



# Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

## Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

**Emilio Zhuma<sup>1</sup>, Amilkar Puris<sup>2</sup>**

**1 UTEQ, Emilio Zhuma, ezhuma@uteq.edu.ec**

**2 UTEQ, Amilkar Puris, apuris@uteq.edu.ec**

### 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.

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

**Palabras claves:** Meta heurísticas, Asignación de frecuencias, Ant System



## **Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO**

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

### **Allocation of frequencies in GSM mobile networks using Meta Heuristics ACO**

#### **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.

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

**Keywords:** Meta heuristics, frequency allocation, Ant System



## **1. INTRODUCCIÓN**

Las Telecomunicaciones 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.

El problema de la asignación automática d frecuencia es una tarea muy importante para los operadores GSM (Global System for Mobile Communications) actuales (M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet, 1992), ya que únicamente con una planificación óptima, que aproveche al máximo los escasos recursos en términos de ancho de banda con los que cuenta las operadores actuales, es posible que se pueda mantener una comunicación de calidad entre los teléfonos móviles que utilizan una red GSM de telefonía.

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



## **Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO**

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

tiempo razonable por lo que han sido muy estudiadas en el área de la optimización. (Bello, R and A. Puris, 2006), (Puris, A. and R. Bello, 2007) .

Se plantea aplicar técnicas meta-heurísticas para problemas de optimización de frecuencias (FAP) procedentes de bases de conocimientos del área de las telecomunicaciones, analizando un escenario para obtener el máximo rendimiento de estas técnicas y ofrecer soluciones de calidad en el menor tiempo posible.

### **2. METODOS**

La investigación realizada se desarrolló con el empleo de las siguientes etapas.

#### **Etapas 1: Clasificación de la Asignación de Frecuencia**

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

- Minimum Order Frequency Assignment Problem (MO-FAP)
- Minimum Span Frequency Assignment Problem (MS-FAP)
- Minimum Blocking Frequency Assignment Problem (MB-FAP)
- 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.

#### **Etapas 2: Selección de escenario COST 259**

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



## Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

comportamiento de un algoritmo sobre diferentes escenarios y el de diferentes algoritmos en un mismo escenario.

### **Etapa 3: Optimización basada en colonia de hormigas (ACO)**

Para (Reeves, 1995) y (Eberhart, 1995), ACO 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).

### **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.



## Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

Tabla 1. Matriz de feromona

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

### Etapa 4: Definición de 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 serán probadas.

### Heurística 1: Reutilizando las frecuencias seleccionadas

#### Ecuación 1: $H^1$

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

- ✓  $j \in N$ ;  $N \in$  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 1: Asignación de Frecuencias usando H<sup>1</sup>

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	

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.

### Heurística 2: Generando vecindad de frecuencias

#### Ecuación 2: H<sup>2</sup>

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

- $j \in N$ ;  $N \in$  conjunto de frecuencias disponibles para el escenario.
- L: vecindario de frecuencias generadas
- L<sub>h</sub>: 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

