



# **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.**

**Instituto De Ciencias Matemáticas.**

**Ingeniería En Estadística Informática.**

**“Diseño E Implementación De Un Algoritmo De Tipo Recocido Simulado  
Para El Reconocimiento De Rutas En Tiempo Real.”**

**TESIS DE GRADO.**

Previa La Obtención Del Título De:

**INGENIERA EN ESTADISTICA INFORMATICA.**

PRESENTADA POR:

**DANIELA YOHANNA YUMBULEMA.**

**GUAYAQUIL – ECUADOR  
2005**

## **AGRADECIMIENTO.**

A las Familias: Zambrano León,  
San Andrés Zambrano, Riera Dávila.

A mis amigos: Maria, Katty, Marianita,  
Angelita, Vane, Edu, Eduardo, Geova.

A mis familiares: Faber, Fanny, Miguel,  
Graciela, Mariela, Josué.

A Ronnie por todo su apoyo.

## **DEDICATORIA.**

A Dios, A Mi Abuelito, A Mi Hermano, Y,  
A La Mujer Que Defendió Mi Pasado,  
Presente Y Futuro; MI MADRE

## ABREVIATURAS.

PAV. Problema del Agente Viajero.

RS. Recocido Simulado .

Np. No polinomial.

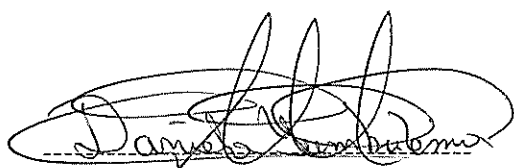
GPS. Sistema de Posicionamiento global.

---

## DECLARACION EXPRESA.

"La responsabilidad del contenido de esta tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

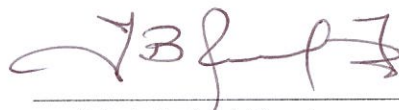
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Daniela Yohanna Yumbulema Rea', written over a horizontal dashed line. The signature is highly stylized and cursive.

Daniela Yohanna Yumbulema Rea.

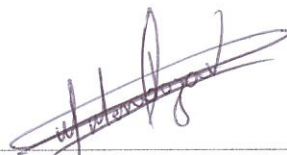
TRIBUNAL DE GRADUACION.



Ing. Robert Toledo  
SUB-DIRECTOR DEL ICM



Mat. Johni Bustamante  
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Marcos Mendoza  
VOCAL



CIB-ESPOL

## INDICE GENERAL

	<b>PAGINAS.</b>
DEDICATORIA.	I
AGRADECIMIENTO.	II
RESUMEN.	III
INDICE GENERAL.	V
INDICE DE FIGURAS.	IX
ABREVIATURAS.	XI
<b>INTRODUCCION.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1</b>	
1 Entorno Heurístico.	
1.1 Heurísticas.	6
1.2 Ventajas De Las Heurísticas Respecto A Métodos Que Buscan Soluciones Exactas.	7
1.3. Desventajas De Las Heurísticas Respecto A Los Métodos Que Buscan Soluciones Exactas.	8
1.4. Tipo De Heurísticas.	8
1.5 Recocido Simulado.	10

1.6	Algoritmo De Recocido Simulado.	12
-----	---------------------------------	----

## **CAPITULO 2**

2.	Problema Del Agente Viajero (PAV).	
2.1.	Definición.	14
2.2.	PAV. Un Problema Combinatorio Como Un Problema De Termodinámica.	15
2.3.	Decisiones Sobre Los Parámetros.	16

## **CAPITULO 3**

3.	Sistema De Posicionamiento Global (GPS).	
3.1.	Que Es El GPS.	19
3.2.	Elementos Que Lo Componen.	20
3.3.	Funcionamiento.	20
3.4.	Imagen De Un Receptor GPS.	22
3.5.	Fiabilidad De Los Datos.	22
3.6.	Fuentes De Error.	23

## **CAPITULO 4**

4.	Levantamiento De La Información.	
----	----------------------------------	--



4.1. Trabajo De Campo.	24
4.2. Plano.	27
4.3. Georeferenciación Del Plano.	28
4.4. Tratamiento De Datos.	29
4.5. Matriz De Distancias.	33

## **CAPITULO 5**

5. Implementación Computacional.	
5.1 Para N Numerablemente Pequeños.	35
5.1.1 Análisis De Resultados	37
5.2 Para N Numerablemente Grande.	38
5.2.1 Control Del Parámetro T.	38
5.2.2 Parámetro De Decremento $\alpha$ .	38
5.3. Sistema Para El Recocido Simulado.	39

## **CAPITULO 6**

6. Presentación De Resultados.	
6.1 Presentación De Resultados.	42
6.2 Análisis De Resultados.	44
6.3 Eficiencia.	45
6.4 Comparación De Resultados.	47

## **CAPITULO 7**

### 7. Conclusiones Y Recomendaciones.

7.1 Conclusiones. 49

7.2 Recomendaciones. 50

GLOSARIO.

ANEXOS.

BIBLIOGRAFÍA.

## INDICE DE FIGURAS.

	<b>PAGINAS.</b>
<b>FIGURA 2.1</b> Grafico del Agente Viajero.	14
<b>FIGURA 3.1</b> Imagen de un GPS.	22
<b>FIGURA 4.1</b> Lista de farmacias con su respectiva ubicación geográfica.	25
<b>FIGURA 4.2.</b> Lista de farmacias con su respectiva ubicación geográfica.	26
<b>FIGURA 4.3</b> Plano de los sectores Rocafuerte, Pedro Carbo y Roca de la ciudad de Guayaquil.	27
<b>FIGURA 4.4</b> Distancias (esquina superior izquierda e inferior derecha), usadas para Georeferenciar el plano.	28
<b>FIGURA 4.5</b> Plano Georeferenciado que muestra la ubicación de las 110 farmacias.	29
<b>FIGURA 4.6</b> Georeferencias de los nodos.	31
<b>FIGURA 4.7</b> Plano Georeferenciado con los nodos. a visitar el Agente Viajero.	32
<b>FIGURA 4.8</b> Matriz de Costos.	33
<b>FIGURA 5.1</b> Interfaz del Sistema para resolver el problema del Agente viajero con recocido simulado.	36

<b>FIGURA 5.2</b> Interfaz del Sistema para resolver el problema del Agente viajero con recocido simulado.	40
<b>FIGURA 6.1</b> Resultados que muestra el sistema.	42
<b>FIGURA 6.2</b> Grafico del que nos permite evaluar la eficiencia del algoritmo.	45
<b>FIGURA 6.4</b> Grafico de los saltos que da los costos.	46

## **RESUMEN.**

Esta tesis trata de resolver el Problema del Agente viajero, donde el circuito a visitar está constituido por todas las farmacias comprendidas en los sectores, Pedro Carbo, Roca y Rocafuerte.

El algoritmo que se va a utilizar es el algoritmo de Recocido simulado, que generalmente es usado en Termodinámica, para controlar el enfriamiento en ciertos procesos complejos ya sea por que utilizan un tiempo no polinomial de resolución o por que no necesitan llegar a un optimo, con un satisfactorio es suficiente.

El contenido de esta tesis se muestra en 6 capítulos, además de las conclusiones y las recomendaciones. En el capítulo 1, llamado Entorno Heurístico se analiza las heurísticas, sus ventajas y desventajas, que constituyen además el entorno del Recocido Simulado, dándose una breve explicación del nacimiento de este algoritmo como heurística. En el Capítulo 2, se presenta una descripción amplia del problema del Agente Viajero. En el Capítulo 3, se habla del Sistema GPS, una breve explicación de su formación, y utilización.

El capítulo 4,5 y 6, son capítulos resultado de nuestra tesis, en el capítulo 4 se hace el levantamiento de la información con su respectivo tratamiento y codificación de los datos obtenidos, para luego pasar al capítulo 5 donde se realiza la implementación computacional con su debido análisis y los resultados obtenidos en este capítulo se lo analizan en el capítulo 6 que constituye el Análisis de resultados.

---

## INTRODUCCION.

En la vida cotidiana generalmente tenemos que tomar decisiones en base a características que determinan si una respuesta a determinada situación, es la mejor o no. La cotidianidad para las personas involucradas en las decisiones operacionales es de tal importancia que los factores que miden esas decisiones son cuantificables, una decisión incorrecta puede traer pérdidas de recursos tanto tangibles como intangibles.

Esto hemos observado en el caso de optimización de rutas, tomemos en consideración el caso de la Distribución de Agua Potable, que depende de características como el relieve del suelo, la presión del agua, kilómetros a recorrer, etc. De tal forma que para tener un buen servicio hubo la necesidad de medir los costos de llevar el agua a los hogares por diferentes rutas donde la responsabilidad de tomar una buena decisión para la transportación de este liquido vital era primordial. De igual forma, con grandes y pequeñas redes entre las que podemos citar: la red de distribución de Energía, el Servicio telefónico e incluso para la transmisión de datos es necesario evaluar los medios y vías para que la información llegue a tiempo.

---

Actualmente en países desarrollados se está ahorrando recursos por la optimización de rutas, el saber escoger la ruta es importante a la hora de brindar un servicio, existen problemas en empresas que son más pequeños pero no menos importantes, como por ejemplo el transporte de personas, de mercancías, de información, etc.

Los problemas que exigen tomar decisiones en la vida empresarial están limitados de acuerdo a una serie de recursos o bien una serie de requisitos mínimos y máximos que hay que cumplir y que condicionan la elección de la estrategia adecuada.

En el caso de la distribución de Productos farmacéuticos, el hecho de que las medicinas lleguen a tiempo puede marcar la diferencia entre la vida o la muerte.

En estos casos tomar la decisión consiste en llevar a cabo el plan propuesto de manera optima.

Estos problemas podrían plantearse matemáticamente de la forma:

OPTIMIZAR  $f(x)$

Con las restricciones:

$$h_i(x) \leq b_i \quad i= 1, \dots, l$$



$$h_i(x) \geq b_i \quad i=1+1\dots\dots\dots m$$

$$h_i(x) = b_i \quad i=m+1\dots\dots\dots n$$

Donde  $f(x)$  es lineal y se denomina función objetivo;  $h_i(x) = a_i x_i$ , con  $a_i$  y  $x_i \in R$ .

Cuando las variables de decisión son enteras y por lo general, el espacio solución esta formado por ordenaciones o subconjunto de números naturales se denominan problemas de optimización combinatoria.

Uno de los problemas combinatorios más famoso es el Problema del Agente Viajero (PAV).

El PAV trata de determinar, dado un mapa de carreteras en que orden debe visitarse **N** ciudades de forma que partiendo de una cualquiera, se recorra el menor número de kilómetros y se vuelva al punto de partida tras visitar una sola vez cada una de ellas.

Optimizar el Problema del Agente Viajero por el método del Recocido Simulado (RS), implica anticipadamente una disminución de recursos computacionales, además de los beneficios que ofrece en sí el RS, por ser una heurística y poseer las propiedades de ser Simple, Coherente, Aceptable, Adaptable, Robusta, Interactiva, Múltiple y Autónoma.

---

El circuito en el que vamos a implementar el algoritmo de RS tiene como nodos las farmacias comprendidas en los Sectores: Pedro Carbo, Roca y Rocafuerte; Sector limitado al Sur por la calle Colón, al Norte por la calle Julián Coronel, al Este por la Calle Quito y al Oeste por la calle Malecón.

Mediante la aplicación del Recocido simulado para la resolución del problema del Agente Viajero se trata de:

1. Demostrar como se puede utilizar el Recocido Simulado para sistematizar el procedimiento y encontrar la solución al PAV.
2. Hallar el mejor plan de distribución de productos farmacéuticos que minimice los tiempos en recorrer por rutas validas.
3. Utilizar el modelo de Recocido Simulado para minimizar las distancias al Visitar las Farmacias de los Sectores antes mencionados.
4. Mediante la implementación del Algoritmo de Recocido Simulado, resolver el problema del agente viajero y determinar el costo de la mejor ruta posible en la visita a 110 farmacias en la ciudad de Guayaquil.

- 
5. Presentar una introducción al Recocido Simulado y repasar algunos de los factores que necesitan ser tenidos en cuenta para poder realizar una implementación exitosa para un problema particular.

Para resolver este problema se ha supuesto que se tiene predefinida la ruta a recorrer entre farmacia y farmacia, es importante puntualizar que al momento de minimizar las distancias, no influye el tiempo ni el tráfico.

Esta tesis presenta la resolución del Problema de Agente viajero mediante el recocido simulado tomando en consideración lo antes mencionado.

---

## CAPITULO 2

### 2 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO (PAV).

#### 2.1 DEFINICION.

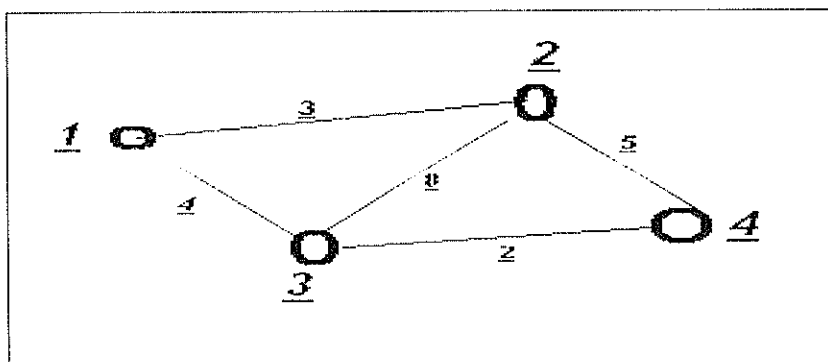
El PAV trata de determinar, dado un mapa de carreteras en que orden debe visitarse N ciudades de forma que partiendo de una cualquiera, se recorra el menor número de kilómetros y se vuelva al punto de partida tras visitar una sola vez cada una de ellas.



CIB-ESPOL

FIGURA 2.1

Gráfico que ilustra el Problema del Agente Viajero



**Fuente:** Grafico elaborado para esta Tesis.

**Elaborado:** Daniela. Yumbulema

En la Figura 2,1, El menor costo de recorrer todos los nodos en el siguiente orden 1-2-3-4-1 es 14.

