

## **Sistema de Planeación avanzada de rutas para la distribución de productos**

Janeth Carpio Gómez<sup>1</sup>, Johana Trejo Alarcón<sup>2</sup>, Lourdes Vaca Seminario<sup>3</sup>,  
Fabricio Echeverría Briones<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ingeniera en Computación en Sistemas Tecnológicos 2005;  
email: [jcarpio@fiec.espol.edu.ec](mailto:jcarpio@fiec.espol.edu.ec)

<sup>2</sup> Ingeniera en Computación en Sistemas Tecnológicos 2005;  
email: [jtrejo@fiec.espol.edu.ec](mailto:jtrejo@fiec.espol.edu.ec)

<sup>3</sup> Ingeniera en Computación en Sistemas Tecnológicos 2005;  
email: [lvaca@fiec.espol.edu.ec](mailto:lvaca@fiec.espol.edu.ec)

<sup>4</sup> Director de Tópico; Ingeniero en Computación en Sistemas Tecnológicos;  
Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1998,  
email: [PEchever@uniplex.com.ec](mailto:PEchever@uniplex.com.ec)

## **Resumen en Español**

Durante la última década se ha dado un creciente interés por parte de las empresas en mejorar la logística utilizada en el proceso de distribución de sus productos, dando lugar a la utilización de sistemas especiales que lleven incorporados diferentes algoritmos o métodos de solución a este tipo de problemas. Bajo estas circunstancias, se ha dado lugar al desarrollo del proyecto APS para la distribución de productos, cuyo objetivo principal es la de brindar una solución rápida y eficiente a los problemas de distribución y optimización de rutas.

El sistema está compuesto básicamente de dos módulos principales: un módulo transaccional que permite la formación del repositorio de información de gran importancia para el desarrollo del sistema, y el módulo gráfico, el cual es alimentado por el módulo transaccional y es utilizado para visualizar, a través de mapas, las rutas generadas por el proceso de optimización correspondiente.

El proceso analítico y de planificación de rutas se realiza a partir de la implementación de métodos metaheurísticos de optimización que cumplen con la función de encontrar la solución óptima dentro de un conjunto de posibles soluciones. Los algoritmos utilizados por el sistema son los correspondientes a "colonia de hormigas" y "recocido simulado", los cuales realizan un conjunto de iteraciones sucesivas hasta converger en la solución óptima específica para el problema. De esta manera el sistema proporcionará al usuario las mejores rutas a ser recorridas, y le brindará información relevante que le ayudará durante el proceso de toma de decisiones, con la finalidad de disminuir costos y optimizar la logística de sus operaciones de distribución.

## **Resumen en Inglés**

During the last decade, the companies have given an increasing interest in improving the logistics used in the process of distribution of its products, giving rise to the use of special systems that take built-in to different algorithms or methods to resolve these kinds of problems. Under these circumstances, the development of project APS for the product distribution has a big importance, where one of its primary targets is to offer a fast and efficient solution to the distribution problems and optimization of routes.

The system is basically compound of two main modules: an operational module that allows forming the database of information of great importance for the development of the system, and the graphical module, which is fed by the operational module and is used to visualize, through maps, the routes generated by the process of corresponding optimization.

The analytic process of planning routes is made from the implementation of special methods of optimization that fulfill the function to find the optimal solution within a set of possible solutions. The algorithms used by the system are the "ant's colony" and "simulated annealing", which make a set of successive iterations until converging in the specific optimal solution for the problem. In this way the system will provide to the user the best routes to be crossed, and it will offer excellent information that will help to the user during the process of decision making, with

the purpose of diminishing costs and of optimizing the logistics of his operations of distribution.

## 1. Introducción

El problema a resolver radica en la dificultad que poseen los repartidores de entregas a domicilio de paquetes y documentos en cuanto a encontrar la mejor ruta para hacer llegar dichos paquetes a su destino.

Estas rutas deben ser elegidas teniendo en cuenta factores tales como el camino más corto, la ruta que implique el tráfico menos congestionado o el recorrido por los sectores menos peligrosos.

Estos problemas dan como resultado pérdidas a nivel económico tanto para la empresa en factores materiales, como por ejemplo el vehículo que se utiliza para realizar las entregas (motos), como para el cliente en relación a la pérdida de los paquetes a ser entregados.

Además de los problemas mencionados, se tiene otro tipo de pérdidas en cuanto al tiempo utilizado al atravesar zonas con tráfico de gran congestionamiento, debido a la falta de conocimiento de las horas de alto tránsito vehicular producidas en la ciudad. También es importante destacar los problemas que tienen los repartidores novatos como robos, pérdida de paquetes, etc., por la falta de conocimiento y experiencia en el manejo de las rutas.

