



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS**  
**INGENIERÍA EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE**

**“Optimización del sistema de ruteo vehicular en la distribución de los productos y creación de un sistema de información para el área de Ventas de una empresa farmacéutica en la ciudad de Milagro”**

**INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**(dentro de una materia de la malla)**

**Previo a la obtención del título de:**

**Ingeniero en Logística y Transporte**

**Presentado por:**

**Luis Eduardo Alvarado Ferretti**

**María Gabriela Alvarado Mendoza**

**Guayaquil – Ecuador**

**Año 2012**

## DEDICATORIAS

A mis padres por compartir su camino y alentarme a recorrer nuevos senderos,

A mi hermana por transgredir el silencio con el ruido de su inagotable cariño.

Luis Eduardo Alvarado Ferretti

Dedico este trabajo a aquellas personas que formaron parte de mi educación superior, a mis padres César Alvarado Quintana y Vilma Mendoza Rugel, que a base de esfuerzo y sacrificio me han permitido llegar hasta éste punto.

María Gabriela Alvarado Mendoza

## AGRADECIMIENTOS

A todos y todas quienes facilitaron los saberes que dicen de nuestra profesión,

especial gratitud a los profesores:

Erwin Delgado, Xavier Cabezas, Víctor Vega y Guillermo Baquerizo,

por contribuir con su paciente y acertada orientación,

a la construcción de esta obra.

Luis Eduardo Alvarado Ferretti

María Gabriela Alvarado Mendoza

**TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

**M. Sc. Guillermo Baquerizo Palma**  
**Presidente**

---

**M. Sc. José Villa Vásquez**  
**Delegado del ICM**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de este Trabajo final de graduación de Grado, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

---

**Luis Eduardo Alvarado Ferretti**

---

**María Gabriela Alvarado Mendoza**

## RESUMEN

Este trabajo estudia el sistema de gestión para la atención de los requerimientos formulados en los pedidos de los clientes y la distribución de los medicamentos que realiza una empresa farmacéutica en la ciudad de Milagro. Del análisis de la información obtenida de esta empresa, se puede afirmar que no tiene un medio de registro óptimo de los pedidos, por cuanto no dispone de una base de datos que almacene adecuadamente la información, además el sistema de gestión de pedidos de los clientes, se basa en visitas de campo, a cada uno de los locales, generando gastos de personal y movilización. El proceso de entrega de los productos a los clientes, en algunas ocasiones, no se cumple en el horario previamente acordado, generando reclamos e insatisfacción.

Por lo indicado, el proyecto que proponemos, busca solucionar estos problemas, a partir de la utilización de dos métodos que procuran una optimización en el sistema de información y en el sistema de ruteo vehicular.

Respecto a la recopilación de datos, se elabora un sistema eficaz y eficiente de registros, debidamente organizado, que garantice el mantenimiento y actualización de toda la información de los clientes, como datos personales, cambios de dirección, y los pedidos que realice. También sirve para que el personal del área de Ventas pueda realizar consultas.

Por otra parte, para optimizar el recorrido de la distribución de productos se utilizará el modelo VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) obteniendo primero el ruteo inicial a partir de la heurística del vecino más cercano y después aplicar la metaheurística del Recocido Simulado.

### **ABSTRACT**

This paper studies the management system for dealing with the customers' orders and the distribution of drugs performed by a pharmaceutical company in Milagro. From the analysis of the information obtained from this company, we can say that it doesn't count with an optimal way of keeping record of orders, because it doesn't have a database that properly stores the information, also the management system for the customers' orders is done with field visits to each store, generating staff and mobilization expenses. The process of delivering the products to the customers sometimes isn't met in the time previously agreed, generating complaints and dissatisfaction.

As indicated, the project proposed seeks to solve these problems, by using two methods looking for an optimization in the information system and the vehicle routing system.

Regarding the data collection, it will be developed an effective and efficient registration system, properly organized, which ensures the maintenance and updates of all the customers' information, like personal data, change of address, and the orders. It'll also help the sales staff area to make inquiries.