## 2.2 PAV. UN PROBLEMA COMBINATORIO COMO UN PROBLEMA DE TERMODINAMICA.

En 1983 Kirkpatrick y Cerny en 1985 investigando el Problema del Agente Viajero (PAV), aplicaron el algoritmo de Metrópolis en problemas de minimización en optimización combinatoria, establecieron una analogía entre los parámetros que intervienen en simulación termodinámica y los que aparecen en los métodos de optimización local. Así,

TERMODINAMICA		OPTIMIZACION.
Configuración	↔	Solución Factible
Configuración Fundamental	↔	Solución optima
Energía de la Configuración	↔	Coste de la Solución.
Temperatura	↔	¿?

Como se ve a la Temperatura no le correspondía un significado real en el campo de optimización, sino que un parámetro que habrá que ir ajustando, al que se le denomina parámetro de control. Cabe recalcar que la manipulación libre de este parámetro hace que el algoritmo se convierta en una heurística.

### 2.3 DECISIONES SOBRE LOS PARAMETROS

Las decisiones que hay que tomar en consideración para el diseño del algoritmo de Recocido Simulado, pueden ser clasificadas en dos grupos: las genéricas y las específicas del problema.

**Decisiones Genéricas.**-Las decisiones genéricas están básicamente relacionadas con los parámetros que dirigen el programa de enfriamiento, incluyendo los valores máximo y mínimo que podrá tomar la temperatura para nuestro caso los costos máximos y mínimos que se puede obtener al visitar las

farmacias, la velocidad a la que se reducirán estos costos, este parámetro esta representado por  $\underline{a}$  y las condiciones de parada puede estar dada por el número de iteraciones ( $\underline{L}$ ) o por que el costo ya llegue al mínimo.

La evidencia empírica y los resultados teóricos dan a entender que los detalles concretos del programa de enfriamiento no son tan importantes como la velocidad a la que se reduce la temperatura, y que tanto el programa geométrico<sup>1</sup> como el de Lundy y Mees<sup>2</sup> darán resultados similares cuando el enfriamiento se produzca para el mismo rango de temperaturas y para un número total de iteraciones similares.

Basándonos en estas aseveraciones, para esta aplicación manipulamos en varias circunstancias nuestro parámetro de control llamado  $\underline{t}$ .

**Decisiones Especificas.** -Las decisiones específicas se refieren sobre todo a la definición del espacio de soluciones, la estructura de los entornos y la función de coste, así como a la elección de la solución inicial. Existen estudios que apoyan la idea de que el modo en que estas decisiones interactúan al

---

<sup>1</sup> Este programa de enfriamiento establece una velocidad de enfriamiento de tipo geométrico en lugar de la constante de bolzmann así:  $t \rightarrow \alpha t$  con  $\alpha < 1$

<sup>2</sup> (1986). Establece que la velocidad de enfriamiento esta dada por  $t \rightarrow (1 - \beta t)$  donde  $\beta$  es un valor muy pequeño.

definir el ámbito de la búsqueda, tiene un efecto muy significativo en la calidad de la solución final alcanzada.

Está generalmente aceptado que la solución inicial  $S_0$  sea asignada por el usuario, para otras alternativas, esta debe ser seccionada de forma aleatoria de entre todas las combinaciones posibles. Como ocurría con las decisiones genéricas, aquí también no hay reglas definitivas que seguir, aunque es posible recordar que factores deberían ser tomados en consideración.

**Decisiones aplicadas al Agente viajero.**-De acuerdo con nuestro problema de minimización de kilómetros recorridos en la distribución de productos farmacéuticos la solución factible esta dada por el conjunto de rutas cuyo costo son menores a otras posibles alternativas, La solución óptima constituye la mejor de todas las soluciones factibles visitadas (la satisfactoria), el

costo de la solución se la determina matemáticamente así:  $\sum_{i \in N}^S K_i$ , Donde:

$N = \{58 \text{ nodos en tratamiento}\}$ .

$S = \{\text{un conjunto finito de nodos } \subset N\}$ , que representará a la ruta del PAV.

$K_i = \{K_i, \text{ es el costo del nodo } i \text{ al nodo siguiente de } S\}$



## **CAPITULO 1**

### **1 ENTORNO HEURÍSTICO.**

#### **1.1 HEURISTICAS**

Dada la dificultad de dar solución a problemas combinatorios de tipo NP ( que no tienen un tiempo polinomial de respuesta), y ante la necesidad de ofrecer alguna solución dado su interés práctico, surgen diversos algoritmos que proporcionan soluciones factibles, es decir, que satisfacen las restricciones del problema, las cuales aunque no optimicen la función objetivo, al menos se acercan al valor óptimo en un tiempo de cálculo razonable, podríamos llamarlas en lugar de optimas, “satisfactorias”, pues son suficientemente buenas como para servirnos.

Este tipo de algoritmo se denomina heurísticas, del griego Heuriskein.

Una posible manera de definir estos métodos es: como “procedimientos simples, a menudo basados en el sentido común; que se supone ofrecerán una buena solución (aunque no necesariamente la óptima) a problemas difíciles, de un modo fácil y rápido [Zanakis, Evans, 1981].

Es recomendable la utilización de algoritmos heurísticos para la resolución de un problema cuando:

- No existe un algoritmo exacto de resolución o este requiere mucho tiempo de cálculo o de memoria.
- Cuando no se necesita la solución óptima.
- Cuando los datos son poco fiables.
- Cuando limitaciones de tiempo, espacio (para almacenamiento de datos), etc. Obligen al empleo de métodos de rápida respuesta, aún a costa de la precisión.
- Como paso intermedio en la aplicación de otro algoritmo.

## **1.2 VENTAJAS DE LAS HEURÍSTICAS RESPECTO A METODOS QUE BUSCAN SOLUCIONES EXACTAS.**

- Mayor flexibilidad para el manejo de las características del problema.
- No es complejo diseñar algoritmos heurísticos.
- Generalmente ofrecen más de una solución, lo cual permite ampliar las posibilidades de elección del que decide, sobre todo cuando existen factores no cuantificables que no han podido ser añadidos en el modelo, pero que también deben ser considerados.

### **1.3 DESVENTAJAS DE LAS HEURISTICAS RESPECTO A LOS METODOS QUE BUSCAN SOLUCIONES EXACTAS.**

La principal desventaja es que no es posible conocer la calidad de la solución, es decir, cuan cerca esta del óptimo pero existen métodos sencillos que detectan que tan buena es la heurística.

### **1.4 TIPO DE HEURISTICAS.**

**Modos constructivos.-** Consisten en ir paulatinamente añadiendo componentes individuales a la solución e ir evaluando hasta que se obtiene una solución lo suficientemente buena.

**Métodos de Descomposición.-** se trata de dividir el problema en subproblemas más pequeños, siendo el output de su siguiente, de forma que al resolverlos todos obtengamos una solución para el problema global (Divide y vencerás).

**Métodos de reducción.-** Tratan de identificar alguna característica que presumiblemente deba poseer la solución óptima y de ese modo simplificar el problema.

**Manipulación del modelo.-** Estas heurísticas modifican la estructura del modelo con el fin de hacerlo mas sencillo de resolver, deduciendo, a partir de su solución, la solución del problema original.

**Métodos de búsqueda por entornos.-** A esta categoría pertenecen la heurística en la que estamos interesados (RS). Estos métodos parten de una solución factible inicial (obtenida quizá mediante otra heurística) y, mediante alteraciones de esa solución, van pasando de forma iterativa, y mientras no se cumpla el criterio de parada, a otras soluciones factibles de su “entorno”, almacenando la mejor de las alternativas visitadas.

Los algoritmos tradicionales de búsqueda por entornos parten de una solución inicial, que de modo paulatino es transformada en otras que a su vez son mejoradas al introducirles pequeñas perturbaciones o cambios (tales como cambiar el valor de una variable o intercambiar los valores que tienen dos variables). Si este cambio da lugar a una solución "mejor" que la actual, se sustituye ésta por la nueva, continuando el proceso hasta que no es posible ninguna nueva mejora. Esto significa que la búsqueda finaliza en la mejor solución visitada hasta ese momento.

## 1.5 RECOCIDO SIMULADO

El Recocido Simulado es una Variante de la búsqueda local, a menudo se dice que mientras es muy fácil hacer que RS funcione, es difícil hacer que funcione bien. Por esto es que algunos investigadores manifiestan que no es propiamente un algoritmo, sino una estrategia heurística que necesita de varias decisiones para que quede totalmente diseñado, las cuales tienen una gran influencia en la calidad de las soluciones generadas.

El nombre le viene de la idea en que esta basado un algoritmo diseñado en los años 50 para simular el enfriamiento de material (un proceso denominado "recocido")

Según Aarts [1989]; recocer: "Es un proceso térmico para obtener estados de baja energía en un sólido, mediante baño térmico".

El proceso físico consiste en reblandecer el sólido mediante su calentamiento a una temperatura elevada y luego lo va enfriando lentamente hasta que las partículas se van colocando por si misma en el estado fundamental del sólido.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrentan estos tipos de técnicas es la existencia de mínimos locales, el Recocido simulado usa estrategias para evitar caer en estos puntos: la primera, manteniendo una memoria de la ruta seguida, para identificarlos, y la segunda permitiendo con cierta probabilidad la aceptación de soluciones peores, pero por si la búsqueda está realmente yendo hacia una buena solución, Estos movimientos "de escape" deben realizarse, o sea, controlando la frecuencia de los movimientos de escape mediante una función de probabilidad que hará disminuir la posibilidad de ocurrencia de esos movimientos hacia soluciones peores conforme avanza la búsqueda (y por tanto estamos previsiblemente más cerca del óptimo global). Otra posibilidad es reiniciar la búsqueda desde otra solución inicial y confiar en que en esta ocasión no se vuelva a caer en un óptimo local.

La Fundamentación del control mediante Probabilidad se basa en el trabajo de Metrópolis (1953), quien modeló el proceso de recocido mencionado anteriormente, simulando los cambios energéticos en un sistema de partículas conforme decrece la temperatura, hasta que converge a un estado estable (congelado).

Las leyes de la termodinámica dicen que a una temperatura  $t$  la probabilidad de un incremento energético de magnitud  $\Delta E$  se puede aproximar por:

$P[\delta E] = \exp(-\delta E / K t)$  [1], siendo K una constante física denominada de Boltzmann. En el algoritmo de Metrópolis se genera una perturbación aleatoria en el sistema y se calculan los cambios de energía resultantes: si hay una caída energética, el cambio se acepta automáticamente; por contra, si se produce un incremento energético, el cambio será aceptado con una probabilidad dada por [1]. El proceso se repite durante un número predefinido de iteraciones en series decrecientes de temperaturas, hasta que el sistema este "frío".

Cualquier implementación de búsqueda local puede convertirse en una implementación RS al elegir elementos del entorno de modo aleatorio, aceptar automáticamente todos los movimientos hacia una mejor solución y, aceptar los movimientos a una solución peor de acuerdo con una probabilidad.

## 1.6 ALGORITMO DE RECOCIDO SIMULADO.

```

Ingresar (To, a, L, Tf)
  T ← To
  Sa ← Solución inicial
  Mientras T ≥ Tf
    Para Cont ← 1 hasta L
      Sg ← Genera combinación
       $\delta = \text{coste}(\text{Sa}) - \text{coste}(\text{Sg})$ 
      If  $(U(0, 1) < e^{-\delta/T}) \wedge (\delta < 0)$ 
        Sg ← Sa
    End
  T ← a(T) = T - a

```

$T_f$  = Temperatura final.

$S_a$  = Parámetros que guarda la solución actual.

**Parámetros.**

$T_o$  = Temperatura inicial.

$a$  = Decremento de la temperatura.

$a(T)$  = Función de decremento  $(T - a)$ .

$L$  = Numero máximo de iteraciones.

$T_f$  = Temperatura final.

$S_a$  = Parámetros que guarda la solución actual.

$S_g$  = Parámetro que guarda la solución nueva.

$U(0,1)$  = Uniforme aleatorio entre 0 y 1



## **CAPITULO 3**

### **3. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).**

#### **3.1 QUE ES EL GPS.**

Los antiguos navegantes buscaban ayuda para orientarse, mirando la cruz del sur, la osa polar, las constelaciones y los movimientos del sol, etc. Ahora, a los navegantes modernos nos guían, los satélites.

Estos satélites forman el sistema GPS. GPS significa Global Position System, o sistema de posicionamiento global. Están distribuidos en un total de 6 órbitas, de manera tal que hay 4 satélites por órbita, asegurando que siempre puedan verse al menos 8 satélites desde casi cualquier punto terrestre.

El sistema de posicionamiento global fue concebido por el ejercito de estados unidos, pero fue el uso civil el que posibilitó que los receptores evolucionaran y se expandieran, volviéndose más pequeños, con menos consumo y más económicos.

Mediante un receptor portátil de pequeño tamaño, instalado en el vehículo, o en mano, es posible conocer la ubicación del receptor GPS, que se leen y se muestran en un sistema de coordenadas, permitiendo saber la posición exacta

en todo momento y hacer un contraste de las lecturas en un mapa, trazando así rumbos y rutas a seguir.

### **3.2 ELEMENTOS QUE LO COMPONEN**

Sistema de satélites: Formado por 21 unidades operativas y 3 de repuesto en órbita sobre la tierra a 20.200 Km. con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie del globo y que se abastecen de energía solar.

Estaciones terrestres: Envían información de control a los satélites para controlar las órbitas y realizar el mantenimiento de toda la constelación.

Terminales receptores: que nos indica la posición en la que estamos, conocidas también como Unidades GPS, son las que podemos adquirir en las tiendas especializadas.

### **3.3 FUNCIONAMIENTO.**

El receptor GPS funciona midiendo su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.

Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.

Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se interceptan las dos esferas.

Si adquirimos la misma información de un tercer satélite notamos que la nueva esfera solo corta el círculo anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda. De esta manera ya tendríamos la posición en 3-D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, sólo podemos obtener una posición en 2-D.

Teniendo información de un cuarto satélite, eliminamos el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición tridimensional, 3-D (latitud, longitud y altitud).

### 3.4 IMAGEN DE UN RECEPTOR GPS.

**Figura 3.1**

Imagen de un GPS.



**Fuente:** [www.parque4x4.com.ar](http://www.parque4x4.com.ar)

**Elaborado:** Daniela Yumbulema

La Figura 3.1, muestra un Garmin GPS 38 - Un robusto receptor GPS de una marca líder en el segmento como es Garmin. Da excelentes resultados, aunque es bastante limitado.

