

## Asignación de frecuencias en redes móviles gsm utilizando meta heurística aco

---

**Zhuma Mera, Emilio; Puris Cáceres, Amilkar**

Asignación de frecuencias en redes móviles gsm utilizando meta heurística aco

Centro Sur, vol. 4, núm. 1, 2020

Grupo Compás, Ecuador

**Disponible en:** <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=588861673023>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.


# Asignación de frecuencias en redes móviles gsm utilizando meta heurística aco

Frequency assignment in gsm mobile networks using aco heuristic goal

Emilio Zhuma Mera [emiliozhuma@hotmail.com](mailto:emiliozhuma@hotmail.com)  
UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO, Ecuador

 <http://orcid.org/0000-0002-3086-1413>

Amilkar Puris Cáceres [amilkarpuris@hotmail.com](mailto:amilkarpuris@hotmail.com)  
UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO, Ecuador

 <http://orcid.org/0000-0002-7288-7451>

Centro Sur, vol. 4, núm. 1, 2020

Grupo Compás, Ecuador

Recepción: 13 Julio 2019  
Aprobación: 20 Diciembre 2019

Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=588861673023>

CC BY-NC-ND

**Resumen:** 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.

**Palabras clave:** celular, red optimización.

**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.

**Keywords:** cellular, network optimization. .

## 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.

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.

Las redes de telecomunicaciones en la actualidad son más complejas, en esencia porque deben atender una gama de requisitos más amplia, 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 subtareas un poco más pequeñas y fáciles de atender, también se limitó algunas de las posibilidades de diseño, estas subtareas 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.

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. Para la investigación se planea Diseñar una propuesta para aplicar la meta-heurística ACO a la asignación de frecuencias en las redes móviles GSM. 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 y evaluar el alcance del algoritmo propuesto a partir de un estudio comparativo con otras soluciones al problema de estudio.

### **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 reúso 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)

### **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

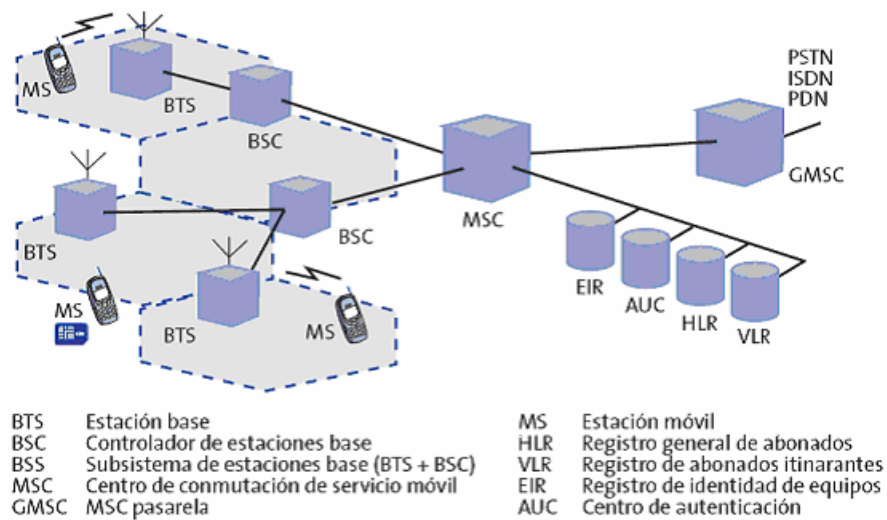
Sistema Técnica de acceso	Sistema Técnica de acceso
GSM	FDD /FDMA /TDMA
IS-54	FDD /FDMA /TDMA
IS-95	FDD /FDMA /CDMA

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

### 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)



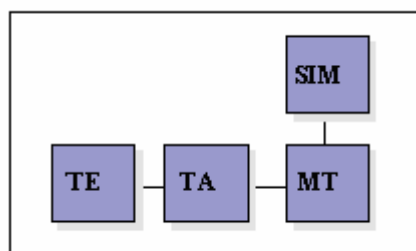
**Ilustración 1**  
 .Arquitectura de la red GSM  
 (Telecomunicaciones, 2005)

**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 2**  
 Elementos de la estación móvil  
 (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)