In addition, to optimize the product distribution the VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) model will be used by first obtaining the initial routing from the heuristic of the nearest neighbor and then applying the Simulated Annealing Metaheuristic.



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....</b>	<b>IV</b>
<b>DECLARACIÓN EXPRESA .....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación del Problema .....	3
1.3. Objetivo General.....	4
1.4. Objetivos Específicos .....	4
1.5. Hipótesis.....	4

<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>5</b>
2.1. Análisis de Casos de Estudio .....	5
2.2. Modelo del problema .....	5
2.2.1. El Problema del Agente Viajero (TSP) .....	5
2.2.2. El Problema Multi-agente Viajero (m-TSP).....	6
2.2.3. El problema de ruteo vehicular .....	6
2.2.4. Variantes del VRP .....	9
2.2.5. Formulación del Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo .....	11
2.2.6. Modelo Matemático .....	13
2.2.7. Definición de Heurística.....	16
2.2.8. Metaheurística para la resolución del VRPTW .....	18
2.3. Sistema de Manejo de Base de Datos.....	24
2.3.1. Características de un SGBD .....	24
2.3.2. Base de datos relacionales .....	26
2.3.3. Propiedades ACID.....	27
2.4. Modelo de costos de transporte.....	28

2.4.1. Tipos de modelos de costos .....	30
2.5. Costos variables y fijos .....	32
2.6. Aplicaciones informáticas .....	32
2.6.1. Microsoft Visual Studio 2010 .....	32
2.6.2. Microsoft Excel 2010 .....	33
2.6.3. Microsoft Access 2010 .....	34
2.6.4. Wolfram Mathematica 8.0.....	35
2.6.5. Google Earth .....	35
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>37</b>
<b>3. Caso de Aplicación.....</b>	<b>37</b>
3.1. Introducción .....	37
3.2. Modelo del sistema de información .....	37
3.2.1. Diseño de registro de clientes .....	38
3.2.2. Diseño de formulario de pedido.....	39
3.2.3. Diseño del registro de rutas.....	41
3.3. Ruteo vehicular.....	43
3.3.1. Propuesta para solución de ruteo inicial.....	44

3.3.2. Propuesta para optimización del ruteo .....	44
3.4. Aplicaciones informáticas .....	45
3.4.1. Microsoft Visual Basic 2010 .....	45
3.4.2. Microsoft Access 2010 .....	46
3.4.3. Microsoft Excel 2010 .....	46
3.4.4. Wolfram Mathematica 8.0.....	48
3.3.5 Google Earth .....	48
3.4. Modelo del costo del transporte.....	48
3.5. Costos fijos y variables .....	49
3.5.1. Costos fijos.....	49
3.5.2. Costos variables.....	50
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>53</b>
<b>4. Análisis de Resultados.....</b>	<b>53</b>
4.1. Escenario Actual.....	53
4.2. Escenario Propuesto .....	56
4.2.1. Propuesta para ruteo inicial.....	56
4.2.2. Resultado de ruteo .....	57