Todo esto nos conlleva a un problema global el cual consiste en la ineficiencia de la repartición de los objetos a ser entregados por los repartidores, como por ejemplo si existe una ruta por la cual se puedan entregar tres paquetes y no se tiene conocimiento de esta, posiblemente se entreguen dos paquetes a un repartidor y el tercero a otro, en lugar de asignar los tres paquetes a un solo repartidor debido a que no se tenía conocimiento de la ruta óptima, causando desperdicio de recursos, ocasionando pérdidas a la empresa, y mayor demanda de empleados.

La empresa trabaja con repartidores por Sectores; Norte, Sur y Centro, de esta misma forma el sistema se manejará (ver gráfico 1), entregando la mejor ruta a los repartidores por sectores.

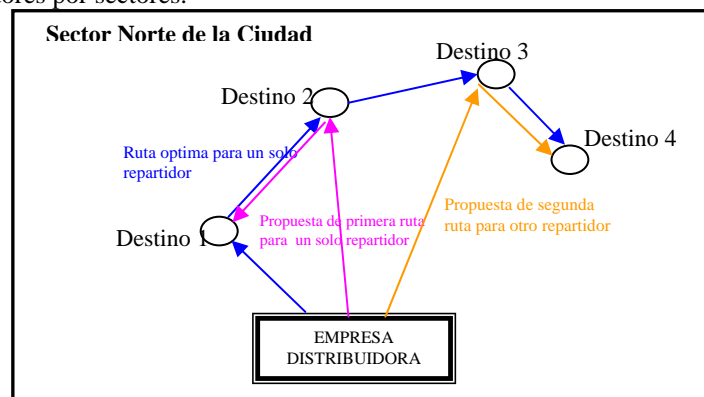


Figura 1. Descripción gráfica de una de las soluciones

Con la ruta óptima se propone entregar los paquetes o productos por cada lugar, utilizando únicamente a un repartidor que realice todo el recorrido, caso contrario puede darse la posibilidad de que se asignen dos paquetes a dos diferentes repartidores, los cuales cumplirán con su trabajo, pero se habrán malgastado recursos y tiempo ya que se le pudo haber asignado una ruta diferente (en otro sector) a uno de los repartidores.

## **2. Contenido**

### **Breve Descripción de los Algoritmos utilizados**

#### **Algoritmo de Hormigas**

Consiste en la exploración por diferentes rutas con hormigas ciegas las cuales dejan un líquido llamado feromona el cual guía a las demás para así encontrar una ruta optima.

Es un algoritmo exhaustivo pero que arroja buenos resultados.

#### **Algoritmo Recocido Simulado**

Este algoritmo utiliza la variación de la temperatura como exploración y la combinación de los nodos como explotación.

No es un algoritmo exhaustivo por lo que en poco tiempo puede arrojar resultados satisfactorios aun cuando no ha encontrado el óptimo.

### **Solución**

#### **Primero hablaremos del esquema de las calles**

La orientación de la flecha indica la orientación de la calle, las flechas con doble orientación representaran a las calles de doble vía.

Cada intersección de flechas será una esquina de calles y una coordenada para el algoritmo.

Los nombres de las calles para esta explicación serán representativos así como también la orientación de las mismas.

Para el algoritmo, las calles son totalmente verticales u horizontales y se trata que todas tengan igual longitud, en la vida real esto no sucede, lo que se ha logrado es simular la longitud de la calle la cual será igual para todas, pero en el trayecto que se adicione se colocará una interrupción de no transitable (*como demonio*) lo que impedirá el paso por ese trayecto.

Imaginemos que tenemos el siguiente esquema.

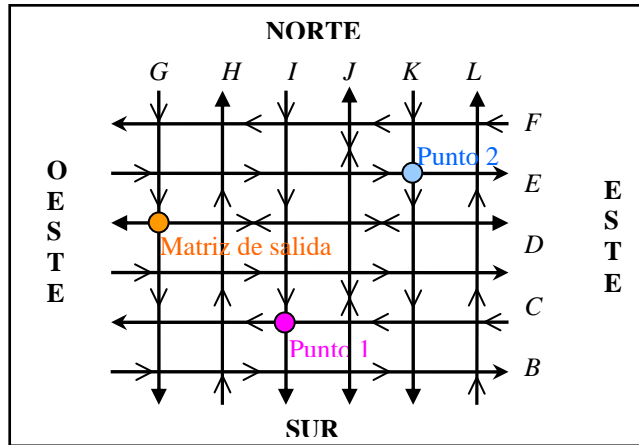


Figura 2. Gráfico representativo del esquema de las calles

De esta manera se ha conseguido trabajar con una plantilla de  $n \times m$ , donde  $n$  representa el número de calles de oeste a este o viceversa y  $m$  el número de calles de norte a sur o viceversa, con la finalidad de recorrer la plantilla coordenada por coordenada respetando las direcciones de las calles y su estado de ser transitable o no.

