- $j \in N$; $N \in$ conjunto de frecuencias disponibles para el escenario.
- L : vecindario de frecuencias generadas
- L_h : vecindario de frecuencias generadas
- K_j : el valor de la suma de interferencias cuando $j-L_h=1$ o $j=L_h$ al utilizar la frecuencia

Ilustración 9. Asignación de Frecuencias usando H2



Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Ilustración 10. Matrices de escenario

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

Matriz de canales bloqueados

	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1
3	1	1	0	1	1
4	1	0	1	0	1
5	1	0	0	1	0

Matiz de separación

	1	2	3	4	5
1	0	0.002	0.005	0.013	0.95
2	0.03	0	0.036	0.25	0.235
3	0.036	0.652	0	0.412	0.987
4	0.025	0.01	0.002	0	0.003
5	0.001	0.001	0.042	0.005	0

Matriz de interferencia co canal

	1	2	3	4	5
1	0	0.002	0.005	0.013	0.95
2	0.03	0	0.036	0.25	0.235
3	0.036	0.652	0	0.412	0.987
4	0.025	0.01	0.002	0	0.003
5	0.001	0.001	0.042	0.005	0

Matriz de interferencia canal
adyacente

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Esta heurística genera una vecindad de frecuencias en base a una matriz de separación y una matriz de canales bloqueados, después cada elemento de la vecindad se compara con el arreglo de frecuencias para poder sacar las interferencias de canal adyacente y las interferencias co-canal y la suma de estas dan el peso a K_j , y la frecuencia del vecindario que tenga un K_j bajo tendrá más probabilidades de ser seleccionada en la posición i .

4.2.2.3.3. Heurística 3: Pronosticando vecindades de frecuencias

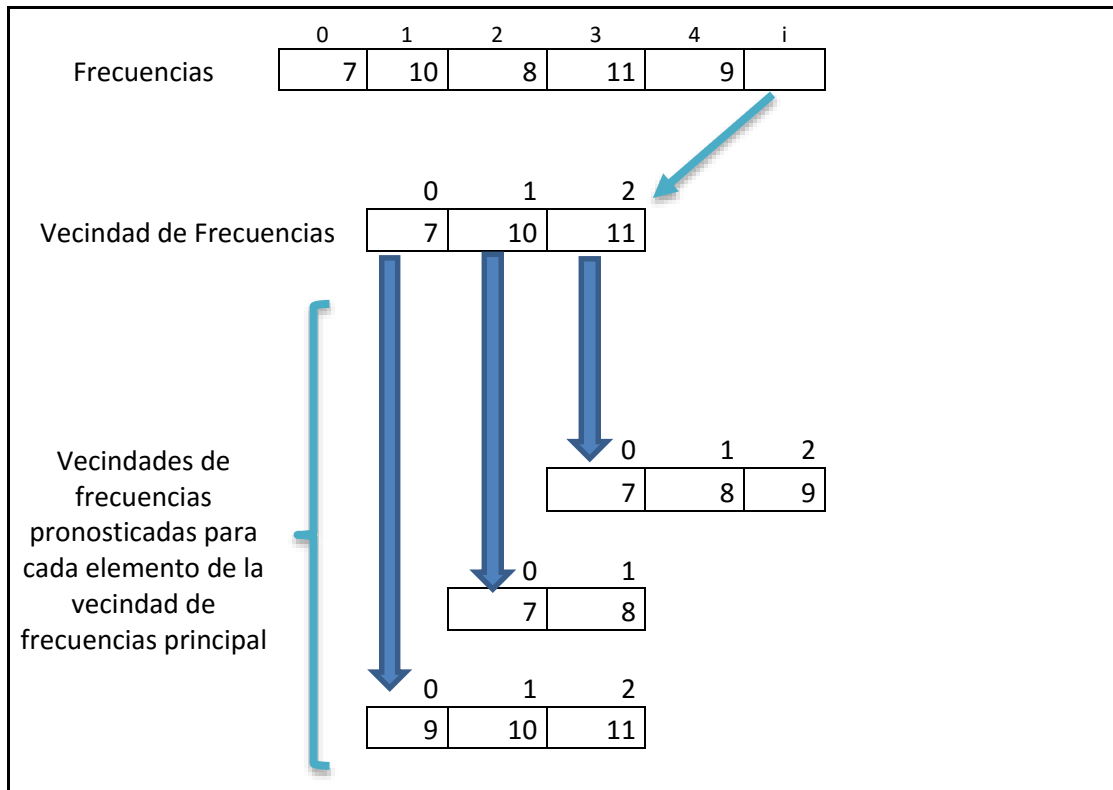
Ecuación 8. Heurística 3

$$H_{ij}^3 = H_{ij}^2 + r_j$$

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Donde r_j es la vecindad pronosticada por cada posición de la vecindad de frecuencias

Ilustración 11. Asignación de frecuencias usando H3



Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Esta heurística utiliza la heurística H^2 , además pronostica para cada elemento de la vecindad de frecuencias una futura vecindad en caso que sea la frecuencia seleccionada, la longitud de la vecindad pronosticada le dan el peso a r_j y la frecuencia del vecindario j que tenga un r alto tendrá más probabilidades de ser seleccionada en la posición i .

4.2.3. Análisis de experimentos utilizando AS (Ant System)

A continuación se describe el funcionamiento general del algoritmo AS en el problema de estudio.

Los resultados de los experimentos AS utilizando las tres heurísticas desarrolladas bajo los valores del escenario COST 259, en sus instancias TINY y K.

A continuación se describe en pseudo el algoritmo implementado para el problema de estudio que se utilizó para los distintos experimentos.

Descripción del algoritmo en pseudo código.

Ilustración 12. Representación de algoritmo de hormiga aplicado en el problema de asignación de frecuencias

1. Fase de inicialización

Inicializar contador de ciclos nc

Inicializar total de Hormigas M

Inicializar solución global $L_{global} = \Phi$

Inicializar matriz de feromona $t(i, j) = t_0$

Cargar matriz de canales bloqueados $b(i, j)$

Cargar matriz de separación $s(i, j)$

Cargar matriz de interferencia co_canal $mc(i, j)$

Cargar matriz de interferencia canal_adyacente $mca(i, j)$

Cargar primera posición del arreglo de frecuencias de cada hormiga.