4.2.3. Representación de los resultados .....	58
4.3. Comparación de Resultados .....	59
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>60</b>
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>60</b>
5.1. Conclusiones .....	60
5.2. Recomendaciones .....	61
<b>Bibliografía .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>66</b>
Anexo A.....	66
<b>Iniciando el programa.....</b>	<b>68</b>
<b>Ejecutar el sistema de información.....</b>	<b>68</b>
<b>Cerrar el sistema de información .....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2. 1 Algoritmo del Vecino más Cercano [17].....	17
Ilustración 2.2 (a) Ejemplo de diferentes distribuciones de partículas en niveles de energía en función de la temperatura. (b) Probabilidad de aceptación en función de la temperatura [3]. .....	22
Ilustración 2.3 Pseudocódigo de Recocido Simulado [4]. .....	23
Ilustración 2.4 Esquema cliente-servidor en una base de datos [15]. .....	25
Ilustración 2.5 Esquema de base de datos relacional [15]. .....	27
Ilustración 3.1 Formulario Registro de Clientes .....	39
Ilustración 3.2 Formulario previo a obtener detalle de pedidos.....	40
Ilustración 3.3 Elaboración de Pedidos .....	41
Ilustración 3.4 Formulario para Despacho de Pedidos .....	43
Ilustración 3.5 Relaciones entre las tablas.....	46
Ilustración 3.6 Registro de clientes .....	47
Ilustración 4.1 Ejemplo del VRPTW aplicando Recocido Simulado .....	57
Ilustración 4.2 Papeleta de Ruteo .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Comparación de conceptos entre el proceso termodinámico y el de optimización [3].....	20
Tabla 3.1 Tabla de Costos Fijos .....	50
Tabla 3.2 Tabla de Costos Variables .....	52
Tabla 4.1 Resultado de Costos Fijos de visitador médico .....	53
Tabla 4.2 Resultado de Costos Variables de visitador médico .....	53
Tabla 4.3 Resultado de Costos Fijos del vehículo .....	55
Tabla 4.4 Resultado de Costos Variables del vehículo .....	55
Tabla 4.5 Costos de Escenario Actual y Escenario Propuesto .....	59

**ABREVIATURAS**

VRP	Vehicle Routing Problem (Problema de ruteo vehicular)
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows (Problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo)
DBMS	Database Management System
SGBD	Sistema de Gestión de Base de Datos
SA	Simulated Annealing (Recocido Simulado)
ACID	Atomicity, Consistency, Isolation, Durability



## INTRODUCCIÓN

La presente tesis se ha enfocado en el análisis del problema de la planificación del ruteo vehicular y el sistema de información para el área de ventas de una mediana empresa farmacéutica. Este problema es común a todas las empresas, y se manifiesta en los costos de distribución, que por cierto encarecen los precios que deben asumir los consumidores. De allí, la importancia que tiene este tipo de investigaciones, que además de optimizar los ahorros en el reparto de los productos y agilizar procesos, atienden el mantenimiento de altos niveles de calidad en lo que refiere al cumplimiento de los requerimientos de los clientes.

En el Capítulo 1 se describe la situación actual de la empresa objeto de estudio, luego de justificar el problema, se propone el objetivo general del proyecto y los objetivos específicos y finalmente se explica la hipótesis, objeto de comprobación en este proyecto.

El Capítulo 2 abarca el Marco Teórico que se utiliza en el proyecto, se muestran ejemplos de casos de estudios, los cuales incluyen modelos, aplicaciones, programación, entre otros, utilizados en nuestra investigación. También se hace referencia al marco conceptual con el cual se desarrolló el presente estudio, así como los programas que se manejaron para la demostración de la teoría.

El Capítulo 3, se refiere al Caso de Aplicación, procura demostrar como los conocimientos teóricos de la Carrera, sirven para resolver el problema. También se explica la implantación de los datos obtenidos en los programas correspondientes.

El Capítulo 4, consta el Análisis de Resultados, en éste se expone el escenario actual de la empresa y el escenario propuesto. A continuación se comparan los resultados de cada uno de los escenarios.

Finalmente, en el Capítulo 5, demostramos el logro del objetivo general, los objetivos específicos e hipótesis, éstos se explican en las conclusiones de nuestro estudio. De la misma forma, se plantean las recomendaciones que la empresa estaría en la opción de aplicarlas.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. Planteamiento del Problema**

#### **1.1. Antecedentes**

Para satisfacer la demanda de medicinas en la ciudad de Milagro se creó a finales del año 1990, una empresa farmacéutica, a la cual denominaremos Farmacéutica 1.

La empresa Farmacéutica 1 cuya misión es elaborar productos de alta calidad y distribuirlos a sus clientes, se dedica a la producción de los medicamentos que son comercializados en los diferentes puntos de venta, vale decir, que la producción es su CORE – BUSINESS; sin embargo aunque poseen su propia flota de camiones, estos no abastecen, por lo que se apoyan con la contratación del servicio de una empresa que se dedica a la entrega de los productos en varias regiones del país.