### 3.5 FIABILIDAD DE LOS DATOS.

Antes de mayo del 2000, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos se reserva la posibilidad de considerar un cierto grado de error aleatorio que puede variar de los 15 a los 100 metros llamada Disponibilidad selectiva (S/A).

Actualmente no se aplica tal error inducido pero la precisión intrínseca del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados. Sin aplicar ningún tipo de corrección y con ocho satélites a la vista, la precisión es de 6 a 15 metros; pero puede obtenerse más precisión usando sistemas de corrección.

### **3.6 FUENTES DE ERROR.**

Al hablar de fuentes de error me refiero a las causas para que no se pueda receptar la señal en el receptor GPS, entre las más comunes tenemos las siguientes:

- Retraso de la señal en la Ionosfera y Troposfera.
- Señal multi-ruta, producida por el rebote de la señal en edificios y montañas cercanas.
- Errores de orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
- Número de satélites visibles.
- Geometría de los satélites visibles.
- Errores locales en el reloj del GPS.

## **CAPITULO 4**

### **4 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION.**

#### **4.1 TRABAJO DE CAMPO**

La recolección de los datos se empezó el sábado 11 de Junio del 2005, comenzando en la Av. Quito y la calle Colón, es decir, en una esquina límite de la parroquia Rocafuerte, avanzando en sentido OESTE – ESTE, tomando la ubicación Georeferenciada de todas las farmacias existentes en mis parroquias muestrales (Rocafuerte, Roca y Pedro Carbo), en el sentido antes mencionado; Este trabajo se realizo con la ayuda de un dispositivo GPS (Sistema de posicionamiento Global).

La culminación de esta fase tuvo lugar el día sábado 25 de Junio del 2005, donde tomé la información en sentido NORTE – SUR.

Esta fase se completó con absoluta normalidad en un 98%, ya que no se pudo obtener el posicionamiento de la Farmacia Katherine C.O. y Farmacia Alemán ubicada en Luque y Francisco García Avilès y Luque entre Pedro Moncayo y Juan P. Montùfar respectivamente, debido a que el GPS no podía ubicar al satélite, presumiblemente por interrupción ocasionada por las antenas u otro equipo que produzca interferencia satelital. Pero, estas farmacias Si son consideradas dentro de nuestra ruta.

### Figura 4.1

Lista de farmacias con su respectiva ubicación geográfica.

	NOMBRE	DIRECCION	LATITUD	LONGITUD.
1	FARMACIA SU MEDICA	COLON Y AV. QUITO ESQUINA	02°12.793'	079°53.462'
2	FARMACIA CONCHITA	COLON Y JUAN PIO MONTUFAR ESQUINA	02°11.716'	079°53.359'
3	DROGUERIA VASQUEZ	COLON Y 6 DE MARZO ESQUINA	02°11.720'	079°53.368'
4	FARMACIA FAMILAB	COLON E/ RUMICHACA Y GARCIA AVILES	02°11.758'	079°53.182'
5	FARMACIA NEW YORK	COLON Y BOYACA	02°11.801'	079°53.125'
6	FARMACIA ARIES #2	COLON Y CHIMBORAZO ESQUINA	02°11.801'	079°53.038'
7	FARMACIA QUITO	COLON Y CHIMBORAZO ESQUINA	02°11.795'	079°53.039'
8	FARMACIA SUPREMA #4	COLON Y CHILE	02°11.811'	079°52.995'
9	FARMACIA C.J.V.	SUCRE Y CHILE ESQUINA	02°11.765'	079°52.985'
10	FARMACIA MASTER #2	SUCRE Y BOYACA ESQUINA	02°11.765'	079°52.985'
11	FARMACIA PLUS MEDICINE	SUCRE E/ GARCIA AVILES Y RUMICHACA	02°11.721'	079°53.182'
12	FARMACIA DEL PACIFICO	SUCRE Y LORENZO DE GARAICOA ESQUINA	02°11.698'	079°53.250'
13	FARMACIA TOPSYE	SUCRE Y LORENZO DE GARAICOA ESQUINA	02°11.698'	079°53.264'
14	FARMACIA EVITA	SUCRE Y PEDRO MONCAYO ESQUINA	02°11.670'	079°53.404'
15	FARMACIA LA EMPERATRIZ	10 DE AGOSTO E/ PEDRO MONCAYO Y JUAN P. MON	02°11.648'	079°53.372'
16	FARMACIA MUNDIAL	10 DE AGOSTO E/ PEDRO MONCAYO Y JUAN P. MON	02°11.694'	079°53.379'
17	FARMACIA KATTY	10 DE AGOSTO E/ J. PIO MONTUFAR Y 6 DE MARZO	02°11.655'	079°53.347'
18	FARMACIA MASTER	10 DE AGOSTO Y GARCIA AVILES	02°11.690'	079°53.170'
19	FARMACIA CLEMENTE BALLE	CLEMENTE BALLEEN Y PEDRO CARBO	02°11.672'	079°52.927'
20	FARMACIA SG	CLEMENTE BALLEEN Y JUAN PIO MONTUFAR	02°11.537'	079°53.332'
21	FARMACIA APRONAX	CLEMENTE BALLEEN Y PEDRO MONCAYO	02°11.545'	079°53.370'
22	FARMACIA SANA SANA	CLEMENTE BALLEEN E/ QUITO Y PEDRO MONCAYO	02°11.543'	079°53.378'
23	FARMACIA VICTORIA	CLEMENTE BALLEEN Y QUITO	02°11.566'	079°53.402'
24	FARMACIA RIPLEY	AGUIRRE E/ CHIMBORAZO Y CHILE	02°11.632'	079°52.979'
25	FARMACIA PHARMACY'S	AGUIRRE Y CHILE	02°11.676'	079°52.940'
26	FARMACIA SU MEDICA	AGUIRRE Y PICHINCHA ESQUINA	02°11.623'	079°52.949'
	FARMACIA ALEMAN	LUQUE Y PEDRO MONCAYO		
27	FARMACIAS FYBECA	LUQUE Y CHIMBORAZO ESQUINA	02°11.556'	079°52.994'
28	FARMACIA FRANCESA	LUQUE 623 E/ BOYACA Y ESCOBEDO	02°11.541'	079°53.084'
	FARMACIA KATHERINE C.O.	LUQUE Y FCO. GARCIA AVILES		
29	FARMACIA C.C.	LUQUE Y L. DE GARAICOA	02°11.496'	079°53.234'
30	DROGUERIA L APROVIDENCIA	LUQUE Y P. MONCAYO ESQUINA	02°11.478'	079°53.343'
31	FARMACIA MEDICAL MASTER	JOSE VELEZ Y AV. QUITO ESQUINA	02°11.455'	079°53.355'
32	FARMACIA VICTORIA	JOSE VELEZ Y 6 DE MARZO ESQUINA	02°11.467'	079°53.270'
33	FARMACIA YAMI MEDICAL	JOSE VELEZ Y RUMICHACA ESQUINA	02°11.491'	079°53.169'
34	PHARMA RIPLEY	AV. 9 DE OCTUBRE Y CHIMBORAZO	02°11.490'	079°52.966'
35	PHARMA RIPLEY	AV. 9 DE OCTUBRE Y BOYACA	02°11.467'	079°53.049'
36	FARMACIA SU MEDICA	9 DE OCTUBRE Y GARCIA AVILES	02°11.439'	079°53.116'
37	FARMACIA SUPREMA	9 DE OCTUBRE Y GARCIA AVILES	02°11.450'	079°53.131'
38	FARMACIA FYBECA	9 DE OCTUBRE Y RUMICHACA	02°11.413'	079°53.160'
39	FARMACIA VICTORIA	9 DE OCTUBRE Y RUMICHACA ESQUINA	02°11.423'	079°53.171'
40	FARMACIA OFT	VICTOR M. RENDON Y AV. QUITO	02°11.333'	079°53.319'
41	FARMACIA SERVIMAX	VICTOR M. RENDON Y 6 DE MARZO	02°11.328'	079°53.319'
42	FARMACIA KARL	VICTOR M. RENDON Y LORENZO DE GARAICOA	02°11.350'	079°53.207'
43	BOTICA BARCIA	VICTOR M. RENDON Y LORENZO DE GARAICOA	02°11.351'	079°53.199'
44	FARMACIA VIVIANA	JUNIN Y PEDRO M. ESQUINA	02°11.304'	079°53.267'
45	FARMACIA APRONAX	JUNIN Y PEDRO M. ESQUINA	02°11.286'	079°53.276'
46	FARMACIA REFARC	LUIS URDANETA Y QUITO ESQUINA	02°11.257'	079°53.290'
47	FARMACIA YAMI MEDICAL	LUIS URDANETA E/ QUITO Y PEDRO MONCAYO	02°11.257'	079°53.290'
48	FARMACIA SANA SANA	LUIS URDANETA Y P. MONCAYO	02°11.262'	079°53.274'
49	MEDIEXPRESS Y DIPERCAM	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11.211'	079°52.936'
50	DIST. DIFARMI Y SANTIAGUITO	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11.218'	079°52.936'
51	DIST. VERNAZA Y DIFALEX S.A	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11.207'	079°52.942'
52	DIST. FARMACEUTICA GUAYACA	MENDIBURO E/ ESCOBEDO Y BOYACA	02°11.212'	079°52.956'
53	DIST. FARMACEUTICA RENE	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11.198'	079°52.950'
54	PUNTO FARMAMEDIC	MENDIBURO E/ ESCOBEDO Y BOYACA	02°11.205'	079°52.961'

**Fuente:** Tomadas con un receptor GPS.

**Autor:** Yumbulema Daniela.

## Figura 4.2

Lista de farmacias con su respectiva ubicación geográfica.

	NOMBRE	DIRECCION	LATITUD	LONGITUD.
55	DIST. FARMACEUTICA FARMA	MENDIBURO Y BOYACA ESQUINA	02°11.207'	079°52.971'
56	DIST. FARM. EDITH Y APRONA	MENDIBURO Y BOYACA	02°11.195'	079°52.987'
57	DILRED S.A.	MENDIBURO Y BOYACA	02°11.190'	079°52.998'
58	DIST. FARM. SUPER DESCUEN	MENDIBURO E/ ALEJO LASCANO Y	02°11.196'	079°53.004'
59	DISTRIBUIDORA KRONOS	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11.192'	079°52.990'
60	DIST. SAL. ANDREWS Y APRON	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11.197'	079°53.000'
61	DIST. FARMACEUTICA (122-E)	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11.190'	079°53.004'
62	DIFARMA S.A.	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11.178'	079°53.021'
63	DIST. 1 2 3	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11.188'	079°53.017'
64	DIST. FARM. CANDEX	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11.195'	079°53.020'
65	DIST. FARM. SERVICIO	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA ESQUINA	02°11.190'	079°53.027'
66	COMERCIALIZADORA TELEFAR	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11.187'	079°53.022'
67	FARMA CENTRO	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11.191'	079°53.034'
68	DIST. DD, YAMI MEDICAL Y MC	ALEJO LASCANO	02°11.183'	079°53.038'
69	DIST. FARM. DISFARMUR	ALEJO LASCANO y RAFAEL XIMENA	02°11.176'	079°53.059'
70	DIST. FARM. AHORRO EXPRES	ALEJO LASCANO	02°11.185'	079°53.056'
71	FARMACIA RUMICHACA	RUMICHACA Y MANUEL GALECIO ESQUINA	02°11.144'	079°53.122'
72	DIST. FARM. NUEVA SELECTA	MANUEL GALECIO Y XIMENA ESQUINA	02°11.162'	079°53.023'
73	DIST.FARM. PROFARCON	MANUEL GALECIO Y BOYACA	02°11.160'	079°52.979'
74	FARMACIA SANA SANA	JUAN MONTALVO Y MANUEL MATHEUS	02°11.085'	079°52.867'
75	FARMACIA NUEVA BRAVO	LOJA Y JOSE MATHEUS	02°11.059'	079°52.856'
76	FARMACIA SUPERMAN	LOJA Y JOSE MATHEUS	02°11.055'	079°52.859'
77	DIST. FARM. QQ	LOJA	02°11.055'	079°52.870'
78	FARMACIA BOULEVAR	LOJA	02°11.044'	079°52.869'
79	FARMACIA GLORIA	LOJA Y ESCOBEDO ESQUINA	02°11.047'	079°52.896'
80	DIST. FARM. MAHELY	LOJA Y BOYACA	02°11.043'	079°52.897'
81	FARMACIA VICTORIA	MANUEL MATHEUS Y LOJA	02°11.044'	079°52.842'
82	FARMACIA JULIA CORONEL	JULIAN CORONEL Y JOSE MATHEUS	02°10.994'	079°52.831'
83	FARMACIA	JULIAN CORONEL Y JOSE MATHEUS	02°11.022'	079°52.818'
84	FARMACIA HOSPITAL	JULIAN CORONEL Y BAQUERIZO MORENO	02°11.016'	079°52.808'
85	FARMACIA DAYANA	JULIAN CORONEL Y ALFREDO B. MORENO	02°11.019'	079°52.801'
86	FARMACIA VIG	PIO MONTUFAR E/ CLEMENTE BALLE Y AGUIRRE	02°11.569'	079°53.329'
87	FARMACIA RED FARMA	LORENZO DE GARAICOA Y LUQUE	02°11.511'	079°53.229'
88	FARMACIA ROCAFUERTE	L. DE GARAICOA E/ LUQUE Y VELEZ	02°11.489'	079°53.224'
89	FARMACIA BARZA	G. AVILES E/ CLEMENTE BALLE Y AGUIRRE	02°11.486'	079°53.218'
90	FARMA STAR	JOSE CAMPOS Y GARCIA AVILES	02°11.405'	079°53.118'
91	DIST. FARM. NUEVA SELECTA	RAFAEL XIMENA	02°11.172'	079°53.021'
92	DIST. FARM. SANCHEZ #2	RAFAEL XIMENA	02°11.174'	079°53.025'
93	DIST. FARM. EL TREBOL	RAFAEL XIMENA Y ALEJO LASCANO	02°11.173'	079°53.030'
94	FARMACENTRO	RAFAEL XIMENA	02°11.202'	079°53.042'
95	DIST. 5054	BOYACA Y ROCAFUERTE	02°11.132'	079°52.960'
96	DIST. FARM. LAAZ	BOYACA	02°11.128'	079°52.960'
97	SUPERDESCORP S.A	BOYACA	02°11.128'	079°52.960'
98	DIST. FARMA ROGIN S.A	BOYACA	02°11.221'	079°52.986'
99	DIST. FARM. BOYACA	BOYACA	02°11.232'	079°52.983'
100	DIST. RENE	BOYACA	02°11.230'	079°52.981'
101	DIST. FARMACEUTICA 11	BOYACA	02°11.239'	079°52.985'
102	FARMACIA DEL PACIFICO	BOYACA Y FRANCISCO P. ICAZA	02°11.416'	079°53.029'
103	FARMACIA MALDONADO	BOYACA	02°11.511'	079°53.056'
104	FARMACIA D'LOUIE	CORDOVA Y JUNIN	02°11.394'	079°52.878'
105	FARMACIA PUNTO DE AHORRO	CHILE	02°11.656'	079°52.961'
106	FARMACIA SUPER CENTRO	PEDRO CARBO Y AGUIRRE	02°11.663'	079°52.950'
107	FARMACIA 405	PEDRO CARBO Y LUQUE	02°11.656'	079°52.919'
108	BOTIQUIN CLINICA PANAMERI	PANAMA Y ROCA	02°11.341'	079°52.759'