Si una persona quiere trasladarse a las siguientes direcciones.

Primera dirección: esquina **I y B** (coordenada  $(X1, Y2)$ , punto 1).

Segunda dirección: esquina **K y E** (coordenada  $(X2, Y2)$ , punto 2)

Partiendo de un punto fijo por ejemplo **G y D** (matriz de salida).

Lo que se ha hecho es:

Utilizar el algoritmo de **RECOCIDO SIMULADO** para sacar el recorrido más corto según la combinación de los puntos es decir, la trayectoria formado por

Matriz – Punto 1 – Punto 2 – Matriz.

debe tener un costo, para este ejemplo el costo es el tiempo que se tardó en realizar el recorrido, el cual se lo obtendrá utilizando el algoritmo de las hormigas.

Y la trayectoria formada por

Matriz – Punto 2 – Punto 1 – Matriz.

nos dará otro costo según la ruta que se tome en el recorrido.

La obtención de los costos se lo hace con la sumatoria del peso en los arcos, es decir:

Si suponemos que en el arco **Matriz – Punto 1** se obtuvo 6 como peso en el arco y, En el arco **Punto 1 – Punto 2** se obtuvo 9 y Finalmente en el arco **Punto 2 – Matriz** se obtuvo 7. Entonces el costo para la trayectoria **Matriz – Punto 1 – Punto 2 – Matriz** sería de 22.

El peso en el arco se lo obtiene ejecutando el algoritmo de las **HORMIGAS**, para el arco **Matriz – Punto 1** la hormiga pudo haber hecho el siguiente recorrido:

De la esquina G,D a la G,C luego a la G,B – G,A – H,A – I,A hasta llegar a I,B sumando 1 de esquina a esquina como peso, si no hubiere castigo para ese trayecto,

los castigos serían por congestionamiento, por peligro a determinadas horas entre otros factores.

Y se continúa sacando los pesos para las demás trayectorias para luego determinar el menor costo por recorrido en el recorrido simulado.

### **Algoritmo de las Hormigas**

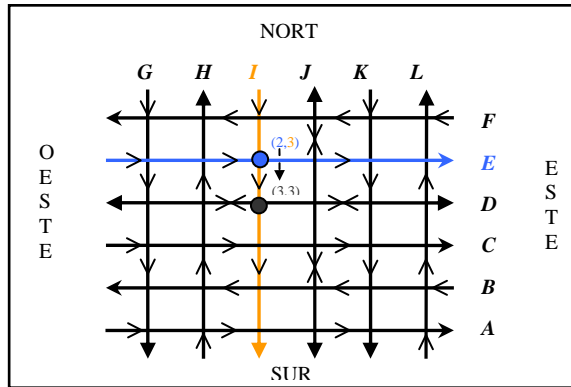
En este proyecto se ha utilizado la exploración de hormigas individuales es decir que se enviará una hormiga a la vez, esta dejará su rastro de feromona el cual está conformado por los puntos o nodos que visite (*esquina*) y el criterio que tomó la hormiga para continuar al siguiente nodo.

Para solucionar el problema se aspira encontrar una ruta (tratando que sea la más corta) entre un *nodo de partida* y *uno de llegada*, esta estrategia se la utiliza para *cada nodo* hasta cerrar el recorrido es decir partiendo de la matriz (por ejemplo) y visitar todos los puntos destinos hasta volver al sitio de partida.

Como el recorrido de la hormiga es de nodo en nodo esto significa que las esquinas serán coordenadas (X, Y) donde X que es fila para la matriz es una calle horizontal y Y que es una columna en la matriz será la representación de la calle vertical para ese nodo en especial.

### **Criterios a seguir**

Según nuestro esquema cada vez que una hormiguita quiera transitar de Norte a Sur deberá sumarse o restarse 1 al eje de las X desde el punto en el cual se encuentra, lo mismo ocurrirá cuando se quiera trasladar de Oeste a Este en este caso se aumentará o disminuirá 1 al eje de las y para explicar los criterios utilizaremos un ejemplo: Si la hormiga se encuentra en la coordenada (2,3) según nuestra plantilla la calle 2 sería E en dirección Este y la calle 3 sería I en dirección Sur y nuestra hormiguita se quiere desplazar a la coordenada I intersección D es decir (3,3) para esto se debe ver que dirección tiene la calle por la cual se quiere trasladar es decir la calle I que es por donde se dirigirá a la otra esquina, para nuestro ejercicio es la columna I en dirección Sur eso quiere decir que debemos sumar 1 a la fila para poder trasladarnos o lo que es lo mismo aumentar en uno el eje de las X.