En los procesos previstos para la distribución de los medicamentos, está considerada la estimación de las demandas de los clientes, para ello, se envían a los puntos de venta a visitadores médicos, los cuales son movilizados en carros particulares de la empresa, éstos se encargan de tomar detalladamente los pedidos de los clientes.

Luego de organizar y definir la capacidad de cobertura de los pedidos, en función del stock disponible, se procede con el embalaje de los productos a distribuir, y se acompaña con la emisión de la factura correspondiente. El despacho de los paquetes le corresponde a los bodegueros, éstos son los encargados de trasladar los productos de la bodega a la zona de embarque, las cuales serán ubicados en los respectivos vehículos, mientras que los choferes en su papeleta tendrán a disposición las direcciones de los puntos de venta, la cantidad de productos que debe entregar a cada cliente y el horario en el cual deben ser entregado los productos en el punto de venta.

Luego de haber organizado los registros de los requerimientos y asignado a los diferentes vehículos de la empresa y a la empresa contratada para los servicios de distribución, el encargado del manejo del proceso de entrega, determina cual es la ruta que deben realizar los choferes para distribuir el producto a los clientes.

Adicionalmente, se ha podido apreciar que el sistema de ruteo de los vehículos de la flota de transporte de la empresa no ha sido debidamente planificado, lo cual ha generado dificultades en las entregas y ha incrementado el costo de la movilización, constituyendo un problema significativo en la calidad del cumplimiento de la entrega de los productos y afectando a la relación de la empresa con sus clientes.

## **1.2. Justificación del Problema**

En la actualidad las empresas necesitan atender de manera urgente los cambios que demanda la dinámica de la competitividad que caracteriza a los mercados en lo que se ha dado en llamar la globalización. Entre otros aspectos, las empresas comienzan a enfocarse principalmente en la disminución de costos de sus operaciones para mantenerse en un mercado específico. Los costos que se ha buscado disminuir corresponden a transporte y distribución de productos, de materias primas, de inventarios, de producción, de venta, entre otros.

La venta, cobranza y distribución (transporte), generalmente representan componentes importantes en los costos de logística para la mayoría de las empresas, se afirma que el movimiento de la carga absorbe entre uno y dos tercios de los costos. Por tanto, con las mejoras del sistema de transporte, los costos reducidos para productos en mercados distantes pueden ser competitivos contra otros productos que se venden en los mismos mercados. Si además, se implementa un sistema de información para el área de ventas, con la redefinición de las visitas de los vendedores a los clientes y se rediseña la secuencia de las visitas para reducir otros costos, estaríamos garantizando una propuesta que permita mejorar el modelo vigente y por ende, tener ventajas competitivas.

### **1.3. Objetivo General**

Diseñar una propuesta sostenible del sistema de ruteo optimizado para la distribución de los productos e implementación de un sistema de información para el área de Ventas de una empresa farmacéutica en la ciudad de Milagro.

### **1.4. Objetivos Específicos**

- Identificar los puntos de venta del sistema de distribución de productos vigentes, en un plano de coordenadas.
- Diseñar un sistema de información que recopile el registro de los clientes.
- Aplicar un modelo matemático para establecer una ruta inicial del sistema de distribución.
- Utilizar un algoritmo metaheurístico a los resultados obtenidos con la aplicación del modelo matemático.
- Evaluar comparativamente los sistemas de venta actual y el propuesto.

### **1.5. Hipótesis**

La creación e implantación de un sistema de información en el área de Ventas y la optimización del sistema de ruteo vehicular reducirá los costos en la distribución de los productos de la empresa Farmacéutica 1.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. Marco teórico**

#### **2.1. Análisis de Casos de Estudio**

Según Flores [10], DHL Express maneja varios sistemas, entre los que se puede mencionar, sistemas para coordinación de pedidos, facturación, coordinación de horarios, entre otros.

También se menciona que al aplicar un sistema de ruteo vehicular y las heurísticas se minimizan los costos en la transportación en comparación a cuando la empresa no lo aplicaba.