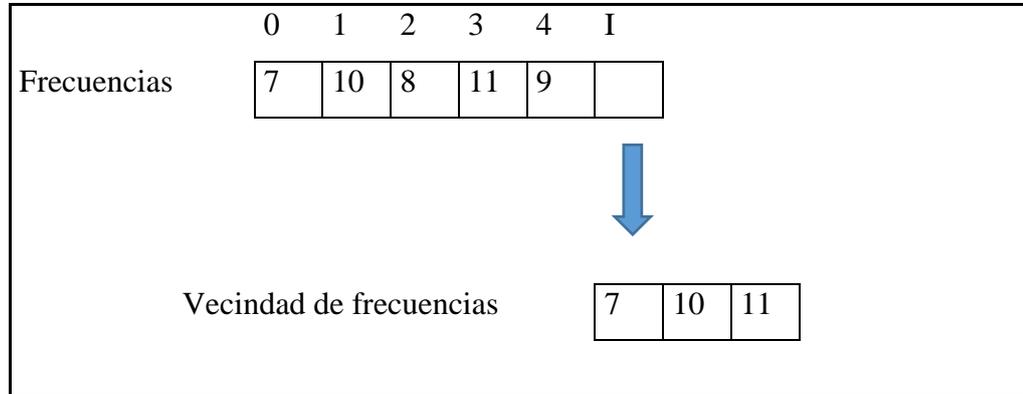


# Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística

## ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

Ilustración 2: Asignación de Frecuencias usando  $H^2$



.Tabla 2. 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

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



## Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

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  $i$ .