2. Repetir NC veces

Para cada hormiga

Elegir siguiente posición

Repetir para cada hormiga hasta llenar su arreglo de celdas

Elegir próxima frecuencia a ser asignada según H utilizando $b(i, j)$,
 $s(i, j)$,

Actualizar cantidad de frecuencias reutilizadas

Mover la hormiga a la próxima posición

Actualizar feromonas paso a paso.

Repetir para las k hormigas

Calcular costo de la solución (L_k)
 Si ($L_k < L_{global}$)
 Actualizar L_{global} con L_k
 Actualización global de las feromonas
 3. Imprimir camino más corto L_{global}

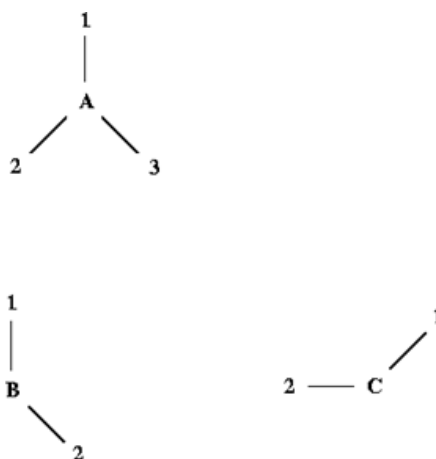
Fuente: Investigación
 Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

4.2.3.1. Resultados de AS en la instancias Tiny

Los parámetros utilizados para la presente experimentación fueron seleccionados a partir de un estudio bibliográfico desarrollado para identificar cuáles son los más utilizados en este contexto, obteniéndose los siguientes valores.

Tiny está compuesto por tres sitios que los llamaremos A, B y C cada uno con 3, 2 y 2 sectores respectivamente, como se muestra en la ilustración 13.

Ilustración 13. Escenario Tiny



Fuente: (Eisenblätter, A., Koster, A., 1996)

Para entender de una mejor manera el escenario lo vamos a ver en una tabla detallando las celdas y el número de transmisores para cada una.

Tabla 7. Celdas para escenario Tiny

CELDA	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2
NÚMERO DE TRANSMISORES	1	3	2	2	1	1	2

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Un ejemplo de asignación de para el escenario Tiny se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Asignación de frecuencias para escenario Tiny

CELDA	A1	A2			A3		B1		B2	C1	C2	
TRANSMISOR	0	0	1	2	0	1	0	1	0	0	0	1
CANAL	16	5	9	13	15	7	11	16	7	12	6	10

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Tabla 9.Resultados Instancia Tiny con H1

EJECUCIÓN	MEJOR FITNESS ENCONTRADO	INTERFERENCIA	CANALES BLOQUEADOS	SEPARACIONES VIOLADAS	GENERACIÓN DE ENCUENTRO DEL MEJOR	TIEMPO (en horas)
1	1	0.25	0	0	150	0.047
2	1	0.45	0	0	160	0.126
3	1	0.02	0	0	100	0.072
4	1	0.59	0	0	145	0.218
5	1	0.03	0	0	260	0.235
6	1	0.44	0	0	254	0.232
7	1	0.54	0	0	351	0.285
8	1	0.07	0	0	122	0.034
9	1	0.25	0	0	307	0.218
10	1	0.05	0	0	42	0.028
PROMEDIO	1	0.269	0	0	189.1	0.15
DESVÍO ESTÁNDAR	0	0.222583318	0	0	98.74259466	0.10

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Tabla 10. Resultados Instancia Tiny con H2

EJECUCIÓN	MEJOR FITNESS ENCONTRADO	INTERFERENCIA	CANALES BLOQUEADOS	SEPARACIONES VIOLADAS	GENERACIÓN DE ENCUENTRO DEL MEJOR	TIEMPO (en horas)
1	1	0.01	0	0	2	0.001
2	1	0.00	0	0	141	0.047
3	1	0.00	0	0	161	0.054
4	1	0.01	0	0	9	0.003
5	1	0.00	0	0	214	0.072
6	1	0.00	0	0	212	0.036
7	1	0.00	0	0	11	0.002
8	1	0.00	0	0	1	0.000
9	1	0.00	0	0	307	0.051
10	1	0.00	0	0	9	0.002
PROMEDIO	1	0.002	0	0	106.7	0.03
DESVÍO ESTÁNDAR	0	0.00421637	0	0	114.1296047	0.03

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Tabla 11. Resultados Instancia Tiny con H3

EJECUCIÓN	MEJOR FITNESS ENCONTRADO	INTERFERENCIA	CANALES BLOQUEADOS	SEPARACIONES VIOLADAS	GENERACIÓN DE ENCUENTRO DEL MEJOR	TIEMPO (en horas)
1	1	0.75	0	0	45	0.071
2	1	0.45	0	0	87	0.099
3	1	0.87	0	0	156	0.158
4	1	0.56	0	0	145	0.127
5	1	0.95	0	0	89	0.044
6	1	0.63	0	0	100	0.051
7	1	0.88	0	0	75	0.043
8	1	0.45	0	0	132	0.072
9	1	1.03	0	0	198	0.274
10	1	0.58	0	0	124	0.183
PROMEDIO	1	0.715	0	0	115.1	0.11
DESVÍO ESTÁNDAR	0	0.209986772	0	0	44.75228113	0.07

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

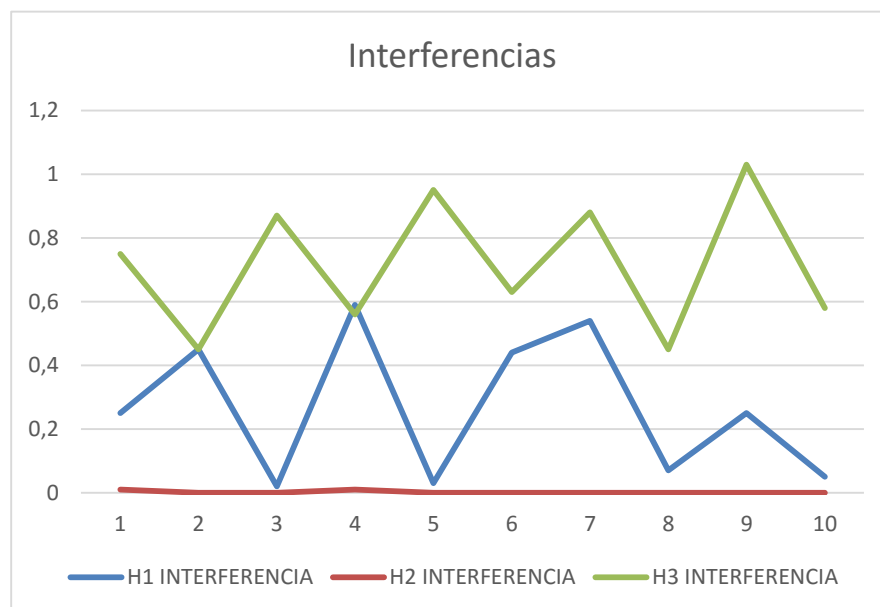
Tabla 12. Resultados Comparación Tiny con H1, H2, H3