A partir del documento de García [11], para la implementación del código de la aplicación informática, se ha utilizado Visual Basic 6.0 debido a su facilidad para acceder a Bases de Datos (en este caso Access) mediante el lenguaje SQL.

Es decir, una forma en la cual se manejaría de forma adecuada los datos de los clientes y pedidos sería a través de programas que utilicen un DBMS.

### **2.2. Modelo del problema**

#### **2.2.1. El Problema del Agente Viajero (TSP)**

Uno de los problemas de ruteo más conocidos es el problema del agente viajero. Este problema consiste en visitar un número finito de lugares por un vendedor,

el cual debe visitar a cada uno de sus clientes sólo una vez y regresar al lugar de partida. La solución a este problema consiste en construir la ruta que minimice la distancia que tiene que recorrer el agente [16].

### **2.2.2. El Problema Multi-agente Viajero (m-TSP)**

En el m-TSP existen  $m$  agentes viajeros, los cuales tienen que visitar un número finito de lugares y cada lugar debe ser visitado exactamente por un agente. Cada vendedor comienza en el mismo lugar, denominado depósito, y tiene que regresar a éste al final de su jornada [16].

El VRP o problema de ruteo de vehículos es el m-TSP, en donde a cada cliente se le asocia una demanda y cada vehículo cuenta con cierta capacidad. Por lo tanto se puede considerar al problema del agente viajero como el que da origen al problema de ruteo de vehículos [16].

### **2.2.3. El problema de ruteo vehicular**

“La efectiva planificación del modelo de distribución de una empresa contribuye a reducir los costos de un 15 % a un 25%” [1]. Como Delgado menciona [14], esta determinará como se deberá visitar a los clientes, con el fin de satisfacer sus necesidades, esto da origen a un problema de optimización combinatoria, conocido como Problema de Ruteo Vehicular o VRP por sus siglas en inglés.



Conforme lo define Delgado [14], el VRP busca determinar un conjunto de rutas que parte de uno o varios depósitos, de tal manera que visite un conjunto de clientes satisfaciendo sus demandas a un costo mínimo.

Este problema para Delgado [14], se puede modelar mediante un grafo, en el cual sus vértices representan los clientes y depósitos, y los arcos que existan entre los nodos, serán las conexiones entre clientes y depósitos. A cada arco se le asignará un costo, el cual puede representar el tiempo de viajes entre ambos o la distancia.

Las variantes que existen de este problema como lo indica Delgado [14], dependen de las variables que intervienen en el mismo, debiéndose considerar lo siguiente:

- En el caso de los clientes, se debe tener en cuenta su localización geográfica, la cantidad de unidades que hayan de ser entregadas o recogidas de los diferentes clientes, el intervalo de tiempo en el cual se deba visitar a los clientes y el tiempo de servicio que se debe ofrecer a cada cliente.
- Para realizar la transportación, la empresa debe contar con una flota de vehículos, para la cual debemos considerar las características de los vehículos que ésta posee, es decir, capacidad de los vehículos

(volumen), la disponibilidad de los vehículos, los costos asociados a la utilización del vehículo (por unidad de tiempo, por ruta, etc.).

- Las rutas programadas deben cumplir con distintas restricciones operacionales, las mismas que dependen de las características de los vehículos que se empleen en las mismas, la naturaleza del bien que se deba transportar y las características de los clientes. Se puede mencionar el hecho de que los clientes deban ser visitados en intervalos de tiempos, que las cargas transportadas por los vehículos no deban exceder el límite de la capacidad de los mismos, que algún cliente deba ser visitado un número determinado de veces al día, entre otras.
- Para la obtención del costo total de las rutas, y el cumplimiento de las restricciones, se debe conocer el costo de viajes y el tiempo de viaje entre cada cliente, y también entre depósitos y clientes.

Citando algunos objetivos de Delgado del problema del ruteo vehicular [14]:

- Minimización del número de vehículos que se usen para visitar a los diversos clientes.
- Minimización del costo total de transportación, el cual incluye, la distancia total recorrida y los costos fijos por la utilización de los vehículos.