**Figura 3.** Ejemplo del traslado de la hormiga de una esquina (nodo) a otra.

Este análisis se refleja en el siguiente cuadro:

**Tabla 1.** Orientación de Calles

DIRECCION DE COLUMNAS	OPERACIÓN A REALIZAR	CRITERIO
Columna SUR	Sumar Fila	Por Fila
Columna NORTE	Restar Fila	Por Fila
Fila ESTE	Sumar Columna	Por Columna
Fila Oeste	Restar Columna	Por Columna

- Lo que quiere decir es, cuando la hormiga se encuentre en una columna con dirección SUR solo se podrá sumar filas (criterio por fila)
- Cuando se encuentre en una columna con dirección NORTE solo se podrá restar filas (criterio por fila).
- Cuando se encuentre en una fila con dirección ESTE solo se podrá sumar columnas (criterio por columna).
- Cuando se encuentre en una fila con dirección OESTE solo se podrá restar columnas (criterio por columna).

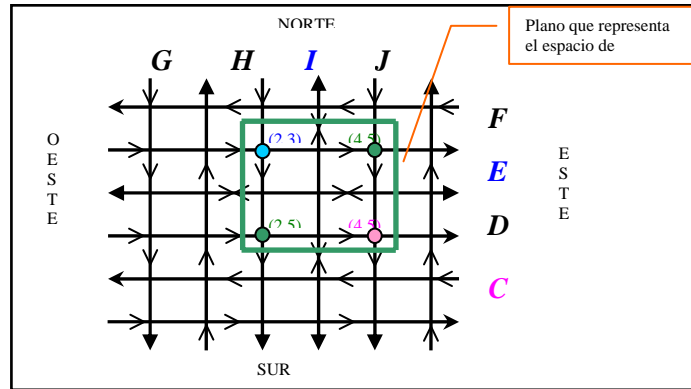
### El espacio de búsqueda

El espacio de búsqueda para dos nodos se lo obtiene de la siguiente manera:

Si tenemos el punto (2,3) donde 2 representa la calle I y 3 representa la calle E como podemos ver en el siguiente cuadro, y queremos llegar al punto (4,5) en otras palabras a la intersección K y C.

El espacio en el cual las hormigas se desenvolverán será el que se encuentre dentro de los vértices de intersección de las calles afectadas es decir, para nuestro ejemplo la calle I se intercepta con la calle C y forman el punto (4,3) este es uno de los vértices de intersección, el otro vértice será el que se forme con las calles E y K o sea el punto (2,5).

Para mejores soluciones se tomarán en cuenta dos calles adicionales que limitan con nuestro perímetro ampliando el espacio de búsqueda.



**Figura 4.** Gráfico que explica como encontrar el espacio de búsqueda entre nodos

### Feromona

Primero una función leerá de la base de datos las calles y la dirección de las mismas y se almacenará en una matriz los criterios que pueda ser elegida en cada nodo.

Las calles leídas en la base se transformaran siempre en números para una mejor manipulación de los mismos.

La matriz de feromas será llenada con las siguientes abreviaturas según el criterio que esta siga.

**SF:** Suma Fila, **SC:** Suma Columna, **RF:** Resta Fila, **RC:** Resta Columna

**Tabla 2.** Tabla Criterios

	1 (G)	2 (H)	3 (I)	4 (J)	5 (K)	6 (L)
1 (F)	SF	RC SF	RC SF	RC SF	RC SF	RC SF
2 (E)	SC SF	SC RF	SC SF	SC RF,SF	SC SF	SC RF
3 (D)	SC SF	RC,SC RF	RC,SC SF	RC,SC RF,SF	RC,SC SF	RC,SC RF
4 (C)	SC SF	SC RF	SC SF	SC RF,SF	SC SF	SC RF
5 (B)	SF	RC RF	RC SF	RC RF,SF	RC SF	RC RF
6 (A)	SC	SC RF	SC	SC RF	SC	SC RF

Esta matriz nos indica:

1. Cuales son los posibles caminos a tomar en cada esquina.



- Mediante una función podremos indicar por que camino podemos realizar la exploración, debido a que en cada punto de la matriz existirá un contador que nos indique cuales son los criterios ya analizados.
- Esta matriz será actualizada con las rutas realizadas para ir disminuyendo el contador de cada criterio y de esta forma poder realizar rutas nuevas.