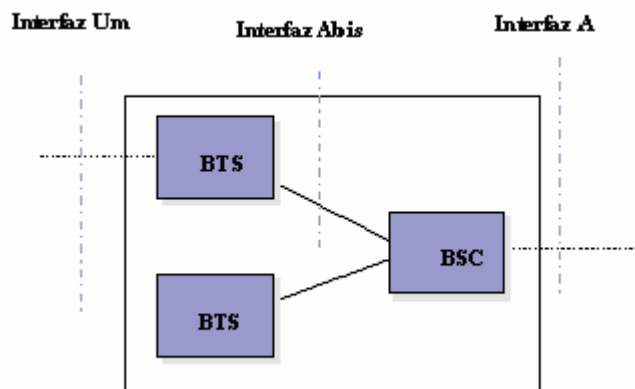
El BTS y el BSC se comunican a través de la interfaz Abis especificada, permitiendo operaciones entre los componentes que se hacen por diferentes proveedores. Los componentes de radio de un BSS pueden consistir de cuatro para siete o nueve celdas. Una BSS puede tener una o más estaciones base. El BSS 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 3

Subsistema estación base  
(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, trasposos, y encaminamiento de llamada a un abonado en itinerancia. (TutorialPoints, 2015)

· **Visitante Location Register (VLR)**

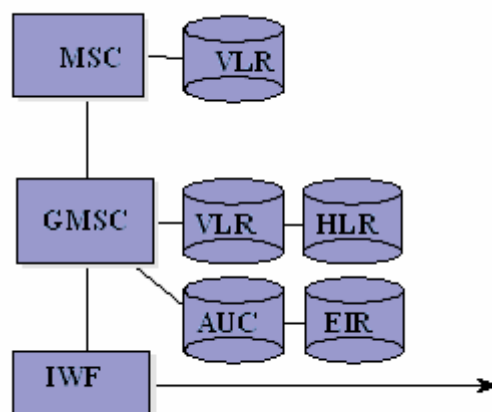
El VLR es una base de datos que contiene información temporal sobre los abonados que el MSC necesita para garantizar el servicio de abonados visitantes. El VLR está siempre integrada con el MSC. Cuando una estación móvil cambia a una nueva área de MSC, el VLR conectado a ese MSC pedirá datos sobre la 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 válido 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 4**

Subsistema de control y conmutación

(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).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

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. 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.

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.

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.

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.

Las investigaciones que utilizan cuasi-experimentos se enmarcan dentro de un grupo de restricciones, debido 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.

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.

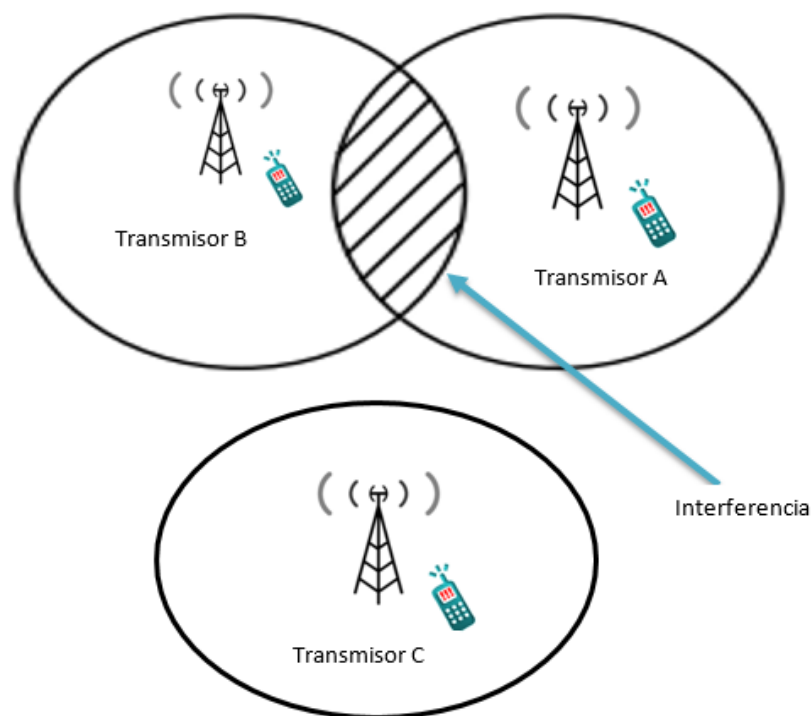
Una vez creados los ambientes el cuarto paso es la selección de los escenarios para probar los experimentos.

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.

## RESULTADOS

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 5**

**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  $f_{max}$  la frecuencia máxima disponible. Este ancho de banda se divide en  $N$  canales de un ancho  $\Delta$ , 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  $D_v$  ( $D_v \neq D$ ).