**Fuente:** Tomadas con un receptor GPS.

**Autor:** Yumbulema Daniela.



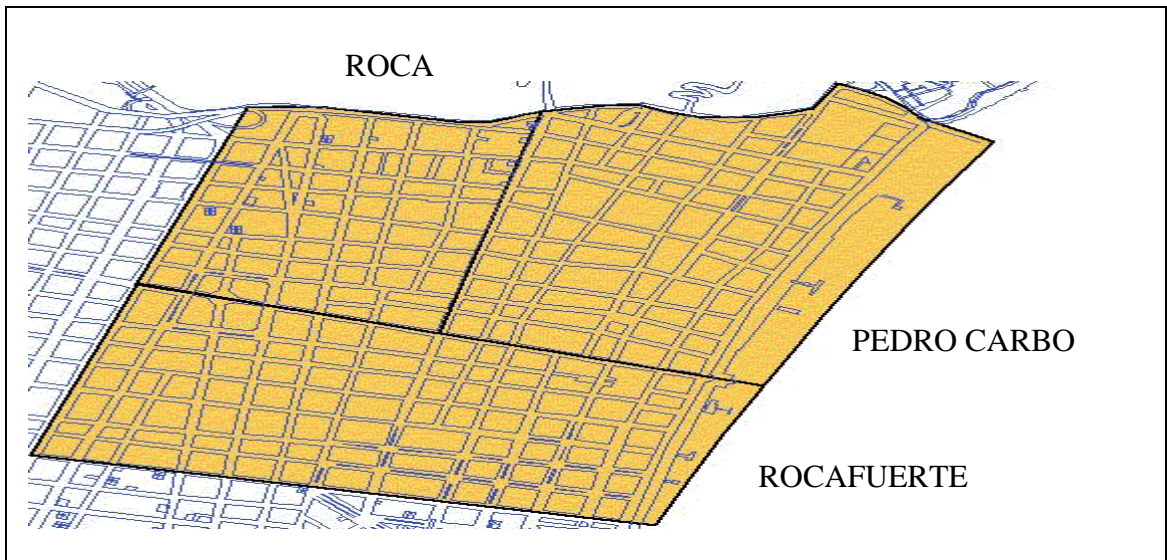
El posicionamiento obtenido de 108 farmacias hábiles en las tres parroquias en estudio se encuentra en las Figuras 4.1 y 4. 2.

## 4.2 PLANO

El Plano Presentado en la Figura 4.3 muestra los sectores en los cuales se tomó los datos, el mismo que me fue facilitado por una investigadora del Centro de Estudios e Investigaciones Estadísticas. ICM-ESPOL, que actualmente se encuentra realizando otro estudio en la ciudad de Guayaquil, disponibles también en la I. Municipalidad de Guayaquil.

### Figura 4.3

Plano de los sectores Rocafuerte, Pedro Carbo y Roca de la ciudad de Guayaquil.



**Fuente:** Centro de Estudios e Investigaciones Estadísticas. ICM-ESPOL.

**Autor:** Ing. Mariana Granda.

### 4.3. GEOREFERENCIACION DEL PLANO.

Dados los valores del extremo superior izquierdo y el extremo inferior derecho para la Georeferenciación del plano de Guayaquil (Figura 4.4).

#### Figura 4.4

Georeferencias. (Esquina superior izquierda e inferior derecha usadas para Georeferenciar el plano).

LATITUD	LONGITUD
02.10.0S	079.54.0W,
02.12.0S	079.52.0W,

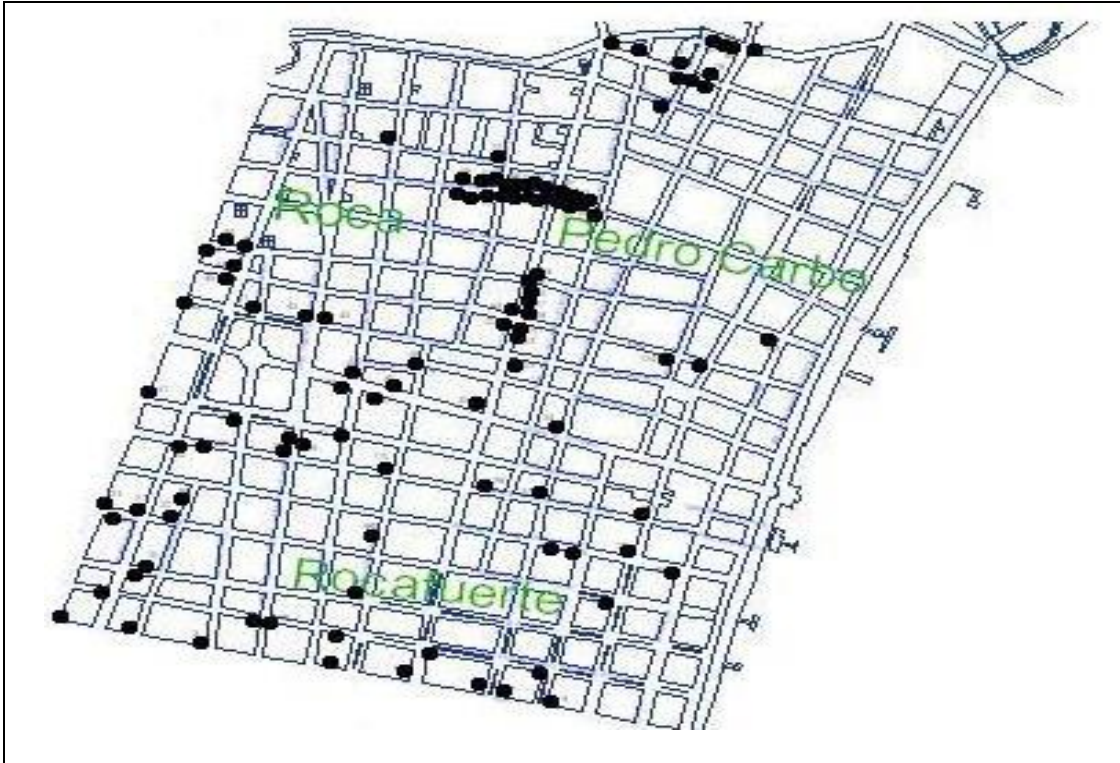
**Fuente:** Empresa Busonil S.A

**Elaborado:** Ing. Eduardo Moyano

Luego, sobre el plano ya Georeferenciado se ubican los 110 puntos de los cuales 108 tienen sus georeferencias y 2 solo su ubicación tomados directamente de un receptor GPS. (Ver Figura 4.1 y 4.2), usando el software UI – VIEW32 V1.4. para localizarlos en el plano, se obtiene la Figura 4.5, Donde cada punto representa una farmacia.

## Figura 4.5

Plano Georeferenciado que muestra la ubicación de las 110 farmacias.



**Fuente:** Centro de Estudios e Investigaciones Estadísticas. ICM-ESPOL.

**Autor:** Daniela Yumbulema.

### 4.4. TRATAMIENTO DE DATOS.

Luego de la Georeferenciación del Plano y observando la figura 4,5, notamos que existen farmacias que equidistan entre si por distancia pequeñas e incluso

se da el caso que hay 2 o mas farmacias diferentes en una misma casa o en una misma cuadra, por esta razón, mediante un a entrevista no estandarizada a los señores transportistas de varias distribuidoras quienes me supieron manifestar que en distancias inferiores a una cuadra no movilizan su vehículo, solo se transportan caminando para tomar el pedido o entregar la mercadería , esta es la forma empírica que ellos usan para minimizar distancia y consumo de combustible además de tomar rutas descongestionadas y aparentemente cortas.

Basado en las sugerencias y consejos de personas con experiencia en la distribución de mercaderías se ha procedido a agrupar a todas aquellas farmacias que se encuentran separadas a una distancia inferior de 0.1 kilómetros, la forma como ha sido agrupada y las farmacias correspondientes a cada grupo podemos ver en el ANEXO 4 que corresponde a los nuevos 58 puntos a quienes llamaremos nodos y cuyas georeferencias las tenemos en la Figura 4.6

**Figura 4.6**

Georeferencias de los nodos.

NODO	LATITUD	LONGITUD.	NODO	LATITUD	LONGITUD.
1	0211.70S	07953.45W.	30	0211.44S	07953.11W.
2	0211.72S	07953.36W.	31	0211.41S	07953.16W.
3	0211.72S	07953.31W.	32	0211.33S	07953.32W.
4	0211.78S	07953.21W.	33	0211.35S	07953.24W.
5	0211.77S	07953.12W.	34	0211.35S	07953.20W.
6	0211.79S	07953.04W.	35	0211.30S	07953.26W.
7	0211.81S	07952.99W.	36	0211.25S	07953.30W.
8	0211.76S	07952.98W.	37	0211.26S	07953.27W.
9	0211.72S	07953.11W.	38	0211.21S	07952.93W.
10	0211.69S	07953.25W.	39	0211.20S	07952.96W.
11	0211.67S	07953.40W.	40	0211.19S	07953.00W.
12	0211.64S	07953.37W.	41	0211.18S	07953.03W.
13	0211.65S	07953.32W.	42	0211.10S	07953.13W.
14	0211.67S	07953.16W.	43	0211.16S	07953.02W.
15	0211.67S	07952.92W.	44	0211.16S	07952.98W.
16	0211.58S	07953.33W.	45	0211.11S	07952.86W.
17	0211.57S	07953.37W.	46	0211.06S	07952.85W.
18	0211.57S	07953.40W.	47	0211.05S	07952.87W.
19	0211.62S	07952.94W.	48	0211.03S	07952.91W.
20	0211.64S	07952.86W.	49	0211.04S	07952.84W.
21	0211.48S	07953.34W.	50	0211.02S	07952.81W.
22	0211.55S	07952.99W.	51	0210.97S	07952.77W.
23	0211.55S	07953.05W.	52	0211.48S	07953.21W.
24	0211.50S	07953.23W.	53	0211.46S	07953.10W.
25	0211.45S	07953.36W.	54	0211.27S	7952.99W.
26	0211.46S	07953.26W.	55	0211.41S	07953.02W.
27	0211.46S	07953.16W.	56	0211.39S	07952.87W.
28	0211.50S	07952.96W.	57	0211.64S	07952.91W.
29	0211.46S	07953.04W.	58	0211.34S	07952.75W.

**Fuente:** Tomadas del Software UI VIEW.

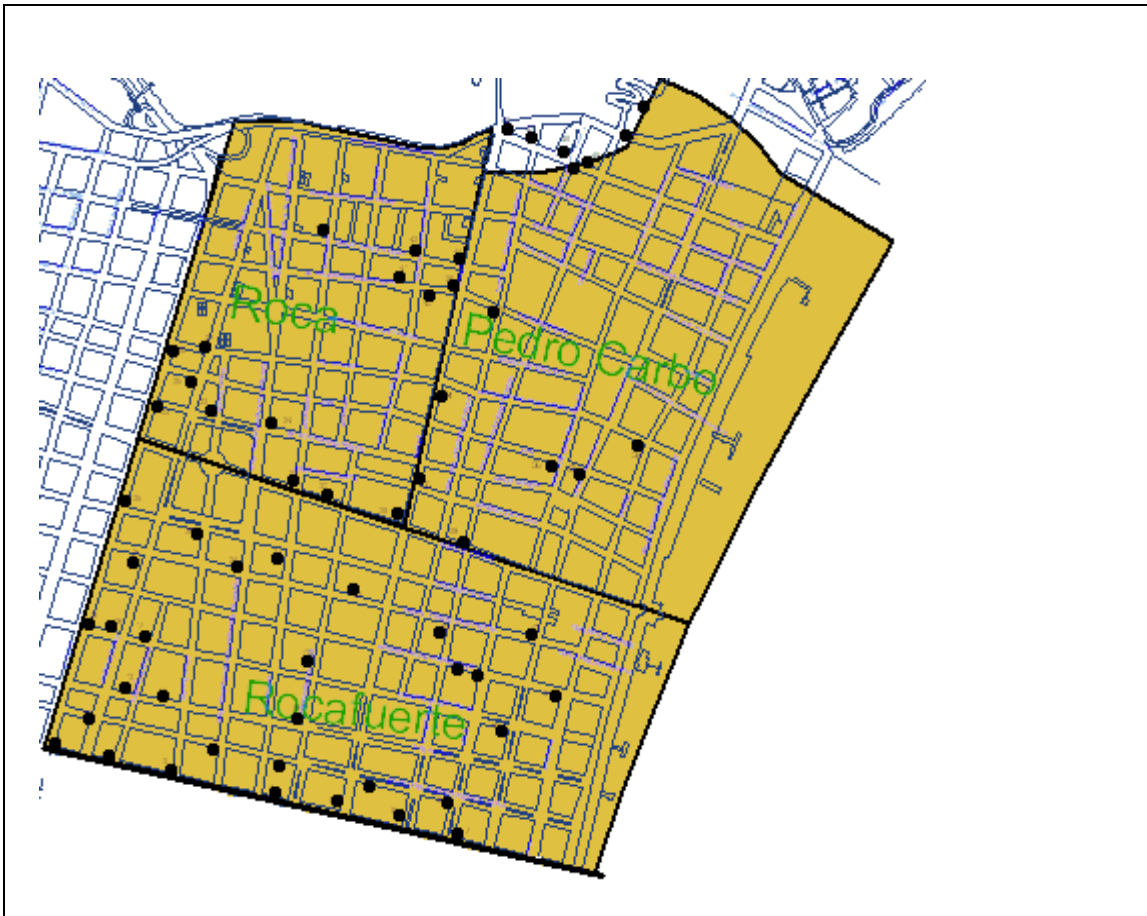
**Autor:** Daniela Yumbulema.