H ¹		H ²		H ³	
INTERFERENCIA	TIEMPO (en horas)	INTERFERENCIA	TIEMPO (en horas)	INTERFERENCIA	TIEMPO (en horas)
0.25	0.047	0.01	0.001	0.75	0.071
0.45	0.126	0.00	0.047	0.45	0.099
0.02	0.072	0.00	0.054	0.87	0.158
0.59	0.218	0.01	0.003	0.56	0.127
0.03	0.235	0.00	0.072	0.95	0.044
0.44	0.232	0.00	0.036	0.63	0.051
0.54	0.285	0.00	0.002	0.88	0.043
0.07	0.034	0.00	0.000	0.45	0.072
0.25	0.218	0.00	0.051	1.03	0.274
0.05	0.028	0.00	0.002	0.58	0.183
0.269	0.15	0.002	0.026851224	0.715	0.112380917
0.222583318	0.10	0.00421637	0.027969352	0.209986772	0.07461538

Fuente: Investigación

Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

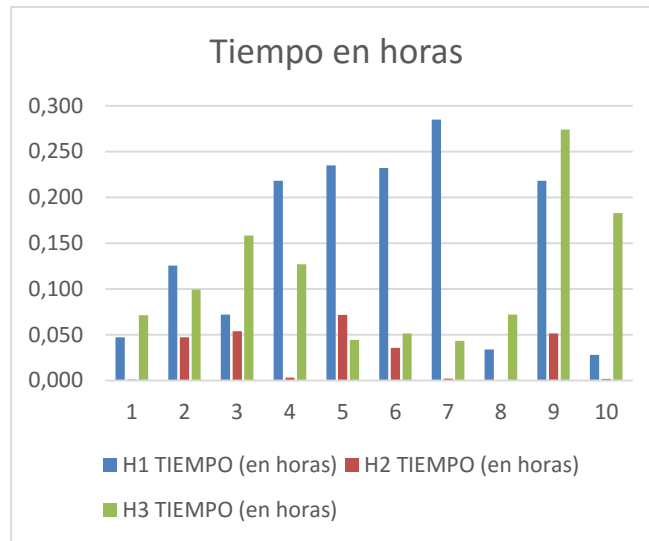
Ilustración 14.Comparación Interferencias Tiny con H1, H2, H3



Fuente: Investigación

Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Ilustración 15.Comparación Tiempos Tiny con H1, H2, H3



Fuente: Investigación

Autor: Ing. Emilio Zhuma M.

Conclusión Parcial 1

Comparando los resultados de las 3 heurísticas en el escenario Tiny, notamos que la heurística 2 H^2 es la que mejores resultados obtiene, esto se debe a que la interferencia es mucha más baja ya que la heurística trabaja de forma directa en el proceso de selección con las matrices de interferencias de canal adyacente y de co-canal, en cambio H^1 trabaja sobre la reutilización de frecuencias donde va premiando la frecuencia reusada y esto puede afectar en los tiempos de interferencia y la heurística H^3 además de trabajar como la heurística H^2 realiza otro proceso de generar vecindades por cada elemento de la vecindad esto puede afectar la búsqueda de soluciones y comienza a discriminar mucho en la vecindad de la vecindad pronosticada.

4.2.3.2. Resultados de AS en la instancias K

Ilustración 16.Resultados Instancia K con H1

EJECUCIÓN	MEJOR FITNESS ENCONTRADO	INTERFERENCIA	CANALES BLOQUEADOS	SEPARACIONES VIOLADAS	GENERACIÓN DE ENCUENTRO DEL MEJOR	TIEMPO (en horas)
1	1	0.963	0	0	963	0.990
2	1	0.854	0	0	925	0.714
3	1	0.832	0	0	866	0.658
4	1	0.952	0	0	985	1.078
5	1	0.82	0	0	785	0.583
6	1	0.80	0	0	845	0.599
7	1	0.93	0	0	954	0.893
8	1	0.86	0	0	825	0.594
9	1	1.09	0	0	987	1.006
10	1	1.00	0	0	965	0.994
PROMEDIO	1	0.9107	0	0	910	0.81
DESVÍO ESTÁNDAR	0	0.092754215	0	0	73.45444544	0.20

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Ilustración 17. Resultados Instancia K con H2

EJECUCIÓN	MEJOR FITNESS ENCONTRADO	INTERFERENCIA	CANALES BLOQUEADOS	SEPARACIONES VIOLADAS	GENERACIÓN DE ENCUENTRO DEL MEJOR	TIEMPO (en horas)
1	1	0.56	0	0	345	0.268
2	1	0.39	0	0	324	0.246
3	1	0.37	0	0	265	0.190
4	1	0.48	0	0	456	0.369
5	1	0.36	0	0	345	0.412
6	1	0.42	0	0	321	0.398
7	1	0.64	0	0	521	0.443
8	1	0.60	0	0	654	0.482
9	1	0.33	0	0	189	0.258
10	1	0.41	0	0	399	0.321
PROMEDIO	1	0.456	0	0	381.9	0.34
DESVÍO ESTÁNDAR	0	0.10864826	0	0	133.2628564	0.10

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Ilustración 18. Resultados Instancia K con H3