### Heurística 3: Pronosticando vecindades de frecuencias

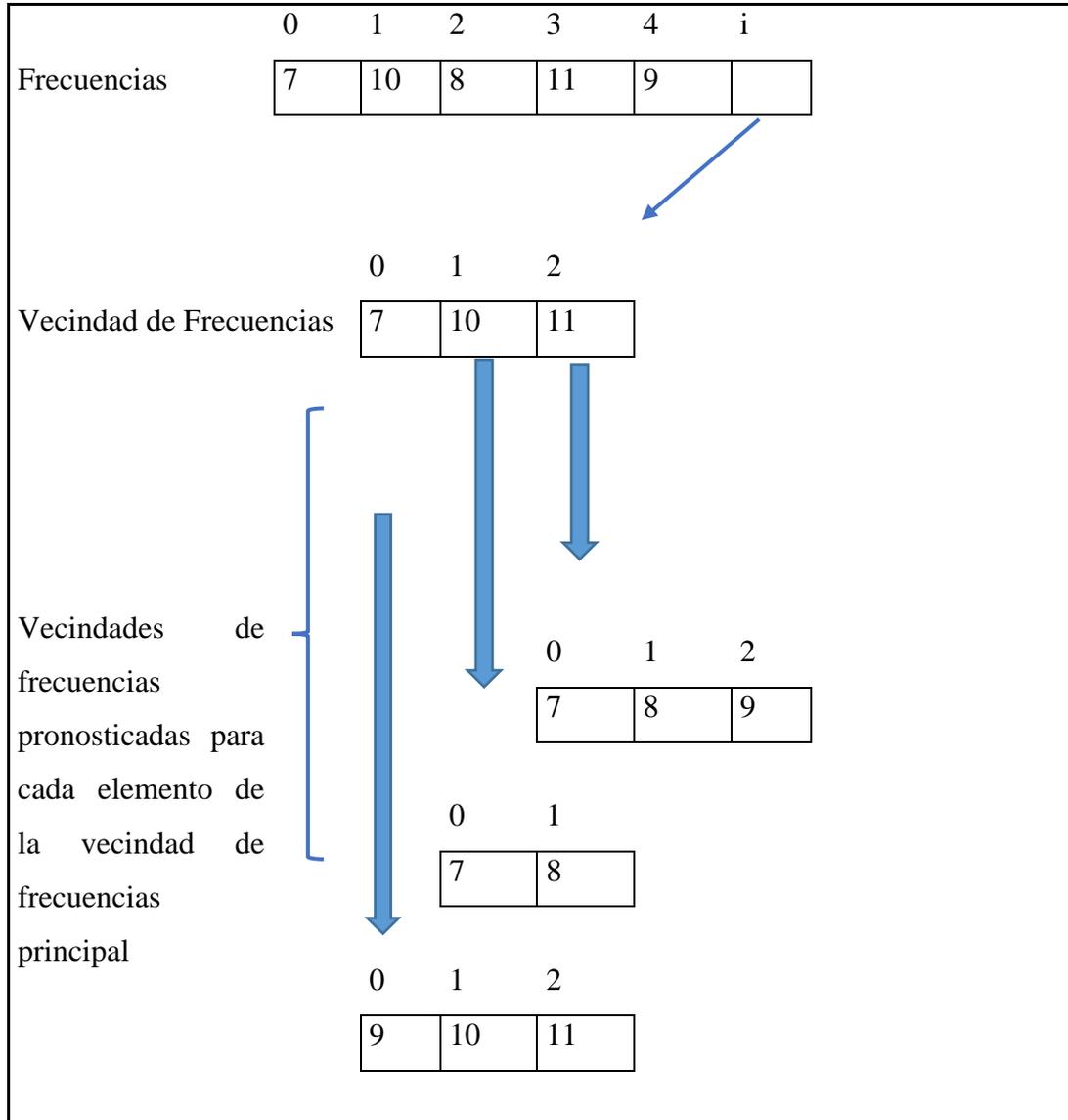
Ecuación 3:  $H^3$

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

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



Ilustración 3. Asignación de frecuencias usando  $H^3$



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  $i$ .



# Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

## 3. RESULTADOS

### Análisis de experimentos utilizando AS (Ant System)

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 pseudocódigo el algoritmo implementado para el problema de estudio que se utilizó para los distintos experimentos.

#### 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



## Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

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  $L_{global}$

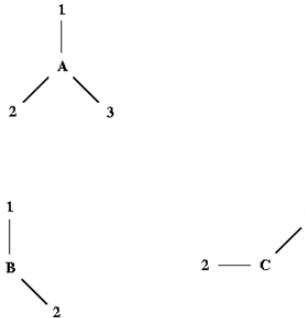
### Resultados de AS en la instancia Tiny

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 4 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 3. Celdas para escenario Tiny**

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

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

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

**Tabla 4. Asignación de frecuencias para escenario Tiny**

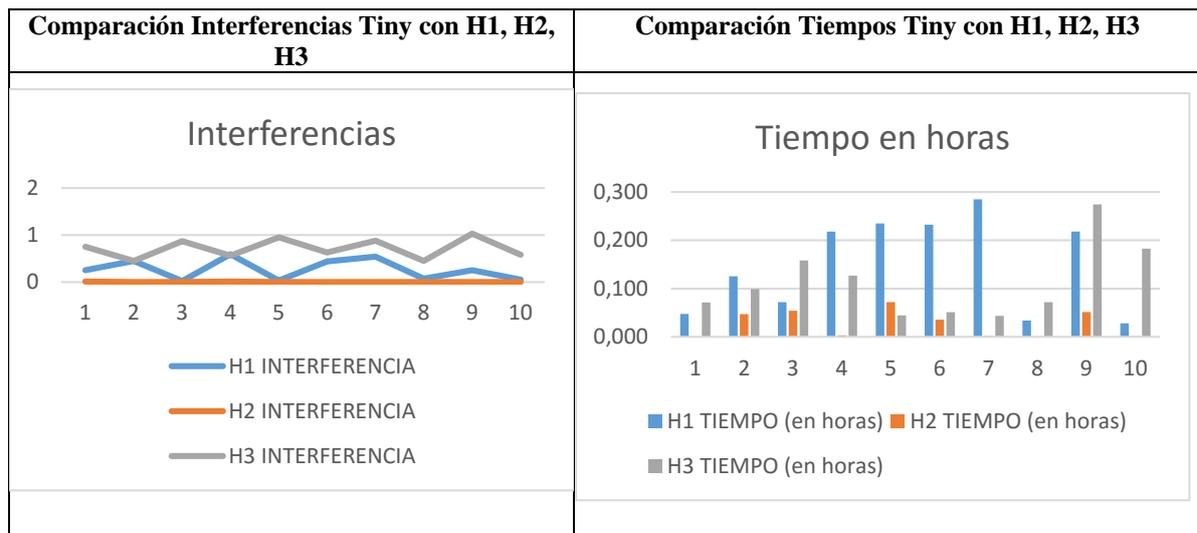
CELDA	A1				A2				A3				B1				B2				C1				C2			
TRANSMISOR	0	0	1	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1				
CANAL	16	5	9	13	15	7	11	16	7	12	6	10																