Una vez planteado el problema sobre la distribución de medicinas por parte de Farmacéutica 1, se considerará que los clientes deben ser visitados en un intervalo de tiempo.

El problema que se ha de resolver es el de la distribución de medicina desde las instalaciones de Farmacéutica 1, hacia los  $n$  clientes que posee la empresa, a un costo de transportación mínimo, buscando la satisfacción de la demanda en un intervalo de tiempo. Previamente los clientes ya han sido ingresados al sistema de información, que se creará para la empresa. Esta variación del VRP se denomina VRPTW.

#### **2.2.4. Variantes del VRP**

De acuerdo a las diferentes necesidades que tiene una empresa a la hora de repartir sus mercancías surgen las variantes del VRP, a continuación se mencionan las más conocidas [16]:

- Problema con Capacidades (Capacited VRP - CVRP)
- Problema con Ventanas de Tiempo (VRP with Time Windows - VRPTW)
- Problema con Múltiples Depósitos (Multiple Depot VRP - MDVRP)
- Problema con Entregas y Devoluciones (VRP with Pickup and Delivery - VRPPD)

#### **2.2.4.1. Problema de Ruteo Vehicular con Capacidades (CVRP)**

Para este problema se cuenta con  $n$  clientes, un depósito único, y además se saben las distancias que existen de cada cliente al depósito, así como las distancias entre los clientes. Los vehículos que se utilizan para el reparto de la mercancía son de capacidad idéntica. Por lo que el problema es encontrar los recorridos que deben realizar los vehículos tal que se minimice la distancia total y se satisfaga la demanda de los clientes, con la restricción fundamental de no violar la capacidad de los vehículos [16].

Finalmente, en esta variante del VRP no existe un número definido de camiones. Además, cada recorrido visita un subconjunto de clientes y se debe comenzar y terminar en el depósito [16].

#### **2.2.4.2. Problema de Ruteo Vehicular con Múltiples Depósitos (MDVRP)**

Esta versión del VRP se caracteriza por tener más de un depósito para servir a los clientes. Si los clientes están agrupados alrededor de los depósitos, entonces el problema de distribución puede modelarse como un sistema de VRP independiente. Sin embargo, si los clientes y los depósitos están mezclados el problema de ruteo debe ser resuelto como un MDVRP [16].

Un MDVRP requiere la asignación de clientes a los depósitos, así como una flotilla de vehículos designada para cada depósito. El objetivo del problema es

servir a todos los clientes mientras que se reduce al mínimo el número de vehículos del recorrido [16].

#### **2.2.4.3. Problema de Ruteo Vehicular con Entregas y Devoluciones (VRPPD)**

Es un tipo de VRP en el cual se contempla la posibilidad de que los clientes puedan regresar algún tipo de mercancía, es por esto que es necesario tomar en cuenta que los artículos que los clientes devuelvan deben caber dentro del vehículo de entrega [16].

La restricción anterior hace el problema más difícil puesto que puede presentarse el mal uso de la capacidad del vehículo, incrementando la distancia del vehículo o la necesidad de más vehículos. Es por esto que se recomienda hacer para este problema una simplificación que consiste en entregar primeramente toda la mercancía antes de poder recibir alguna devolución [16].

#### **2.2.5. Formulación del Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo**

Si bien, existen diferentes variantes de modelización, para definir los sistemas de ruteo vehicular, vale indicar que el VRPTW, contiene las restricciones necesarias y suficientes para aplicar a la solución del problema objeto de esta

investigación, toda vez que éste permite verificar que se cumplan con las ventanas horarias.