EJECUCIÓN	MEJOR FITNESS ENCONTRADO	INTERFERENCIA	CANALES BLOQUEADOS	SEPARACIONES VIOLADAS	GENERACIÓN DE ENCUENTRO DEL MEJOR	TIEMPO (en horas)
1	1	0.99	0	0	45	1.075
2	1	1.03	0	0	87	1.360
3	1	0.85	0	0	156	0.980
4	1	1.1	0	0	145	1.210
5	1	1.03	0	0	89	1.980
6	1	1.78	0	0	100	1.650
7	1	1.00	0	0	75	1.240
8	1	1.00	0	0	132	1.390
9	1	1.00	0	0	198	1.400
10	1	1.02	0	0	124	1.870
PROMEDIO	1	1.08	0	0	115.1	1.42
DESVÍO ESTÁNDAR	0	0.253683968	0	0	44.75228113	0.33

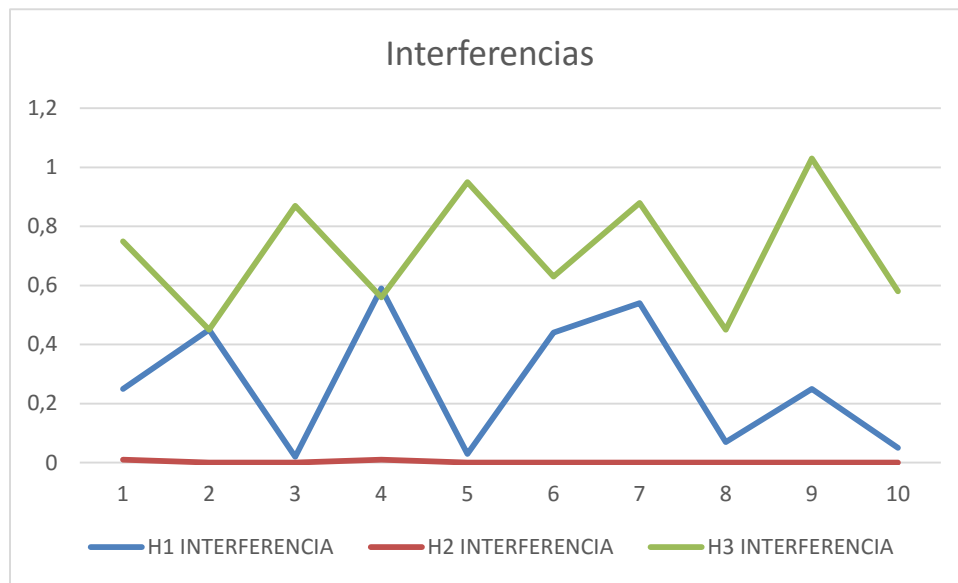
Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Ilustración 19. Resultados Comparación K con H1, H2, H3

H1		H2		H3	
INTERFERENCIA	TIEMPO (en horas)	INTERFERENCIA	TIEMPO (en horas)	INTERFERENCIA	TIEMPO (en horas)
0.963	0.990	0.56	0.268	0.99	1.075
0.854	0.714	0.39	0.246	1.03	1.360
0.832	0.658	0.37	0.190	0.85	0.980
0.952	1.078	0.48	0.369	1.1	1.210
0.82	0.583	0.36	0.412	1.03	1.980
0.80	0.599	0.42	0.398	1.78	1.650
0.93	0.893	0.64	0.443	1.00	1.240
0.86	0.594	0.60	0.482	1.00	1.390
1.09	1.006	0.33	0.258	1.00	1.400
1.00	0.994	0.41	0.321	1.02	1.870
0.9107	0.81	0.456	0.338654418	1.08	1.42
0.092754215	0.20	0.10864826	0.096502585	0.253683968	0.33

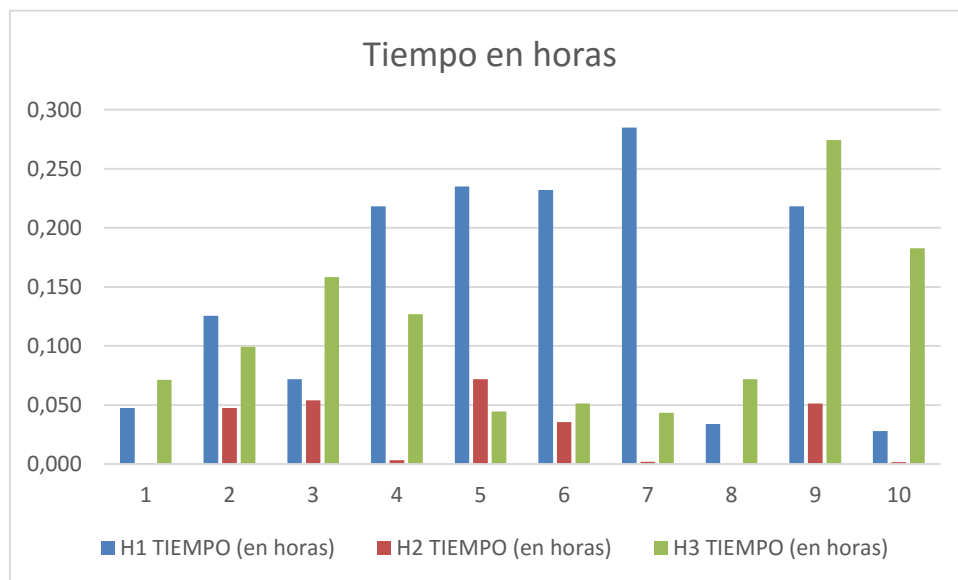
Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Ilustración 20.Comparación Interferencias K con H1, H2, H3



Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Ilustración 21. Comparación Tiempos de K con H1, H2, H3



Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Conclusión Parcial 2

Comparando los resultados de las tres heurísticas en el escenario K donde el escenario tiene 264 celdas y en total hay 267 transmisores, vemos que la heurística H^2 es la que mejores resultados sigue obteniendo, esto se debe a que la interferencia es mucha más baja ya que la heurística trabaja de forma directa en el proceso de selección con las matrices de interferencias de canal adyacente y de co-canal, en cambio H^1 trabaja sobre la reutilización de frecuencias donde va premiando la frecuencia reusada y esto puede afectar en los tiempos de interferencia y la heurística H^3 además de trabajar como la heurística H^2 realiza otro proceso de generar vecindades por cada elemento de la vecindad esto puede afectar la búsqueda de soluciones y comienza a discriminar mucho en la vecindad de la vecindad pronosticada.