Siguiendo, incorporo estos nodos al plano Georeferenciado para obtener todos los nodos localizados en el plano (Figura 4.7), esto no es más que la ubicar

geográfica en el plano cada georeferencia de los puntos de distribución del agente viajero.

### Figura 4.7

Plano Georeferenciado con los nodos a visitar el Agente Viajero.



**Fuente:** Centro de Estudios e Investigaciones Estadísticas. ICM-ESPOL.

**Autor:** Daniela Yumbulema.

## 4.5. MATRIZ DE DISTANCIAS.

Dados los 58 nodos georeferenciados, se toman las distancias entre sí para de allí obtener la matriz de distancias o sea la distancia entre nodo y nodo, En la figura 4.8 se observa una pequeña parte de la matriz.

**Figura 4.8**

Matriz de Costos (Véala completa en el Anexo1).

NODOS	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00	0.20	0.30	0.60	0.80	0.90	1.00	1.10
2	0.20	0.00	0.10	0.40	0.60	0.80	0.80	1.00
3	0.30	0.10	0.00	0.20	0.40	0.50	0.60	0.70
4	0.60	0.40	0.20	0.00	0.20	0.30	0.40	0.50
5	0.80	0.60	0.40	0.20	0.00	0.20	0.30	0.40
6	0.90	0.80	0.50	0.30	0.20	0.00	0.10	0.20
7	1.00	0.80	0.60	0.40	0.30	0.10	0.00	0.10
8	1.10	1.00	0.70	0.50	0.40	0.20	0.10	0.00

**Fuente:** Calculada mediante software UI VIEW.

**Autor:** Daniela Yumbulema.

En esta matriz, la distancia entre el nodo 4 y el nodo 6 se obtiene buscando el número que corresponde al nodo de partida en las filas y el nodo de llegada en las columnas, la celda donde se intersecan corresponde a la distancia entre los nodos, es bueno recordar que la distancia al mismo nodo (distancia del nodo 1

al nodo 1) es cero dado que se ubica sobre si mismo y las distancias en esta matriz son conmutativas es decir: La distancia entre 2 y 6 es igual a la distancia entre 6 y 2 por que generalmente las calles si no son doble vía y permiten regresar por la misma ruta poseen una calle paralela en sentido contrario para poder regresar de la farmacia en que se encuentra el Agente Viajero, sin embargo de darse una diferencia esta es inferior a 0.1 Km. Por lo que no es considerada.



## **CAPITULO 5**

### **5 IMPLEMENTACION COMPUTACIONAL.**

#### **5.1 PARA N NUMERABLEMENTE PEQUEÑOS**

Si consideramos que la numerabilidad de  $N$  es pequeña, podemos implementar el algoritmo de recocido simulado en un software manejable y sencillo como Microsoft Excel (Figura 5.1), Para el caso aquí tratado y dado que nuestro tamaño de  $N = 58$ , sencillo y fácil pero menos práctico es implementarlo en Excel, haciendo uso de herramientas como macros, hipervínculos y una programación relativamente sencilla en Visual Basic (Ver Anexo 2).

### Figura 5.1

Interfaz del Sistema para resolver el problema del Agente viajero con recocido simulado implementado en Excel.

		Ruta Inicial				Rutas Aleatorias			
Tini	50	Nodo Inicial	Nodo Final	Costo	Costo Total	Nodo Inicial	Nodo Final	Costo	Costo Total
Tfin	10	1	2	0.2	44.1	1	22	1.3	55.3
Decremento	0.5	2	26	0.7		22	17	0.9	
# Nodos	58	26	21	0.2		17	15	0.9	
#Iteración	5	21	50	1.7		15	53	0.7	
		50	45	0.3		53	20	0.7	
		45	5	1.6		20	49	1.7	
		5	41	1.2		49	35	1.1	
		41	51	0.8		35	51	1.4	
		51	54	0.7		51	13	2.2	
		54	16	1.3		13	14	0.3	
		16	34	0.6		14	3	0.3	
		34	18	0.7		3	31	0.8	
		18	32	0.5		31	7	1	
		32	15	1.3		7	29	0.7	
		15	30	0.5		29	40	0.5	
		30	6	0.9		40	34	0.8	
		6	22	0.5		34	11	0.9	
		22	7	0.5		11	56	1.4	
		7	58	0.8		56	43	1	
		58	48	0.7		43	33	1	
		48	42	0.7		33	32	0.2	
		42	36	0.5		32	8	1.2	
		36	17	0.7		8	10	0.5	
		17	57	0.9		10	19	0.7	
		57	8	0.8		19	50	1.5	
		8	46	1.6		50	42	0.6	
		46	53	0.9		42	16	1.3	
		53	43	0.4		16	30	0.7	
		43	38	0.3		30	6	0.9	
		38	11	1.5		6	57	0.7	
		11	24	0.6		57	37	1.5	
		24	14	0.5		37	18	0.7	
		14	19	0.6		18	45	1.8	
		19	52	0.8		45	25	1.4	
		52	3	0.6		25	27	0.4	
		3	4	0.2		27	24	0.2	
		4	27	0.6		24	44	1.1	
		27	10	0.5		44	4	1.4	
		10	23	0.9		4	39	1.1	
		23	31	0.4		39	47	0.3	
		31	56	0.7		47	48	0.2	
		56	12	1.4		48	5	1.4	
		12	47	1.9		5	12	0.5	
		47	25	1.4		12	55	1.4	
		25	37	0.5		55	58	0.6	
		37	33	0.3		58	36	1.4	
		33	49	1.4		36	9	1.6	
		49	39	0.5		9	21	0.8	
		39	40	0.2		21	23	0.5	
		40	44	0.1		23	2	1.1	
		44	35	0.8		2	38	1.7	
		35	20	1.4		38	54	0.2	
		20	28	0.5		54	52	0.9	
		28	9	0.7		52	46	0.7	
		9	55	0.9		46	28	1	
		55	29	0.4		28	26	0.6	
		29	13	0.9		26	41	1	
		13	1	0.4		41	1	1.9	

Ruta Satisfactoria	
Nodos	Costo
1	19.5

Generar Costos	
Generar Ruta	

1.1 **Fuente:** Generada mediante Excel, usando el Recocido Simulado.

1.2 **Autor:** Daniela Yumbulema.

### 5.1.1 Resultados.

Una vez obtenido los resultados se ha recorrido, la ruta asignada por el sistema que se para visitar los 58 nodos que incluyen las 110 farmacias es la siguiente:

1 – 56 – 24 - 19 – 22 – 7 – 25 – 26 -49 – 50 – 57 – 40 – 37 – 36 – 55 – 44 – 9 –  
42 – 11 – 52 – 53 – 4 – 27 – 6 – 29 – 20 -15 – 31 – 30 – 41 – 13 – 23 – 33 – 17  
– 16 – 58 – 32 – 34 – 5 – 8 – 14 – 39 – 38 – 43 – 10 – 47 – 45 – 48 – 51 – 2 – 18  
– 46 – 54 – 28 – 21 – 35 – 3 – 12 – 1 ;

Esta ruta se puede considerar cierta, Puesto que fue confirmada. Así, Los resultados son satisfactorios. La ruta recorrida teóricamente tiene un costo de 43.6 Kilómetros y Prácticamente he comprobado que el Kilometraje del carro en el que recorrimos esta ruta aumento un valor de 35 Kilómetros que para efectos prácticos se considera satisfactorio, notando que en el tratamiento que se dio al reducir los datos se pudo perder información, además el software utilizado es Excel y no se ha realizado suficiente iteraciones.

Es importante recalcar por segunda ocasión que no siempre la respuesta será la misma ruta debido a que esta ruta se elige de forma aleatoria y cada ruta tiene su costo asociado, por ende en cada corrida podemos tener una ruta

satisfactoria diferente que únicamente nos indica que es la mejor de todas las rutas evaluadas hasta el momento.

## **5.2 PARA N NUMERABLEMENTE GRANDE.**

### **5.2.1 Control Del Parámetro T**

Se hace necesario manipular nuestro parámetro T para conocer entre que valores puede oscilar, para ello lo implementamos en Excel y luego de varias corridas observamos que la máxima distancia que se recorre al visitar los 58 nodos que conglomeran a las 110 farmacias es de 70 Km. De igual forma, la menor distancia recorrida en el mejor de los casos es 30 Km. Con esta información podemos saber cual va a ser nuestro valor t máximo y t mínimo. Queda abierta la posibilidad de modificar estos valores a conveniencia del Agente Viajero.

### **5.2.2 Parámetro De Decremento A.**

Al momento de establecer como va a ir disminuyendo el parámetro t mientras recorro las rutas es necesario recordar que estamos minimizando distancias y como antes lo mencionamos, una distancia inferior a 0.1 Km. No lo consideramos. Por lo tanto el decremento debe ir acorde a la disponibilidad de tiempo.

### **5.3 SISTEMA PARA EL RECOCIDO SIMULADO.**

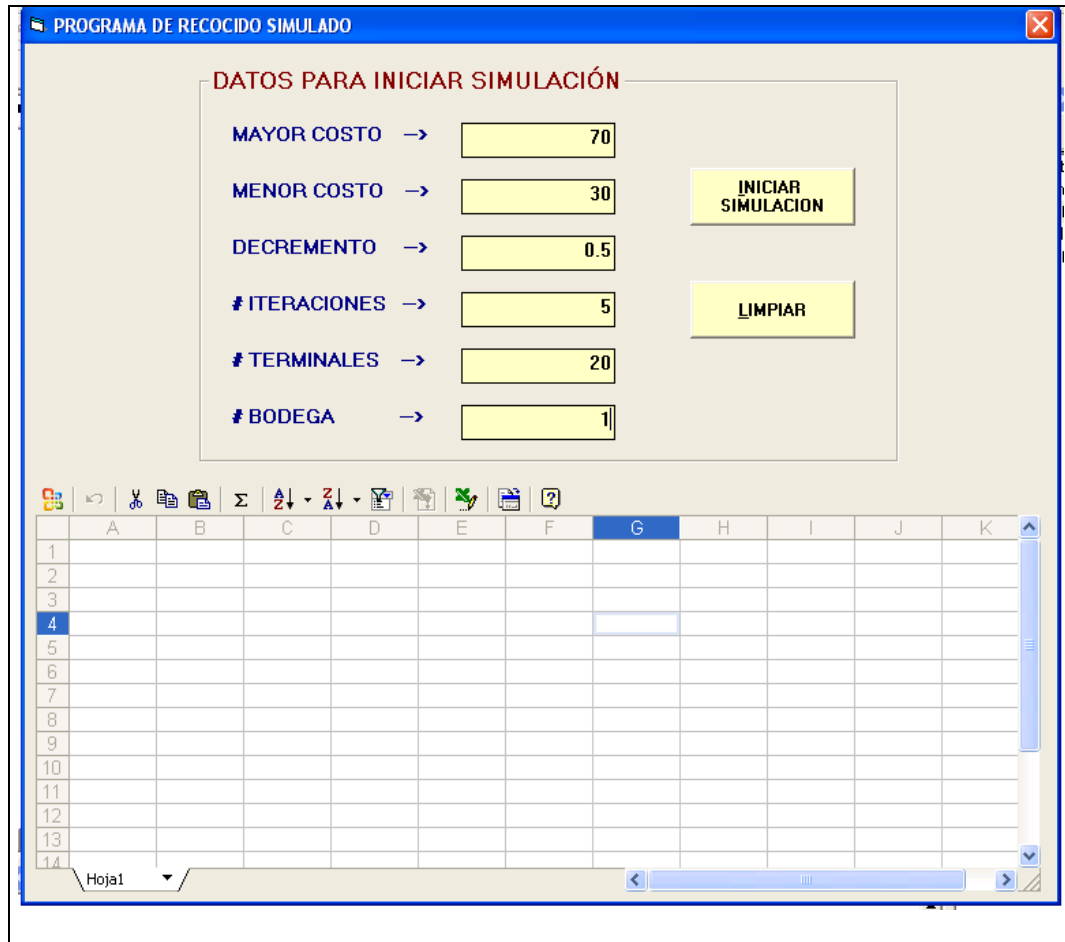
El sistema en que resuelve el problema del agente viajero implementado con el algoritmo de recocido simulado para un N numerablemente considerable, ha sido desarrollado con el software Visual Basic 6.0.

De acuerdo al algoritmo ingresamos el valor de Costo Máximo y Costo Mínimo medido en Kilómetros, esto facilita la manipulación de estos valores, de igual forma lo hacemos con el parámetro de decremento o disminución de Costos y el número de iteraciones. El interés práctico hace que también ingresemos el numero de terminales a las que se va a visitar y el numero de bodegas, esto se debe a que el Agente Viajero no siempre va a visitar a todas sus farmacias, el numero de farmacias que visite depende de la cantidad de mercadería que lleve a distribuir y además puede darse el caso que tenga que tomar mercadería a medio en otras bodegas para satisfacer a sus clientes.

La interfaz del sistema lo podemos ver en la Figura 5.2, y la codificación en el Anexo 3.

**Figura 5.2**

Interfaz del Sistema para resolver el problema del Agente Viajero con recocido simulado.



**Fuente:** Software Recocido Simulado realizado en Excel para esta Tesis.

**Autor:** Daniela Yumbulema.

La Figura 5.2, muestra en la parte superior de la aplicación los cuadros de texto donde digitaremos la información requerida para simulación mediante el algoritmo de recocido y previamente solicitada en las etiquetas respectivas y en

la parte inferior una hoja de Excel donde se mostraran las rutas generadas con su respectivo costo de donde el Agente viajero seleccionara la que mejor le satisface atendiendo a sus exigencias.