**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.

**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

## CONCLUSIONES

Realizado el proceso de investigación, 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  $H^2$  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.

## Referencias bibliográficas

- 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*. España: La Salle. Recuperado de [http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook\\_teoria\\_antenas.pdf](http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoria_antenas.pdf)
- Bäck, T., U. Hammel, y H. Schwefel. (1997). Evolutionary Computation: Comments on the History and Current State. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation Estados Unidos*, 1(1), 3-17.
- Badr, A. y Fahmy, A. (2003). A Prof. Of convergente for Ant algoritihms. *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*, 7(6), 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*. 26(1), 1-13.
- Dorigo, M. et al. . (1999). Ant algorithms for discrete optimization. *Artificial life* 5(2), 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*, 26(1), 1-13.
- Dorigo, M. y G. Di Caro. (1999). The Ant Colony Optimization meta-heuristic. En M. D. D. Corne. (Ed.) *New Ideas in Optimization*, (11-32). Estados Unidos: McGraw-Hill Inc.

- Dorigo, M. y Gambardella, L. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, 1(1), 53-66.
- Dorigo, M. y Gambardella, L. (1997). Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem. *BioSystems*, 43(1), 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*, 26(1), 1-13.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). Particle swarm optimization. in on neural networks. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4(1), 1942-1948.
- Eisenblätter, A., Koster, A. (1996). *COST 259. Wireless Flexible Personalized Communications*. Recuperado de <http://fap.zib.de/problems/COST259/>.
- Engelbrecht, A. (2006). *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence*. Estados Unidos: 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*, 1(1), 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*, España
- FAP. (2006). *FAP - Frequency Assignment Problems*. Recuperado de <http://fap.zib.de/index.php>
- Glover, F y M. Laguna. (1997). *Tabu Search*. Estados Unidos: Kluwer Academic Publisher.
- Glover, F. y G. Kochenberger, eds. (2003). *Handbook of Metaheuristics*. Estados Unidos: Kluwer Academic Publisher.
- Hooker, J. (1995). Testing Heuristic: We Heve it All Wrong. *Journal of Heuristic*, 1(1), 33-42.
- Hoos, H.H. y T. Stutzle. (1983). Local Search Algorithms for SAT: An empirical evaluation. *Journal of Automated Reasoning*, 24(4), 421-481.
- J. Abril, F. Comellas, F. Cortés, J. Ozón, and M. Vaquer. (2000). A multiagent system for frequency assigninment in cellular radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 49(5), 1558-1565.
- Kirkpatrick, S., C. Gellat, y M. Vecchi. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 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*, 1(1), 53-66.
- M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet. (1992). *The GSM System for Mobile Communications*. Estados Unidos: Telecom Pub
- Michalewics, Z, y D. Fogel. (2004). How to solve it . Modern Heuristics. Estados Unidos: Springer
- Chalacoán, A. (s.f.). *Normas de Fibra Óptica*. Recuperado de <http://www.mono-grafias.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*. España.
- Ayuso,R., Ceña, B., Fernández, M., Millán, B., & Saturnina Torre, M. (1999). *Comunicaciones Móviles GSM*. Fundación Airtel .
- R. Montemanni, D. a. (2002). An ANTS algorithm for the minimum-span frequency problem with multiple interference. *IEEE transactions on vehicular Technology*,51(5), 949-953.
- Rappaport, T. S. (1996). *WIRELESS Communications, Principles & Practice*. Estados Unidos: 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*,8(2) 67-71.
- S.M. Redl, M.K. Weber, M.W. Oliphant. (1995). *An Introduccion GSM*. Estados Unidos: Artech House Publishers.
- Telecomunicaciones, L. d. (2005). *La telecomunicaciones y la movilidad en la sociedad de la información*. Recuperado de <https://cet.la/estudios/cet-la/las-telecomunicaciones-y-la-movilidad-en-la-sociedad/>
- Telectrónica. (2009). *INTRODUCCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/guest44be50/introduccion-a-la-tecnologia-rfid-lic-alan-gidekel>
- V. Maniezzo and A. Carbonaro. (2000). An ANTS Heuristics for the frequency assignment problem. *Future Generation Computer Systems*, 16(8)927-935.
- Voudouris, C. y E.Tsang. (1995). *Guided Local Search Technical Report CSM-247*. Department of Computer Science.Recuperado de <http://www.bracil.net/CSP/papers/VouTsa-GlsTsp-CSM-247-1995.pdf>