4.3. Estudio comparativo con el algoritmo evolutivo CHC y Algoritmo Genético secuencial AG

A continuación se compara el trabajo realizado con el algoritmo CHC (Cross generational elitist selection, Heterogeneous recombination, and Cataclysmic mutation), es un algoritmo que fue probado en trabajos similares de asignación de frecuencias.

El algoritmo CHC es una variante del AG clásico propuesta por (Eshelman, 1991). Utiliza una estrategia de selección elitista y el operador de cruzamiento uniforme (HUX), que intercambia exactamente la mitad de los bits diferentes entre dos individuos padre. Solo se permite el cruce entre individuos que difieran bit a bit una cierta distancia, inicializada en $1/4$ del largo del cromosoma utilizado y disminuida en 1 en cada generación en que no se generan descendientes. La diversidad no se introduce mediante un operador de mutación, sino por un mecanismo de re inicialización, que se aplica al detectar la convergencia.

Tabla 13. Comparación Interferencia Algoritmo AS y CHC en escenario K

EJECUCIÓN	AS H2 INTERFERENCIA	Generación de encuentro del mejor	CHC INTERFERENCIA	Generación de encuentro del mejor
1	0.56	345	2.20434	30740
2	0.39	324	1.96756	65153
3	0.37	265	2.05517	64562
4	0.48	456	2.15896	55125
5	0.36	345	2.22537	67839
6	0.42	321	2.91982	64402
7	0.64	521	2.36023	68078
8	0.6	654	2.08572	58217
9	0.33	189	2.39657	57594
10	0.41	399	2.39130	59499
PROMEDIO	0.456	381.9	2.2755025	59121
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.10864826	133.2628564	0.2684777	10928

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Tabla 14. Comparación de Tiempos Algoritmo AS y CHC en escenario K

EJECUCIÓN	AS H2 TIEMPO (en horas)	Generación de encuentro del mejor	CHC TIEMPO (en horas)	Generación de encuentro del mejor
1	0.268	345	16.65	30740
2	0.246	324	16.47	65153
3	0.19	265	16.56	64562
4	0.369	456	16.54	55125
5	0.412	345	16.77	67839
6	0.398	321	16.65	64402
7	0.443	521	16.72	68078
8	0.482	654	16.23	58217
9	0.258	189	16.33	57594
10	0.321	399	16.39	59499
PROMEDIO	0.34	381.9	16.53	59121
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.1	133.2628564	0.17	10928

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Tabla 15. .Comparación de Interferencias Algoritmo AS y AG en escenario Tiny

EJECUCIÓN	AS H2 INTERFERENCIA	AS- Generación de encuentro del mejor	AG INTERFERENCIA	CHC-Generación de encuentro del mejor
1	0.01	2	0.02	21705
2	0	141	0.02	29937
3	0	161	0.02	23645
4	0.01	9	0.02	27570
5	0	214	0.02	20896
6	0	212	0.02	18481
7	0	11	0.02	24086
8	0	1	0.03	7883
9	0	307	0.02	33108
10	0	9	0.02	12155
PROMEDIO	0.002	106.7	0.021	21947
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.00421637	114.1296047	0.0031623	7705

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Tabla 16.Comparación de Tiempos Algoritmo AS y AG en escenario Tiny

EJECUCIÓN	AS H2 TIEMPO (en horas)	Generación de encuentro del mejor	AG TIEMPO (en horas)	Generación de encuentro del mejor
1	0.001	2	0.05	21705
2	0.047	141	0.04	29937
3	0.054	161	0.05	23645
4	0.003	9	0.05	27570
5	0.072	214	0.05	20896
6	0.036	212	0.05	18481
7	0.002	11	0.05	24086
8	0	1	0.05	7883
9	0.051	307	0.05	33108
10	0.002	9	0.05	12155
PROMEDIO	0.03	106.7	0.05	21947
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.03	114.1296047	0.00	7705

Fuente: Investigación
Autor: Ing. Emilio Zhuma M

Conclusión Parcial 3

Con los resultados presentados de las comparaciones de interferencias y tiempos y en que generación se encontró una solución válida, notamos que la heurística H^2 presentada en nuestra investigación es la que mejores resultados obtiene, esto se debe a que la interferencia es mucha más baja, los tiempos más bajos ya que la heurística es constructivista y en el proceso de selección trabaja de forma directa con las matrices de interferencias de canal adyacente, co-canal y la matriz de separación. En cambio notamos que los algoritmos genéticos generan demasiadas posibles combinaciones que después de generarlas va comprobando una por una hasta encontrar la solución correcta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones Generales

Realizado el proceso de investigación, **“ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS COMO PROBLEMA REAL EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES. AÑO 2015.”**, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Con la investigación se obtuvo un modelo para aplicar el algoritmo de colonia de hormigas. Se pudo corroborar que la factibilidad de esta técnica es posible de usar en los problemas de asignación de frecuencias y supera en gran medida al algoritmo genético con el que se comparó tanto en valores de interferencia como en tiempos de ejecución.
- La investigación permitió identificar como se clasifica los problemas de la asignación de frecuencias cuáles son sus características, los parámetros que usa, se eligió la (MI-FAP) que utiliza los valores de interferencia co-canal y canal adyacente, además se definió los escenarios donde se probó el algoritmo AS.
- Se probaron tres heurísticas en los escenarios seleccionados, se seleccionó la heurística 2 H^2 que fue la que obtuvo mejores resultados esto se debe a que trabaja directamente con las interferencias, vecindades de frecuencias y una matriz de feromona que es la que nos da el rastro para seleccionar la próxima frecuencia a utilizar en el conjunto de celdas.
- Se compararon los resultados obtenidos de la heurística H^2 con resultados obtenidos utilizando un algoritmo genético y su variante CHC. Los resultados de H^2 fueron mejores tanto en valores de interferencia como en tiempo como se puede observar en los resultados mostrados.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda ejecutar el algoritmo AS para la asignación de frecuencias en nuevos escenarios donde el número de celdas y de transmisores sea mucho mayor para determinar la calidad de soluciones y efectividad del algoritmo.
- Conociendo los parámetros que se toman en cuenta en el problema de asignación de frecuencias como los valores de interferencia, valores de separación y canales bloqueados se propone investigar, identificar e Implementar el algoritmo AS, en tecnologías 4G.
- Comparar resultados obtenidos en la investigación propuesta con escenarios donde el volumen de celdas, transmisores, valores de interferencia y de separación sean más complejos.