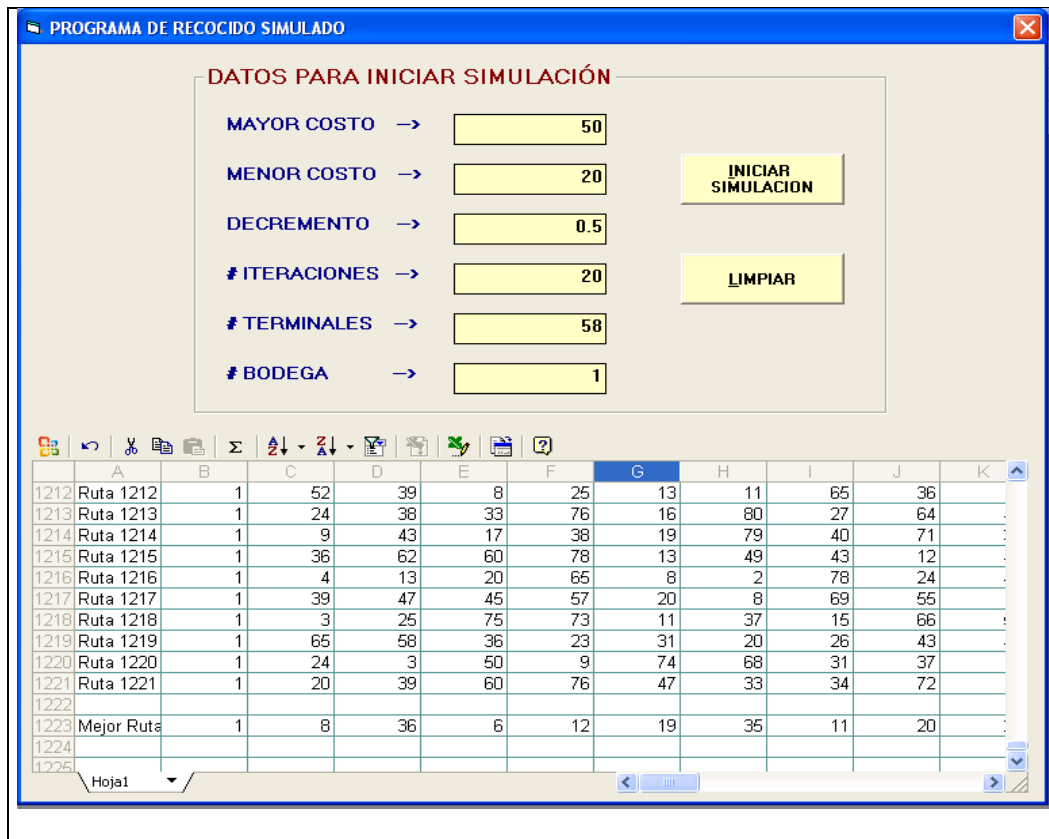
# CAPITULO 6

## 6 PRESENTACION DE RESULTADOS.

### 1.3 6.1 INTERFAZ.

Figura 6.1

Resultados que muestra el sistema después de una corrida.



**Fuente:** Software Recocido Simulado realizado en Excel para esta Tesis.

**Autor:** Daniela Yumbulema



En la Figura 6.1, podemos observar como se presentan las rutas generadas y en la parte inferior de la hoja de Excel se muestra la mejor ruta con su respectivo costo, de acuerdo a los parámetros ingresados que se encuentran visibles en la parte superior.

Mediante varias corridas se ha observado que el mejor tiempo obtenido al recorrer las 58 farmacias esta alrededor de 20 Km. Manifiesto alrededor por que el valor varía a conforme disminuyo el decremento y aumento las iteraciones, Si como ejemplo tomamos de centro de distribución al nodo 1 y como terminales de distribución a los 57 nodos restantes, la solución que obtendremos, asignando los siguientes valores a los parámetros: Costo Máximo de 70 Km. Y Costo Mínimo de 30 Km., con un decremento en 5 Km. y con 8 iteraciones por cada decremento se obtuvo un costo de 27,5 para las 57 nodos de donde al nodo 1 se lo considera como bodega. Esta es la forma en la que el recocido simulado muestras las varias opciones que puede tener el agente viajero solamente manipulando los parámetros, y al mismo tiempo proporciona una ruta lo suficientemente aceptable, considerando que realmente recorreremos una distancia de 35 Km. En visitar a todas las farmacias.

**1.4**

**1.5**

## 1.6 6.2 ANALISIS DE RESULTADOS.

Si se desea cambiar los costos se puede hacer, y es completamente válido y de igual forma se llega a una ruta satisfactoria, teniendo en consideración que cada ruta es seleccionada aleatoriamente, no siempre se puede esperar que los resultados generados sean iguales en cada corrida, pero, si es posible que se termine en la misma ruta satisfactoria y con los mismos costos, aunque no siempre es así.

En esta aplicación se ha tomado costos fijos tanto Máximo como Mínimo para la implementación del algoritmo, esto se lo puede realizar, por que la heurística tiene la característica de permitir el uso de otra heurística para tener una mejor idea del área de satisfacción y de esta forma ahorrar recursos limitando la región donde evaluara la nueva heurística.

Dado que en el Recocido Simulado implementado en Excel obtuvimos una respuesta de 43.6 Km. Y en el Algoritmo implementado en Visual Basic 6.0 obtuvimos una respuesta de 27.5 Km. Podemos decir que nuestra ruta satisfactoria esta dentro del intervalo de (25 45), esto implica a un  $35 \pm 10$ , con una diferencia de 10 Km. Donde 35 es los Kilómetros que realmente recorreremos al visitar a las 110 farmacias o a los 57 terminales y 1 bodega que están

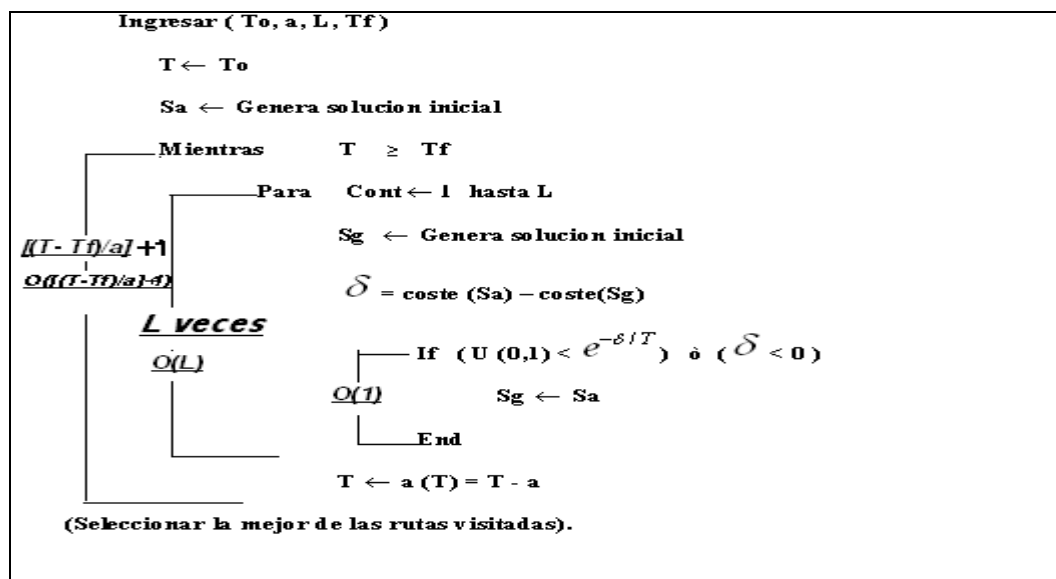
representados por 58 nodos. Bajo estas circunstancias, es como hemos considerado una ruta aceptable.

Es importante notar que el Algoritmo implementado en Visual tiene varias ventajas las mas destacadas es que fácilmente podemos realizar varias iteraciones en un menor tiempo y nos permite trabajar con un N mayor, a diferencia de Microsoft Excel, no se le puede poner a correr con muchas iteraciones y puede tardar mucho tiempo en mostrar su resultado.

## 1.7 6.3 EFICIENCIA

**Figura 6.2.**

Grafico del que nos permite evaluar la eficiencia del algoritmo.

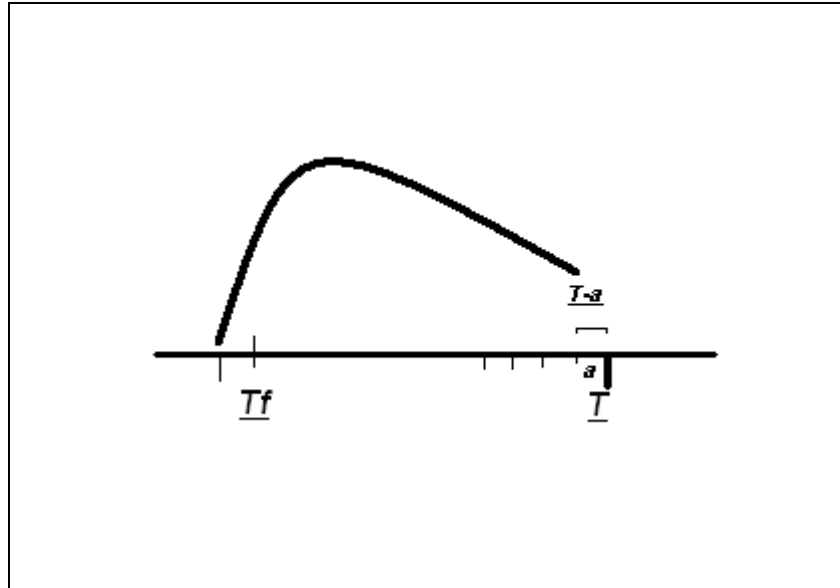


**Fuente:** "Optimización Heurísticas y Redes Neuronales "

**Autor:**

**Figura 6.3.**

Gráfico de los saltos que da los costos



**Fuente:** Elaborado exclusivamente para esta tesis.

**Autor:** Daniela Yumbulema

Para Explicar el análisis hecho en la Figura 13, vamos a utilizar la Figura 14, que nos muestra que  $T \geq T_f$  o sea el intervalo en que actúa el algoritmo es en el intervalo entre  $T$  y  $T_f$ ; Si  $T$  va disminuyendo en  $a$  unidades quiere decir que el intervalo  $T - T_f$  se ha fraccionado en  $[(T-T_f) \div a]$  partes, el algoritmo no cumplirá la condición del mientras hasta cuando  $T < T_f$  o sea se encuentre fuera del intervalo es decir cuando se hayan producido  $[(T-T_f) \div a] + 1$  iteraciones, donde la función  $O(n)$  es una función del tiempo que depende del numero de

iteraciones y medirá su eficiencia, estará sujeta a  $O\left(\left[\frac{T-T_f}{a}\right] + 1\right)$  iteraciones, a si mismo en el bucle for se realizaran hasta que haya llegado el contador a completar sus L iteraciones y la función quedaría así  $O(L)$ , al llegar a la condición mas interna ( lf), esta únicamente hace una asignación de valor por lo que es  $O(1)$ , en efecto el algoritmo realiza un total de  $O\left(\left[\frac{T-T_f}{a}\right] + 1\right) * O(L) * O(1)$  iteraciones.

## 1.8 6.4 COMPARACION DE RESULTADOS.

Una vez obtenido los resultados se ha recorrido, la ruta asignada por el sistema que se para visitar los 58 nodos que incluyen las 110 farmacias es la siguiente:

1 – 56 – 24 - 19 – 22 – 7 – 25 – 26 -49 – 50 – 57 – 40 – 37 – 36 – 55 – 44 – 9 –  
 42 – 11 – 52 – 53 – 4 – 27 – 6 – 29 – 20 -15 – 31 – 30 – 41 – 13 – 23 – 33 – 17  
 – 16 – 58 – 32 – 34 – 5 – 8 – 14 – 39 – 38 – 43 – 10 – 47 – 45 – 48 – 51 – 2 – 18  
 – 46 – 54 – 28 – 21 – 35 – 3 – 12 – 1 ;

Esta ruta se puede considerar cierta, Puesto que fue confirmada. Así, Los resultados son satisfactorios. La ruta recorrida teóricamente tiene un costo de 43.6 Kilómetros y Prácticamente he comprobado que el Kilometraje del carro en el que recorrimos esta ruta aumento un valor de 35 Kilómetros que para efectos

prácticos se considera satisfactorio, notando que en el tratamiento que se dio al reducir los datos se pudo perder información .

Es importante recalcar por segunda ocasión que no siempre la respuesta será la misma ruta debido a que esta ruta se elige de forma aleatoria y cada ruta tiene su costo asociado, por ende en cada corrida podemos tener una ruta satisfactoria diferente que únicamente nos indica que es la mejor de todas las rutas evaluadas hasta el momento.

## **BIBLIOGRAFIA**

- **BEDNARZ NICOLÁS, “Introducción al GPS”,**  
<http://www.parque4x4.com.ar/gpsradiol>.
- **COLECCIÓN L.N.S. (1992), “Metodología De La Investigación Científica”,**  
2da Edición.
- **COLECCIÓN NOVEDADES SOCIALES. (2003), “Sobre Tesis y**  
Tesisistas.”
- **DÍAZ FERNÁNDEZ ADENSO, GONZÁLES JOSÉ LUÍS GONZÁLES,**  
**LAGUNA MANUEL LAGUNA, MOSCATO PABLO, T. TSENG FAN T.**  
**TSENG, GLOVER FRED; HASSAN M. (1996), “Optimización Heurísticas**  
y Redes Neuronales “, 1era Edición, España
- **GONZALES JORGE LUIS GONZALES, Z. RIOS ROGER.**  
**INVESTIGACION D EOPERACIONES EN ACCION. “ Aplicación del TSP**  
en problemas de Manufactura y Logística”

- **MORALES MANZANARES EDUARDO**, “Algoritmo de Metrópolis”,  
<http://dns1.mor.itesm.mx/~emorales/Cursos/Busqueda04/node78.html#tm>  
etropolis.