. **Tabla 5. Resultados Comparación Tiny con H<sup>1</sup>, H<sup>2</sup>, H<sup>3</sup>**

H <sup>1</sup>		H <sup>2</sup>		H <sup>3</sup>	
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

**Ilustración 5 Resultados Comparación Tiny con H<sup>1</sup>, H<sup>2</sup>, H<sup>3</sup>**





## Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

### Conclusión Parcial 1

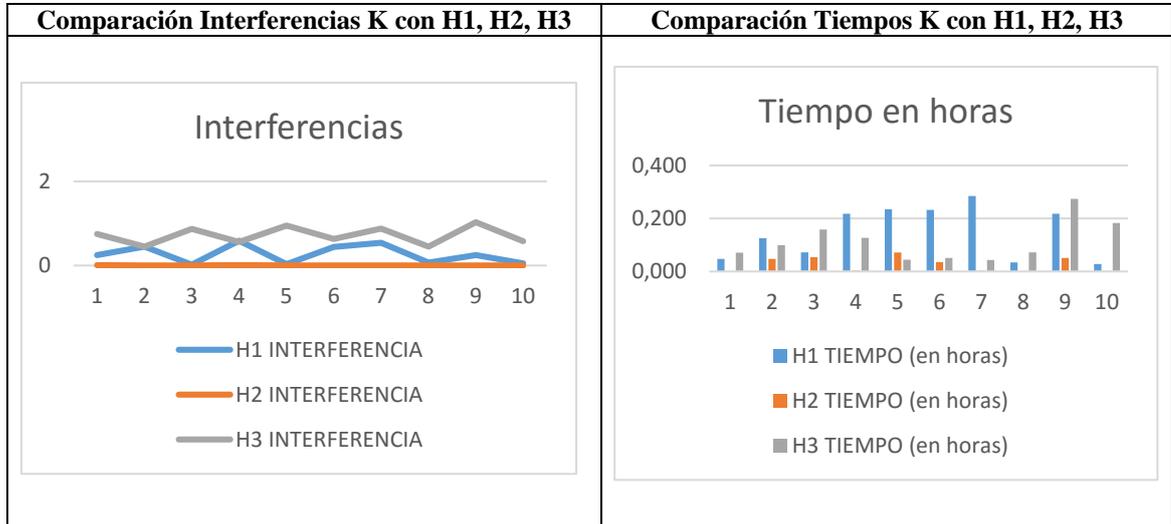
Comparando los resultados de las 3 heurísticas en el escenario Tiny, notamos que la heurística 2  $H^2$  es la que mejores resultados obtiene, esto se debe a que la interferencia es mucha más baja ya que la heurística trabaja de forma directa en el proceso de selección con las matrices de interferencias 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.

**Tabla 6. 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



**Ilustración 6 Resultados Comparación K con H<sup>1</sup>, H<sup>2</sup>, H<sup>3</sup>**



**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<sup>2</sup> 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<sup>1</sup> 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<sup>3</sup> además de trabajar como la heurística H<sup>2</sup> 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. CONCLUSIONES**

Con la investigación se obtuvo un modelo para aplicar el algoritmo AS. Se pudo corroborar que la factibilidad de esta técnica es posible de usar en los problemas de



## Asignación de frecuencias en redes móviles GSM utilizando Meta Heurística ACO

*Revista Publicando*, 2(5). 2015, 47-64. ISSN 1390-9304

asignación de frecuencias y los resultados que se obtuvieron en los experimentos fueron muy aceptables 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.



## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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/>.
- Koster, A. (1999). Frequency Assignment, Models and Algorithms. Ph.D Thesis, Universiteit Maastricht,. The Netherlands.
- M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet. (1992). *The GSM System for Mobile*. Published by the authors.
- 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.
- 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.