ANEXOS

ANEXO 1

Escenarios COST 259

COST (*European COoperation in the field of Scientific and Technical Research*) es una reconocida red de investigación en Europa, basada en un marco de trabajo intergubernamental que involucra 34 estados miembros e Israel como estado cooperador. COST abarca 13 dominios científicos entre los cuales se encuentra el de interés para este proyecto: telecomunicaciones, ciencia de la información y tecnología (TIST).

Dentro del grupo TIST se desarrollan diferentes proyectos entre los cuales se encuentra COST 2596, el cual es descrito someramente a continuación.

COST 259 (Eisenblätter, A., Koster, A., 1996) está compuesto por varios grupos: “*Radio System Aspects*”, “*Propagation & Antenas*” y “*Network Aspects*”. Dentro de este último se encuentra el subgrupo “*Standard Scenarios for Frequency Planning*” que tiene como objetivo brindar un conjunto de escenarios de planificación de frecuencias (reales y artificiales) que sirvan como base estándar para ejecutar algoritmos de planeamiento de asignación de frecuencias y determinar la calidad de sus resultados, permitiendo realizar dos tipos de comparaciones: el comportamiento de un algoritmo sobre diferentes escenarios y el de diferentes algoritmos en un mismo escenario.

Cada escenario consta de varios archivos disponibles en Internet, con un formato estándar descrito en el trabajo de (Eisenblätter, A., Koster, A., 1996). Este formato común facilita el intercambio de escenarios entre investigadores.

Un escenario es una descripción de la estructura subyacente de una red celular telefónica, que detalla los siguientes componentes intervinientes:

- Sitio: Conjunto de sectores de una red.
- Sector: Da servicio a una celda y tiene instalados varios transmisores.
- Celda: Región física cubierta por un sector.

- Transmisor: Elemento de comunicación que utiliza una determinada frecuencia.
- Canal o *Carrier*: Es equivalente a una frecuencia.
- Restricciones: Cada celda puede tener restricciones que implican que haya canales localmente bloqueados, es decir, que dicha celda no tiene la posibilidad de utilizar estos canales para ninguna comunicación. Estas restricciones pueden catalogarse en técnicas y regulatorias. Las primeras se deben a aspectos físicos de las comunicaciones inalámbricas mencionados anteriormente en este capítulo, mientras que las segundas se corresponden con cuestiones gubernamentales originadas por la proximidad física entre países.
- Handover: Cuando un teléfono móvil que está manteniendo una comunicación, se desplaza de una celda a otra es necesario cambiar de la frecuencia que se está utilizando a una frecuencia perteneciente a la celda que se comenzará a utilizar.
- Este proceso, también denominado *handoff* o transferencia de celda, es muy complejo y delicado pues tiene que ser transparente para quien este manteniendo dicha comunicación.

Para definir completamente un escenario deben especificarse un conjunto de parámetros que se dividen en tres grupos: que se presentan en las subsecciones siguientes.

Parámetros de información general

- Identificador de escenario (*scenario identifier*): nombre del escenario que lo distingue unívocamente.
- Comentarios del escenario (*scenario annotation*): información extra del escenario (opcional).
- Tipo de red (*network type*): los tipos posibles son GSM900 y GSM1800.

- Espectro (*spectrum*): Intervalo de frecuencias disponibles. Si hubiera frecuencias no disponibles dentro de ese intervalo, se listan como “canales globalmente bloqueados”.
- Canales globalmente bloqueados (*globally blocked channels*): Un canal está globalmente bloqueado si se encuentra dentro del espectro pero no puede utilizarse en la asignación de frecuencias por alguna razón (opcional).
- Separación co-sitio (*co-site separation*): Mínima separación necesaria entre canales pertenecientes al mismo sitio. Se asume que esta separación es la misma para todos los sitios.
- Separación co-celda por defecto (*default co-cell separation*): Mínima separación necesaria entre canales usados en la misma celda. Debido a las diferentes tecnologías de transmisión, la separación co-celda puede variar en diferentes celdas. La separación aquí definida es la que se adopta en el caso de no especificarse lo contrario.
- Separación de *handover* (*handover separation*): Especifica la separación necesaria entre canales intervinientes en el *handover*.
- Interferencia mínima significativa (*minimal significant interference*): Todas las relaciones de interferencia conocidas entre celdas deberían ser especificadas en la descripción del escenario para lograr el mayor entendimiento posible de la estructura del mismo. Este parámetro será usado como límite para descartar las interferencias muy pequeñas (opcional).
- Interferencia máxima tolerable (*maximal tolerable interference*): Este parámetro es utilizado como cota superior para la máxima interferencia admisible. Las tasas de interferencia que excedan este límite son

descartadas introduciendo un requerimiento de separación con un valor suficientemente alto (opcional).

- Modelo de demanda (*demand model*): Un modelo de demanda absoluta especifica la cantidad de canales necesarios por cada celda. Dado que en general esta información suele ser confidencial, surge el modelo de tráfico normalizado, en el cual para cada celda se especifica el tráfico esperado, que se utiliza para derivar el número de canales por celda.
- Ubicaciones de sitios (*site locations*): Para una representación gráfica del escenario, las coordenadas cartesianas son extremadamente útiles. Los valores de estos parámetros indican dónde están ubicados los sitios. Si esta información fuera confidencial, pueden utilizarse coordenadas aproximadas y aun así serán de gran utilidad para el diseño del algoritmo de asignación de frecuencias y para el análisis de estructura de escenarios.

Celdas

- Nombre del sitio (*site name*): Este parámetro indica el nombre del sitio al que pertenece la celda.
- Sector (*sector*): Indica el número de sector que cubre a la celda.
- Demanda (*demand*): Depende del modelo de demanda usado. Puede estar determinado por el número de canales usados en la celda ó el tráfico de celda normalizado.
- Ubicación (*location*): Par (x,y) que determina las coordenadas cartesianas del sitio (opcional).
- Canales localmente bloqueados (*locally blocked channels*): Listado de canales que la celda no puede utilizar (opcional).
- Separación co-celda (*co-cell separation*): En este parámetro se especifica la separación entre los canales de una determinada celda en el caso de diferir de la separación co-celda por defecto (opcional).