---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES

1. Se ha establecido una conceptualización sencilla y práctica mediante la cual se muestra una importante aplicación para el recocido simulado "PAV".
2. Se ha logrado implementar el algoritmo de Recocido Simulado para resolver el Problema del Agente Viajero, Obteniendo como respuesta una ruta a seguir con su respectivo costo.
3. Se ha logrado encontrar la ruta satisfactoria y además se puede decir que nuestra ruta satisfactoria está dentro del intervalo (25 45).
4. Se ha recorrido las 110 farmacias, con un costo de 35 Kilómetros lo que implica que la ruta satisfactoria está a  $35 \pm 10$
5. Se ha establecido una correcta analogía paramétrica para resolver problemas de optimización combinatoria exclusivamente para el caso del agente viajero cumpliendo con cada requisito que este debe cumplir sin

---

visitar dos veces el mismo nodo y partir de una bodega y regresar a la misma.

6. Hemos Obtenido usando el algoritmo de recocido simulado, un plan de distribución de productos farmacéuticos a través de rutas validas y con buenos resultados, comprobada su confiabilidad se puede asegurar que son satisfactorias.
7. El control mantenido sobre las variables, hace fácil aprovechar las bondades que ofrece el algoritmo, permitiéndonos asignarle un entorno a la solución que se acopla a nuestras necesidades.
8. Se muestra la facilidad de implementación del algoritmo, lo hemos hecho usando una de las herramientas mas comunes como es Microsoft Excel, y al mismo tiempo se mejora el rendimiento y la interfaz usando Visual Basic 6.0.
9. El recocido simulado ha permitido que el viajero visite hasta 110 farmacias, usando solo 58 estaciones para su facilidad y comodidad.

---

## **RECOMENDACIONES.**

El Agente Viajero debe colaborar con la optimización de costos (medidos en Kilómetros) de las rutas recorridas evitando mover el carro innecesariamente en distancias inferiores a 0.1 kilómetros.

Se debe aprovechar las ventajas sobre la manipulación de parámetros y más aun la libre elección de la ruta satisfactoria teniendo en consideración hasta situaciones no cuantificables, para aprovecharlas en optimización de grandes redes por ejemplo: El servicio de agua potable y otros más.

Que al solucionar el problema del agente viajero notemos que podemos solucionar el problema de congestionamiento vehicular que se produce en ciertas horas en diversos sectores de la ciudad.

Ampliar el campo de aplicación del recocido Simulado para obtener un Ahorro y Ganancia que sirva al País ya sea en el campo de desarrollo de software, de dispositivos para que recocido simulado este en nuestras

---

manos y podamos en el futuro optimizar cada una de nuestras tareas y de esta forma Reducir muchos Problemas Sociales.

---

## GLOSARIO.

**Heurísticas.-** Algoritmos mediante los cuales se pueden resolver problemas no polinomiales.

**Output.-** La información de salida de un programa sirve como información de entrada del siguiente.

**Termodinámica.-** Parte de la mecánica que estudia las transformaciones e intercambio de energía.

**Sistema de Posicionamiento global.-** Sistema de satélites formado por 21 unidades operativas y 3 de repuesto en órbita, distribuidos en un total de 6 órbitas.

**Recocido Simulado.-** Algoritmo usado en termodinámica para obtener estados de baja energía.

**Heurística. -** Algoritmos que proporcionan soluciones factibles.

**Georeferencia.-** Valores de Latitud, Longitud y Altitud que permiten localizar geográficamente un punto

---

**ANEXOS.**







ANEXO 2. Codificación de Macros usadas para la resolución del agente viajero mediante Excel.

```
Private Sub BtnCostos_Click()
```

```
    Dim k As Integer
```

```
    Dim sum As Double
```

```
    sum = 0
```

```
    Hoja2.Range("F4", "F61").ClearContents
```

```
    Hoja2.Range("J4", "J61").ClearContents
```

```
    Hoja2.Range("K4", "K61").ClearContents
```

```
    Hoja2.Range("L4", "L61").ClearContents
```

```
    For k = 1 To Hoja2.Cells(6, 2)
```

```
        Hoja2.Cells(3 + k, 6) = Hoja1.Cells(Hoja2.Cells(3 + k, 4) + 1, Hoja2.Cells(3 + k, 5) + 1)
```

```
    Next k
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BtnGenerarRuta_Click()
```

```
    Dim k, ale, n, cont, i, j As Integer
```

```
    Dim d, Tini, Tfin, aleatorio, e As Double
```

```
    For j = 1 To Hoja2.Cells(6, 2)
```

```
        Hoja2.Cells(16 + j, 1) = Hoja2.Cells(3 + j, 4)
```

```

Next j
Hoja2.Cells(17, 2) = Hoja2.Cells(4, 7)
Tini = Hoja2.Cells(3, 2)
Tfin = Hoja2.Cells(4, 2)
Do While Hoja2.Cells(3, 2) > Hoja2.Cells(4, 2) And Tini <> 0
    For cont = 1 To Hoja2.Cells(7, 2) And Tini <> 0
        Hoja2.Cells(4, 10) = Hoja2.Cells(4, 4)
        Hoja2.Cells(3 + Hoja2.Cells(6, 2), 11) = Hoja2.Cells(4, 4)
        For k = 2 To Hoja2.Cells(6, 2)
            n = 2
            ale = (Hoja2.Cells(6, 2) - 2) * VBA.Rnd + 1
            Do While n < k
                If Hoja2.Cells(4 + ale, 4) = Hoja2.Cells(2 + n, 11) Then
                    n = 2
                    ale = (Hoja2.Cells(6, 2) - 2) * VBA.Rnd + 1
                Else
                    n = n + 1
                End If
            Loop
            Hoja2.Cells(2 + k, 11) = Hoja2.Cells(4 + ale, 4)
            Hoja2.Cells(3 + k, 10) = Hoja2.Cells(4 + ale, 4)
        Next k
    Next cont

```

```

        Hoja2.Cells(2 + k, 12) = Hoja1.Cells(Hoja2.Cells(2 + k, 10) + 1,
Hoja2.Cells(2 + k, 11) + 1)
    Next k
    Hoja2.Cells(2 + k, 12) = Hoja1.Cells(Hoja2.Cells(2 + k, 10) + 1,
Hoja2.Cells(2 + k, 11) + 1)
    d = Hoja2.Cells(4, 13) - Hoja2.Cells(4, 7)
    aleatorio = VBA.Rnd
    e = VBA.Exp(-d / Tini)
    If aleatorio < e Or d < 0 Then
        ' MsgBox ("el valor de aleatorio es " & aleatorio & " e=" & e & " El d es
" & d)
        For i = 1 To Hoja2.Cells(6, 2)
            Hoja2.Cells(3 + i, 4) = Hoja2.Cells(3 + i, 10)
            Hoja2.Cells(3 + i, 5) = Hoja2.Cells(3 + i, 11)
            Hoja2.Cells(3 + i, 6) = Hoja2.Cells(3 + i, 12)
        Next i
        If Hoja2.Cells(4, 7) < Hoja2.Cells(17, 2) Then
            For j = 1 To Hoja2.Cells(6, 2)
                Hoja2.Cells(16 + j, 1) = Hoja2.Cells(3 + j, 4)
            Next j
            Hoja2.Cells(16 + j, 1) = Hoja2.Cells(4, 4)

```

---

```
        Hoja2.Cells(17, 2) = Hoja2.Cells(4, 7)
    End If
End If
Tini = Tini - Hoja2.Cells(5, 2)
Next cont
Loop
MsgBox ("Bye Bye")
End Sub
```

**ANEXO 3.** Codificación del algoritmo de Recocido Simulado en Visual Basic 6.0  
usadas para la resolución del agente viajero.

### **Codificación del fmrecocido**

#### **Private Sub cmdcomenzar\_Click()**

```
If Len(txtmayor.Text) = 0 Or Len(txtmenor.Text) = 0 Or Len(txtalfa.Text) = 0 Or  
Len(txtiteraciones.Text) = 0 Or Len(txtterminales.Text) = 0 Or
```

```
Len(txtbodega.Text) = 0 Then
```

```
    MsgBox "Faltan datos para iniciar simulación?", vbCritical, "Mensaje del  
Sistema"
```

```
    txtmayor.SetFocus
```

```
    Exit Sub
```

```
Else
```

```
    If Val(txtterminales.Text) > 57
```

```
        MsgBox "No puede haber más de 57 terminales", vbCritical, "Mensaje del  
Sistema"
```

```
        txtterminales.SetFocus
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
'Inicio de Simulación
```



**CIB-ESPOL**

```
sps.Cells.Clear

sps.Cells.Borders.Color = RGB(80, 150, 150)

ReDim Sact(1 To (Val(txtterminales.Text) + 1))

For i = 1 To (Val(txtterminales.Text) + 1)

    Sact(i) = 0

Next i

costeact = 0

t = Val(txtmayor.Text)

sps.Cells(1, 1) = "Ruta 1 :."

Sact(1) = Val(txtbodega.Text)

sps.Cells(1, 2) = Sact(1)

sps.Cells(1, Val(txtterminales.Text) + 4) = 0

Randomize Timer

For j = 1 To Val(txtterminales.Text)

    aleat = CInt(58 * Rnd) + 1

    Do While (verificar(aleat, j, 1) Or aleat = 81)

        aleat = CInt(58 * Rnd) + 1

    Loop

    Sact(j + 1) = aleat

    sps.Cells(1, j + 2) = Sact(j + 1)
```

```

    sps.Cells(1, Val(txtterminales.Text) + 4) = Val(sps.Cells(1,
Val(txtterminales.Text) + 4)) + C(Sact(j), Sact(j + 1))
    costeact = sps.Cells(1, Val(txtterminales.Text) + 4)
Next j

'guardo en un archivo rutas.txt método output para que en cada
'simulación que borra la información anterior y comience de nuevo

Dim nFic%

'Abrimos el fichero

nFic = FreeFile

Open "C:\Rutas.txt" For Output As nFic

For j = 2 To (Val(txtterminales.Text) + 4)

    Print #nFic, sps.Cells(1, j)

Next j

Close nFic

'fin de proceso de guardar en un archivo

m = 1

'Comienzo el algoritmo

For w = Val(txtmayor.Text) To Val(txtmenor.Text) Step -Val(txtalfa.Text)

For i = 1 To Val(txtiteraciones.Text)

    m = m + 1

    costecand = 0

```

```

ReDim Scand(1 To (Val(txtterminales.Text) + 1))

Scand(1) = Val(txtbodega.Text)

sps.Cells(m, 2) = Scand(1)

sps.Cells(m, Val(txtterminales.Text) + 4) = 0

Randomize Timer

For k = 1 To Val(txtterminales.Text)
    sps.Cells(m, 1) = "Ruta " & m & " :."
    aleat = CInt(80 * Rnd) + 1
    Do While (verificar(aleat, k, 2) Or aleat = 81)
        aleat = CInt(80 * Rnd) + 1
    Loop
    Scand(k + 1) = aleat
    sps.Cells(m, k + 2) = Scand(k + 1)
    sps.Cells(m, Val(txtterminales.Text) + 4) = Val(sps.Cells(m,
Val(txtterminales.Text) + 4)) + C(Scand(k), Scand(k + 1))
    costecand = sps.Cells(m, Val(txtterminales.Text) + 4)
Next k

delta = costecand - costeact

If (Rnd < Exp(-(delta / t))) Or (delta < 0) Then
    For j = 1 To Val(txtterminales.Text) + 1
        Sact(j) = Scand(j)
    
```



```
Next j
costeact = costecand
End If
'guardo en un archivo rutas.txt y uso el metodo append para añadir
'informacion al fichero existente y no borre la informacion anterior
'Abrimos el fichero
nFic = FreeFile
Open "C:\Rutas.txt" For Append As nFic
For j = 2 To (Val(txtterminales.Text) + 4)
Print #nFic, sps.Cells(m, j)
Next j
Close nFic
'fin de proceso de guardar en un archivo
Next i
Next w
For i = 1 To Val(txtterminales.Text) + 1
sps.Cells(m + 2, i + 1) = Sact(i)
Next i
sps.Cells(m + 2, 1) = "Mejor Ruta Visitada:"
sps.Cells(m + 2, i + 2) = costeact
'guardo en un archivo rutas.txt y uso el metodo append para añadir
```

```
'informacion de la mejor ruta visitada
'Abrimos el fichero
nFic = FreeFile
Open "C:\Rutas.txt" For Append As nFic
  For j = 2 To (Val(txtterminales.Text) + 4)
    Print #nFic, sps.Cells(m + 2, j)
  Next j
Close nFic
'fin de proceso de guardar en un archivo

End If
End Sub
```

```
Private Sub cmdlimpiar_Click()
txtmayor.Text = Empty
txtmenor.Text = Empty
txtalfa.Text = Empty
txtlitteraciones.Text = Empty
txtterminales.Text = Empty
txtbodega.Text = Empty
sps.Cells.Clear
```

---

```
txtmayor.SetFocus
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Me.Top = 0
```

```
Me.Left = 0
```

```
txtmayor.Text = Empty
```

```
txtmenor.Text = Empty
```

```
txtalfa.Text = Empty
```

```
txliteraciones.Text = Empty
```

```
txtbodega.Text = Empty
```

```
txterminales.Text = Empty
```

```
End Sub
```

```
Private Sub txtalfa_KeyPress(k As Integer)
```

```
If (k < 48 Or k > 57) And k <> 8 And k <> 13 And k <> 46 Then
```

```
    k = 0
```

```
Else
```

```
    If k = 13 Then
```

```
        txliteraciones.SetFocus
```

```
    End If
```

---

End If

End Sub

Private Sub txtbodega\_KeyPress(k As Integer)

If (k < 48 Or k > 57) And k <> 8 And k <> 13 Then

k = 0

Else

If k = 13 Then

cmdcomenzar.SetFocus

End If

End If

End Sub

Private Sub txtliteraciones\_KeyPress(k As Integer)

If (k < 48 Or k > 57) And k <> 8 And k <> 13 Then

k = 0

Else

If k = 13 Then

txtterminales.SetFocus

End If

---

End If

End Sub

Private Sub txtmayor\_KeyPress(k As Integer)

If (k < 48 Or k > 57) And k <> 8 And k <> 13 Then

k = 0

Else

If k = 13 Then

txtmenor.SetFocus

End If

End If

End Sub

Private Sub txtmenor\_KeyPress(k As Integer)

If (k < 48 Or k > 57) And k <> 8 And k <> 13 Then

k = 0

Else

If k = 13 Then

txtalfa.SetFocus

End If

End If

---

End Sub

Private Sub txtterminales\_KeyPress(k As Integer)

If (k < 48 Or k > 57) And k <> 8 And k <> 13 Then

k = 0

Else

If k = 13 Then

txtbodega.SetFocus

End If

End If

End Sub

### **Codificación del Module 1.**

Public C(1 To 58, 1 To 58) As Double 'declaro la dimension de la matriz asumo que es de 80\*80 caso contrario poner la dimension real ahi usted tiene que cambiar

Public i, j, k, m, aleat, h As Long

Public l, lf, costecand, costeact, delta, w As Double

Public Sact(), Scand() As Integer

Sub main()

Dim conec As New ADODB.Connection

```
Dim rs As New ADODB.Recordset
conec.Open "DSN=matriz"
For i = 1 To 58
j = 0
Set rs = conec.Execute("select nodo" + "" & i & " from matriz")

While Not rs.EOF

j = j + 1

C(i, j) = rs.Fields("nodo" + "" & i & "")

rs.MoveNext

Wend
Next i

frmrecocido.Show

End Sub
```

```
Public Function verificar(ByVal v As Integer, ByVal tope As Integer, ByVal vector
As Integer) As Integer
verificar = 0
If vector = 1 Then
For h = 1 To tope
If v = Sact(h) Then
verificar = 1
h = tope + 1
End If
Next h
Else
For h = 1 To tope
If v = Scand(h) Then
verificar = 1
h = tope + 1
End If
Next h
End If
End Function
```



ANEXO 4. Agrupación de farmacias atendiendo a la condición: "que equidisten entre si a una distancia menor de 0.1 Km."