La feromona ayudará a que cada hormiga pueda explorar, se tratará de explorar por los nodos adyacentes a la mejor ruta encontrada hasta el momento. El criterio de para será cuando no queden posibles caminos a recorrer cerca del objetivo (punto de llegada).

### La matriz de costos

Esta matriz es creada en memoria y llenada con los datos que se encuentran en la base. Contiene el peso asignado al nodo según la hora y el estado de la calle esto quiere decir que se guarda el valor numérico correspondiente al tráfico que presente la calle a determinada hora y/o las sanciones por ser una calle en construcción o la penalización por ser un sector peligroso, etc.

El valor del peso varía entre 1 hasta 100.

Cuando la calle esté en buen estado y sea transitable el costo será de 1.

Cuando la calle en determinadas horas esté congestionada el peso varía entre 3 hasta 7. Si el sector por el que cruza la calle es peligroso se pondrá un valor alto pero factible ya que se lo esperará tomar como último recurso. Si la calle está en construcción el peso será del valor más alto con la finalidad de que ese camino sea menos probable de tomarse en cuenta.

### Optimización de la ruta total

Para encontrar el camino óptimo que incluya todos los puntos destinos se escogió el algoritmo de **RECOSIDO SIMULADO** del cual hablamos anteriormente.

Si tenemos tres destinos a los cuales queremos llegar partiendo de un sitio fijo, como se muestra en el gráfico.

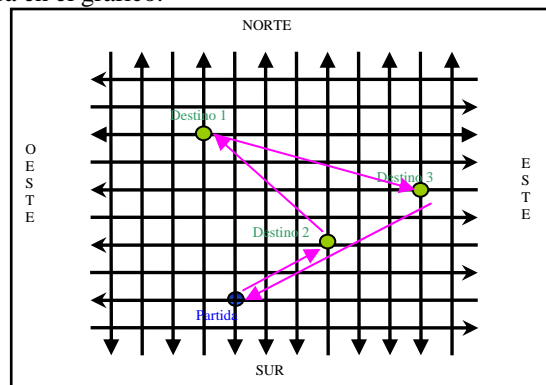


Figura 5. Gráfico que muestra la ruta optima

Debemos encontrar cual es la mejor combinación en cuanto a que nodo visitar primero para mejorar la ruta. Con el algoritmo de las hormigas obtuvimos la ruta más corta entre el DESTINO2 y el DESTINO3 generando un costo el cual es el peso que se le da al arco 2-3 ó 3-2. Con el recocido simulado lo que se quiere es optimizar el recorrido total, es decir por ejemplo si iniciamos en la PARTIDA podemos tomar el DESTINO2 luego el DESTINO1 luego el DESTINO3 y finalmente regresar a PARTIDA, lo que tendremos es: P, D2, D1, D3, P Como ruta óptima y el costo total será la suma de los costos de cada arco, para este caso será: costo (P, D2) + costo (D2, D1) + costo (D1, D3) + costo (D3, P) = costo total.

### 3. Conclusiones

- El problema de la optimización de rutas mejoraría en gran manera los problemas existentes en las Empresas que manejan este tipo de situaciones, debido a que la mayoría obtiene sus rutas óptimas empíricamente lo cual dificultaría el trabajo si se añadiera otra zona de trabajo, mientras que el sistema permitiría un análisis a menor costo por cada zona a ser añadida al área de repartición de dichas Empresas
- El sistema mejoraría en gran manera los problemas de distribución típicos de las empresas de nuestro entorno.
- Se ha desarrollado un sistema completo, que incluye tanto la optimización como el soporte transaccional que requieren las empresas.
- La facilidad de uso y la reducción de la carga cognitiva son factores que destacan en el sistema.
- Sería recomendable que los usuarios sean capacitados previamente para el uso del sistema, con la finalidad de aprovechar toda su capacidad al máximo.
- En un futuro, el tiempo que se toma el sistema para llegar a su solución óptima podría ser mejorado utilizando otras técnicas de inteligencia artificial más avanzadas.

### 4. Referencias

#### a) Referencias de Internet

1. <http://decsai.ugr.es/~ddelta/docuFANS/node13.html>
2. <http://mistoy.ing.ula.ve/DOCENCIA/POSTGRADO/CURSOS/MSS05/SAmio>.
3. <http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/Transferencia49/eli-04.htm>
4. Optimización Heurística y Redes Neuronales, Adenso Díaz – 1996
5. <http://www.fiec.espol.edu.ec/investigacion/topico/>