Parámetros referentes a relaciones entre dos celdas

Estos parámetros se especifican para un par ordenado de celdas (x, y) . Es importante destacar que las relaciones para (x, y) difieren de las de (y, x) .

- Handover: El valor de este parámetro especifica si es posible el *handover* desde la primera celda a la segunda (opcional).
- Separación (*separation*): Especifica la separación mínima necesaria entre los canales asignados a los pares de celdas involucrados. Si este parámetro es provisto no se tienen en cuenta las posibles mayores mínimas separaciones debido a las relaciones de *handover* u otras (opcional).
- Interferencia (*interference*): La interferencia de una celda a otra puede ser especificada en términos del área o tráfico afectado. La tasa de interferencia es un valor entre 0 y 1 y la interferencia se compone de dos valores que varían entre 0 y 1. Uno de los valores de interferencia es llamado interferencia co-canal (*co-channel interference*), que es la que puede ocurrir si dos transmisores utilizan el mismo canal, el otro es conocido como interferencia de canal adyacente (*adjacent-channel interference*) que es la que puede producirse cuando los canales asignados a dos transmisores difieren en una unidad (opcional).

Ejemplo de un escenario de cost259

Para poder diseñar una solución al problema de asignación de frecuencias es necesario analizar la información brindada para un escenario. Mediante un ejemplo se intentará mostrar cual es la información que puede extraerse de un escenario. En particular se utilizará para esto un escenario COST 259 llamado *Tiny*, el cual como su nombre lo indica, posee un tamaño ínfimo. Éste y otros escenarios están disponibles en la página oficial de FAP en Internet (FAP, 2006)

Datos generales

El escenario *Tiny* está compuesto por tres sitios llamados A, B y C cada uno con 3, 2 y 2 sectores (y por ende celdas) respectivamente.

Los valores encerrados entre paréntesis en la figura 3.5 se corresponden con las coordenadas cartesianas de las celdas, datos que para este trabajo en particular no son relevantes.

Cada celda tiene instalado un determinado número de transmisores que son presentados en la tabla 3.1. En este caso la celda A1 tiene instalado un transmisor, la celda A2 tiene instalados tres transmisores y así sucesivamente.

Restricciones

El problema que se intenta resolver consiste en hallar una asignación de frecuencias de manera tal que se minimice la suma total de interferencias y se asegure el servicio.

Esto no es una tarea sencilla y, como ya se explicó en secciones anteriores, existen condicionantes físicos y políticos que implican restricciones del problema. Una buena solución será aquella que satisfaga de mejor manera las restricciones del escenario, presentadas a continuación:

- **Separación**

Una separación es la distancia física entre canales de transmisión que se obtiene de calcular la diferencia entre el mayor y el menor. Por ejemplo, los canales 7 y 5 tienen entre ellos una separación de 2. Mientras más próximas sean las frecuencias o canales, mayor es el riesgo de que se produzcan interferencias.

Es por esto que el escenario impone determinadas separaciones mediante sus parámetros “separación co-sitio”, “separación co-celda” y “separación de handover”, explicados en secciones anteriores.

Si se consideran estos tres tipos de separaciones, puede obtenerse la separación mínima necesaria entre cada uno de los pares de transmisores del escenario, dato puede ser de mucha utilidad a la hora de decidir una asignación de frecuencias para no incurrir en interferencias inaceptables.

La propuesta presentada en este trabajo para representar la separación requerida consiste en una matriz S , cuadrada, simétrica donde las filas y columnas representan canales de cada una de las celdas del escenario. Así ij S representa la separación mínima necesaria entre las frecuencias asignadas a los transmisores i y j .

En la siguiente tabla se representan los requerimientos de separación del escenario Tiny, en donde por ejemplo la separación necesaria entre el transmisor 2 de la celda A2 y el transmisor 1 de la celda B1 es 1.

		A1	A2				A3		B1		B2	C1	C2	
		0	0	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	1
A1	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	2	0	3	3	2	2	2	1	0	0	0	0	0
	1	2	3	0	3	2	2	2	1	0	0	0	0	0
	2	2	3	3	0	2	2	2	1	0	0	0	0	0
A3	0	2	2	2	2	0	3	0	0	0	0	2	2	2
	1	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	2	2	1
B1	0	0	2	2	2	0	0	0	3	2	0	2	2	1
	1	0	1	1	1	0	0	3	0	2	0	2	2	1
B2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2	1
C1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	2	2
C2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0	3
	1	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2	3	0

Matriz de separaciones S para el escenario Tiny.

- **Canales bloqueados**

Existen en el escenario canales bloqueados local o globalmente. Un canal bloqueado implica que no puede ser utilizado por ningún transmisor del

escenario o de la celda, dependiendo de si se trata de un bloqueo global o local respectivamente.

En el presente trabajo se propone representar en una matriz de canales bloqueados donde las filas representan los canales del espectro y las columnas cada uno de los transmisores de las celdas.

De existir un canal globalmente bloqueado, toda la fila del canal estará en 1 (no es el caso del escenario *Tiny*). La matriz de canales bloqueados permite saber si un canal puede ser utilizado o no en una celda determinada.

	A1	A2			A3		B1		B2	C1	C2	
	0	0	1	2	0	1	0	1	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Matriz de canales bloqueados para el escenario *Tiny*.

- **Interferencia**

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta para resolver este problema es la interferencia entre celdas, ya que como se ha mencionado antes, el objetivo es minimizar la suma total de las mismas. Hay dos tipos de interferencia que son relevantes al problema: la interferencia co-canal y la interferencia de canal adyacente. La matriz con los valores de interferencia co-canal.

Matriz de separaciones S para el escenario Tiny			
interfering cell	interfered cell	co-channel interference	adjacent-channel interference
A 2	B 1	0.30	0.10
A 2	B 2	0.10	0.02
A 3	C 1	0.05	0.00
A 3	C 2	0.20	0.06
B 1	A 1	0.01	0.00
B 1	A 2	0.25	0.09
B 1	C 2	0.25	0.08
B 2	C 2	0.15	0.04
C 1	A 3	0.01	0.00
C 2	A 2	0.06	0.01
C 2	A 3	0.12	0.03
C 2	B 2	0.25	0.08

Matriz de interferencias para el escenario Tiny.