	NOMBRE	DIRECCION	LATITUD	LONGITUD
1	FARMACIA SU MEDICA	COLON Y AV QUITO ESQUINA	02°12'793"	079°53'462"
2	FARMACIA CONCHITA	COLON Y JUAN PIO MONTUFAR ESQUINA	02°11'720"	079°53'359"
3	DROGUERIA VASQUEZ	COLON Y 6 DE MARZO ESQUINA	02°11'720"	079°53'359"
4	FARMACIA FAMILIA B	COLON E/ RUMICHACA Y GARCIA AVILES	02°11'758"	079°53'182"
5	FARMACIA NEW YORK	COLON Y BOYACA	02°11'801"	079°53'125"
6	FARMACIA ARIES #2	COLON Y CHIMBORAZO ESQUINA	02°11'801"	079°53'038"
7	FARMACIA QUITO	COLON Y CHIMBORAZO ESQUINA	02°11'795"	079°53'039"
8	FARMACIA SUPREMA #4	COLON Y CHILE	02°11'811"	079°52'935"
9	FARMACIA C J V	SUCRE Y CHILE ESQUINA	02°11'765"	079°52'085"
10	FARMACIA MASTER #2	SUCRE Y BOYACA ESQUINA	02°11'765"	079°52'985"
11	FARMACIA PLUS MEDICINE	SUCRE E/ GARCIA AVILES Y RUMICHACA	02°11'721"	079°53'182"
12	FARMACIA DEL PACIFICO	SUCRE Y LORENZO DE GARAICOA ESQUINA	02°11'698"	079°53'250"
13	FARMACIA TOPSYE	SUCRE Y LORENZO DE GARAICOA ESQUINA	02°11'698"	079°53'264"
14	FARMACIA EMILIA	SUCRE Y PEDRO MONCAYO ESQUINA	02°11'670"	079°53'404"
15	FARMACIA LA EMPERATRIZ	10 DE AGOSTO E/ PEDRO MONCAYO Y JUAN	02°11'648"	079°53'372"
16	FARMACIA MUNDIAL	10 DE AGOSTO E/ PEDRO MONCAYO Y JUAN	02°11'684"	079°53'379"
17	FARMACIA KATY	10 DE AGOSTO E/ J. PIO MONTUFAR Y 6 DE MARZO	02°11'655"	079°53'347"
18	FARMACIA MASTER	10 DE AGOSTO Y GARCIA AVILES	02°11'690"	079°53'170"
19	FARMACIA CLEMENTE BALLEEN	CLEMENTE BALLEEN Y PEDRO CARBO	02°11'672"	079°52'927"
20	FARMACIA SG	CLEMENTE BALLEEN Y JUAN PIO MONTUFAR	02°11'537"	079°53'332"
21	FARMACIA APRONAX	CLEMENTE BALLEEN Y PEDRO MONCAYO	02°11'545"	079°53'370"
22	FARMACIA SANA SANA	CLEMENTE BALLEEN E/ QUITO Y PEDRO MONCAYO	02°11'543"	079°53'378"
23	FARMACIA VICTORIA	CLEMENTE BALLEEN Y QUITO	02°11'566"	079°53'402"
24	FARMACIA RIPLEY	AGUIRRE E/ CHIMBORAZO Y CHILE	02°11'032"	079°52'970"
25	FARMACIA PHARMACY S	AGUIRRE Y CHILE	02°11'076"	079°52'940"
26	FARMACIA SU MEDICA	AGUIRRE Y PICHINCHA ESQUINA	02°11'623"	079°52'948"
27	FARMACIA ALEMAN	LUQUE Y PEDRO MONCAYO		
28	FARMACIAS FYBECA	LUQUE Y CHIMBORAZO ESQUINA	02°11'556"	079°52'994"
29	FARMACIA FRANCESA	LUQUE 623 E/ BOYACA Y ESCOBEDO	02°11'541"	079°53'084"
30	FARMACIA KATHERINE CO	LUQUE Y FCO GARCIA AVILES		
31	FARMACIA C C	LUQUE Y L DE GARAICOA	02°11'486"	079°53'234"
32	DROGUERIA LA PROVIDENCIA	LUQUE Y P MONCAYO ESQUINA	02°11'478"	079°53'343"
33	FARMACIA MEDICAL MASTER #2	JOSE VILEZ Y AV QUITO ESQUINA	02°11'455"	079°53'355"
34	FARMACIA VICTORIA	JOSE VILEZ Y 6 DE MARZO ESQUINA	02°11'467"	079°53'270"
35	FARMACIA YAMIMEDICAL	JOSE VILEZ Y RUMICHACA ESQUINA	02°11'451"	079°53'169"
36	FARMACIA RIFLEY	AV 9 DE OCTUBRE Y CHIMBORAZO	02°11'495"	079°52'886"
37	FARMACIA RIFLEY	AV 9 DE OCTUBRE Y BOYACA	02°11'467"	079°53'049"
38	FARMACIA SU MEDICA	9 DE OCTUBRE Y GARCIA AVILES	02°11'439"	079°53'116"
39	FARMACIA SUPREMA	9 DE OCTUBRE Y GARCIA AVILES	02°11'450"	079°53'131"
40	FARMACIA FYBECA	9 DE OCTUBRE Y RUMICHACA	02°11'413"	079°53'160"
41	FARMACIA VICTORIA	9 DE OCTUBRE Y RUMICHACA ESQUINA	02°11'423"	079°53'171"
42	FARMACIA OFF	VICTOR M RENDON Y AV QUITO	02°11'333"	079°53'319"
43	FARMACIA SERVIMAX	VICTOR M RENDON Y 6 DE MARZO	02°11'328"	079°53'319"
44	FARMACIA KARI	VICTOR M RENDON Y LORENZO DE GARAICOA	02°11'350"	079°53'207"
45	FARMACIA RANCHA	VICTOR M RENDON Y LORENZO DE GARAICOA	02°11'351"	079°53'199"
46	FARMACIA VIVIANA	JUNIN Y PEDRO M ESQUINA	02°11'304"	079°53'267"
47	FARMACIA APRONAX	JUNIN Y PEDRO M ESQUINA	02°11'286"	079°53'276"
48	FARMACIA RIFLEY	LUIS URDANETA Y QUITO ESQUINA	02°11'257"	079°53'280"
49	FARMACIA YAMIMEDICAL	LUIS URDANETA Y QUITO Y PEDRO MONCAYO	02°11'257"	079°53'290"
50	FARMACIA SANA SANA	LUIS URDANETA Y P MONCAYO	02°11'262"	079°53'274"
51	MEDIXPRESS / DIPERCAM	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11'211"	079°52'936"
52	DIST FARMACIA SANTIAGUITO	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11'218"	079°52'936"
53	DIST FARMACIA YAMIMEDICAL	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11'207"	079°52'942"
54	DIST FARMACIA GUAYABO	MENDIBURO Y ESCOBEDO Y BOYACA	02°11'212"	079°52'956"
55	DIST FARMACIA KICHE	MENDIBURO Y ESCOBEDO	02°11'180"	079°52'950"
56	PUNTO FARMAMEDIC	MENDIBURO E/ ESCOBEDO Y BOYACA	02°11'205"	079°52'861"
57	DIST FARMACIA FARMA EX	MENDIBURO Y BOYACA ESQUINA	02°11'207"	079°52'971"
58	DIST FARM EDITH Y APRONAX	MENDIBURO Y BOYACA	02°11'195"	079°52'987"
59	DIREDSA	MENDIBURO Y BOYACA	02°11'190"	079°52'998"
60	DIST FARM SUPERDESCUENTO	MENDIBURO E/ ALEJO LASCANO Y	02°11'196"	079°53'084"
61	DISTRIBUIDORA KRONOS	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11'192"	079°52'990"
62	DIST SAL ANDREWS Y APRONAX	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11'197"	079°53'000"
63	DIST FARMACEUTICA (AZTEC)	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11'190"	079°53'004"
64	FARMACIA S A	ALEJO LASCANO E/ BOYACA Y	02°11'178"	079°53'021"
65	DIST 123	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11'180"	079°53'017"
66	DIST FARM CANDEX	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11'195"	079°53'020"
67	DIST FARM SERVICIO	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA ESQUINA	02°11'190"	079°53'027"
68	COMERCIALIZADORA TELEFARM	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11'187"	079°53'022"
69	FARMA CENTRO	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11'191"	079°53'034"
70	DIST DD YAMIMEDICAL Y MONI	ALEJO LASCANO	02°11'183"	079°53'038"
71	DIST FARM DISPARMUR	ALEJO LASCANO Y RAFAEL XIMENA	02°11'176"	079°53'059"
72	DIST FARM ANORRO EXPRESS	ALEJO LASCANO	02°11'185"	079°53'056"

	NOMBRE	DIRECCION	LATITUD	LONGITUD
42	FARMACIA RUMICHACA	RUMICHACA Y MANUEL GALKECIO ESQUINA	02°11.144'	079°53.122'
43	DIST. FARM. NUEVA SELECTA	MANUEL GALECIO Y XIMENA ESQUINA	02°11.162'	079°53.023'
44	DIST. FARM. PROFARCON		02°11.160'	079°52.979'
	FARMACIA SANA SANA	JUAN MONTALVO Y MANUEL MATHEUS	02°11.085'	079°52.867'
45	FARMACIA NUEVA BRAVO	LOJA Y JOSE MATHEUS	02°11.059'	079°52.856'
	FARMACIA SUPERMAN	LOJA Y JOSE MATHEUS	02°11.055'	079°52.859'
46	DIST. FARM. QQ	LOJA	02°11.055'	079°52.870'
	FARMACIA BOULEVAR	LOJA	02°11.044'	079°52.869'
47	FARMACIA GLORIA	LOJA Y ESCOBEDO ESQUINA	02°11.047'	079°52.896'
48	DIST. FARM. MAHELY	LOJA Y BOYACA	02°11.043'	079°52.897'
49	FARMACIA VICTORIA	MANUEL MATHEUS Y LOJA	02°11.044'	079°52.842'
49	FARMACIA JULIA CORONEL	JULIAN CORONEL Y JOSE MATHEUS	02°10.994'	079°52.831'
	FARMACIA	JULIAN CORONEL E/ JOSE MATHEUS	02°11.022'	079°52.818'
	FARMACIA HOSPITAL		02°11.016'	079°52.808'
50	FARMACIA DAYANA	JULIAN CORONEL Y ALFREDO B. MORENO	02°11.019'	079°52.801'
17	FARMACIA VIG	PIO MONTUFAR E/ CLEMENTE BALLEEN Y A	02°11.569'	079°53.329'
52	FARMACIA RED FARMA	LORENZO DE GARAICOA E/ LUQUE	02°11.511'	079°53.229'
	FARMACIA ROCAFUERTE	L. DE GARAICOA E/ LUQUE Y VELEZ	02°11.489'	079°53.224'
52	FARMACIA BARZA	G. AVILES E/ CLEMENTE BALLEEN Y AGUIRR	02°11.486'	079°53.218'
30	FARMA STAR	JOSE CAMPOS Y GARCIA AVILES	02°11.405'	079°53.118'
42	DIST. FARM. NUEVA SELECTA		02°11.172'	079°53.021'
	DIST. FARM. SANCHEZ #2	RAFAEL XIMENA	02°11.174'	079°53.025'
	DIST. FARM. EL TREBOL	RAFAEL XIMENA E/ ALEJO LASCANO	02°11.173'	079°53.030'
	FARMACENTRO	RAFAEL XIMENA	02°11.202'	079°53.042'
54	DIST. 5054	BOYACA Y ROCAFUERTE	02°11.132'	079°52.960'
	DIST. FARM. LAAZ	BOYACA	02°11.128'	079°52.960'
	SUPERDESCORP S.A	BOYACA	02°11.128'	079°52.960'
	DIST. FARMA ROGIN S.A	BOYACA	02°11.221'	079°52.986'
	DIST. FARM. BOYACA	BOYACA	02°11.232'	079°52.983'
	DIST. RENE	BOYACA	02°11.230'	079°52.981'
	DIST. FARMACEUTICA 11	BOYACA	02°11.239'	079°52.985'
55	FARMACIA DEL PACIFICO	BOYACA Y FRANCISCO P. ICAZA	02°11.416'	079°53.029'
	FARMACIA MALDONADO	BOYACA	02°11.511'	079°53.056'
56	FARMACIA D'LOUIE	CORDOVA Y JUNIN	02°11.394'	079°52.878'
	FARMACIA PUNTO DE AHORR	CHILE	02°11.656'	079°52.961'
57	FARMACIA SUPER CENTRO	PEDRO CARBO Y AGUIRRE	02°11.663'	079°52.950'
	FARMACIA 405	PEDRO CARBO Y LUQUE	02°11.656'	079°52.919'
58	BOTIQUIN CLINICA PANAMERI	PANAMA Y ROCA	02°11.341'	079°52.759'