Bibliografía

- A. Acan and A. Günay . (2005). An external memory supported ACO for the frequency assignment problem. *In Adaptive and Natural Computing Algorithms*, 365-368.
- Anguera, J., & Perez, A. (2011). *Teoría de Antenas*.
- Bäck, T., U. Hammel, y H. Schwefel. (1997). Evolutionary Computation: Comments on the History and Current State. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation Estados Unidos*, 3-17.
- Badr, A. y Fahmy, A. (2003). A Prof. Of convergente for Ant algortihms. *Information Sciences 160 issues 1-4,,* 267-279.
- Bello, R and A. Puris. (2006). Two Step Ant Colony System to Solve the Feature Selection Problem. *11th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition CIARP*, (págs. 588-596). Mexico.
- Bonabeau, E. (1999). Swarm Intelligence: From natural to artificial systems. *Oxford University Press*.
- Brassard, Gilles; Bratle, Paul. (1997). *Fundamentos de Algoritmia*. Madrid : Prentice Hall.
- Cano, J.R., F. Herrera, y M. Lozano. (2003). Using Evolutionary Algorithms as Instance Selection for Data Reduction in KDD: An Experimental Study. *IEEE Transactions of Evolutionary Computation*, 561-575.
- Cristian Perfumo, G. M. (2006). Algoritmos genéticos paralelos Aplicados a la resolución de Problemas de asignación de Frecuencias en redes celulares.
- Dorigo M, M. y. (1996). The Ant System Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transaction on System Man & Cybernetics vol 26, No 1*, 1-13.
- Dorigo M. et al. . (1999). Ant algorithms for discrete optimization. *Artificial life 5(2): MIT Press*, 1999., 137-172.
- Dorigo M. et al. (1996). The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. . *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B, vol. 26, no.1*, 1-13.
- Dorigo M. y G. Di Caro. (1999). The Ant Colony Optimization meta-heuristic. (M. D. D. Corne, Ed.) *New Ideas in Optimization*, 11-32.
- Dorigo M. y Gambardella L. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol 1, No. 1*, 53-66.
- Dorigo M. y L.M. Gambardella. (1997). Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem. *BioSystems, Nº 43*, 73-81.

- Dorigo M., M. V. (1996). The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B*, vol. 26, no. 1, 1-13.
- Eberhart, J. K. (1995). Particle swarm optimization. in on neural networks. Piscataway, NJ.
- Eisenblätter, A., Koster, A. (1996). *COST 259. Wireless Flexible Personalized Communications*.
Obtenido de <http://fap.zib.de/problems/COST259/>.
- Engelbrecht, A. (2006). *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence*. John Wiley y Sons.
- Eshelman, L. (1991). The CHC adaptive search algorithm: How to have safe search when engaging in nontraditional genetic recombination. *Foundations of Genetic Algorithms*, 265-283.
- F. Comellas and J. Ozón. (2002). Agentes Distribuidos para la asignación de frecuencias hopping en redes celulares. *Primer Congreso Español de Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados*, (págs. 139-145).
- FAP. (2006). *FAP - Frequency Assignment Problems*. Obtenido de <http://fap.zib.de/index.php>
- Glover, F y M. Laguna,. (1997). Tabu Search. *Kluwer Academic Publisher*.
- Glover, F. y G. Kochenberger, eds. (2003). Handbook of Metaheuristics. *Kluwer Academic Publisher*.
- Hansen, P., N. Mladenovic, y J.A.M. Pérez. (2008). Variable Neighborhood Search. *European Journal of Operational Research*, 593-595.
- Hooker, J. (1995). Testing Heuristic: We Heve it All Wrong. *Journal of Heuristic*, 33-42.
- Hoos, H.H. y T. Stutzle. (1983). Search Algorithms for SAT: An empirical evaluation. *Journal of Automated Reasoning*, 421-481.
- J. Abril, F. Comellas, F. Cortés, J. Ozón, and M. Vaquer. (2000). A multiagent system for frequency assginment in cellular radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1558-1565.
- Kirkpatrick, S., C. Gellat, y M. Vecchi. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 671-680.
- Koster, A. (1999). Frequency Assignment, Models and Algorithms. Ph.D Thesis, Universiteit Maastricht,. The Netherlands.
- L., D. M. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol 1, No. 1, 53-66.
- M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet. (1992). *The GSM System for Mobile*. Published by the authors.
- M.Mouly, M.B. Paulet. (1992). *The GSM System for Mobile Comunications*. France.

- Michalewics, Z, y D. Fogel. (2004). How to solve it . Modern Heuristics. *Springer*, 554.
- monografias.com*. (s.f.). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos69/normas-fibra-optica/normas-fibra-optica2.shtml>
- O' Brien, J. A. & Marakas, G. M. (2008). *Management Information System*. New York: McGraw-Hill Irwin.
- Puris, A. and R. Bello. (2007). Two Step Ant Colony Optimzation for solving Salesman Problem. *2nd International work-conference on the interplay Between natural and artificial computation*, (págs. 307-316). España.
- R. Ayuso, B. Ceña, M. Fernández, B. Milan, Ma. Saturnina Torre. (1999). *Comunicaciones Móviles GSM*. Fundación Airtel .
- R. Montemanni, D. a. (2002). An ANTS algorithm for the minimun-span frequency problem with multiple interference. *IEEE transactions on vehicular Technology*, 949-953.
- Rappaport, T. S. (1996). *WIRELESS Communications, Principles & Practice*. Pretince Hall.
- Reeves, C. (1995). *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. UK: Ed. McGraw-Hill.
- Resende, T. (1989). A probabilistic heuristic for a computational difficult set covering problems. *Operations research letters*, 67–71.
- S.M. Redl, M.K. Weber, M.W. Oliphant. (1995). *An Introduccion GSM*. Artech House Publishers.
- Telecomunicaciones, L. d. (2005). *La telecomunicaciones y la movilidad en la sociedad de la información*.
- Telectrónica. (2009). *INTRODUCCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA*.
- V. Maniezzo and A. Carbonaro. (2000). An ANTS Heuristics for the frecuency assignment problem. *Future Generation Computer Systems*, 927-935.
- Voudouris, C. y E.Tsang. (1995). *Guided Local Search Technical Report CSM-247* . Department of Computer Science.