Bajo el concepto de Delgado [14], el VRPTW puede ser formulado de la siguiente manera. Sea  $G = (V, E)$  un grafo no dirigido donde  $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$  es un conjunto de vértices, en el que  $v_1, v_2, \dots, v_n$  representan los clientes,  $v_0$  el depósito y  $E = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ , es un conjunto de arcos que representan, las conexiones posibles entre los clientes y entre los depósitos y clientes. A cada par ordenado  $(v_i, v_j) \in E$ , se le asocia un costo  $c_{i,j}$  y un tiempo de viaje  $t_{i,j}$ . Cada cliente  $v_i \in V \setminus \{v_0\}$ , tiene una demanda  $d_i$  y un tiempo de servicio  $s_{vi}$  y un intervalo de tiempo  $[l_{vi}, m_{vi}]$ , en el que se debe satisfacer la demanda. Una flota de  $K$  vehículos con capacidad  $Q$ , se halla en las bodegas o depósitos. Se conoce el número de vehículos con los que cuenta la flota, así mismo sea  $r$  la máxima longitud que un vehículo pueda recorrer. El VRPTW consiste en la construcción de a lo mucho  $K$  rutas factibles que satisfagan la demanda del cliente.

Para Delgado existen restricciones que deben cumplirse [14]:

- 1.- Cada ruta comienza y termina en el depósito.
- 2.- Cada cliente es visitado sólo una vez por un solo vehículo.

- 3.- La demanda de cada cliente se satisface en cada visita realizada por el vehículo.
- 4.- La demanda acumulada en cada ruta no excede la capacidad  $Q$  de cada vehículo.
- 5.- La longitud total recorrida por cada vehículo no excede el valor límite  $r$ .
- 6.- Los clientes son atendidos por las ventanas de tiempo previamente establecidas.
- 7.- El costo total de las rutas es mínimo.

### 2.2.6. Modelo Matemático

A partir de lo expuesto por Delgado [14], se tiene el modelo matemático siguiente: Se define la variable binaria  $x_{i,j,k}$ , de la siguiente manera:

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & \text{si el arco } (v_i, v_j) \in E, \text{ es incluido en alguna ruta de un vehículo } k \in K \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

Delgado demuestra que la función objetivo es la siguiente [14]:

Sea  $c_{i,j}$  el costo asociado al arco  $(v_i, v_j) \in V$ , se involucra los costos asociados a los arcos que pertenecen a una solución dada.

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(v_i, v_j) \in E} c_{i,j} x_{i,j,k}$$

Y las restricciones para este modelo son [14]:

Sean  $\Delta^-(v_i)$  el conjunto de vértices con la condición de que  $\exists v_j \in V$  tal que  $(v_i, v_j) \in E$  y  $\Delta^+(v_0)$  el conjunto de vértices con la condición de que  $\exists v_i \in V$  tal que  $(v_i, v_0) \in E$ , entonces [14]:

1.- Luego de que un vehículo visite a un cliente  $v_i \in V \setminus \{v_0\}$ , éste debe visitar a uno y solamente un cliente o retornar al depósito.

$$\sum_{k \in K} \sum_{v_j \in \Delta^-(v_i)} x_{i,j,k} = 1, \forall v_i \in V \setminus \{v_0\}$$

2.- Cada recorrido que realice un vehículo  $k \in K$ , debe terminar en el depósito  $\{v_0\}$ .

$$\sum_{v_i \in \Delta^+(v_0)} x_{i,0,k} = 1, \forall k \in K$$

3.- Después de visitar sólo una vez a cada cliente  $v_i \in V \setminus \{v_0\}$ , el vehículo debe dirigirse a un solo vértice  $v_j \in V$ .



$$\sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} x_{i,j,k} - \sum_{v_j \in \Delta^-(v_i)} x_{j,i,k} = 0, \forall k \in K, \forall v_i \in V \setminus \{v_0\}$$

4.- Sea  $d_i$  la demanda de cada cliente  $v_i$ , la suma de las demandas de cada cliente satisfecha por cada vehículo  $k \in K$ , no debe exceder la capacidad  $Q$  de los mismos.

$$\sum_{v_i \in V \setminus \{v_0\}} d_i \sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} x_{i,j,k} \leq Q, \forall k \in K$$

5.- El VRPTW establece ventanas de tiempo en las cuales se debe satisfacer las demandas requeridas por los clientes. Dado que dicha restricción se debe cumplir, se tiene:  $t_{v_i}$  el tiempo de llegada de un vehículo al cliente  $v_i$ , y  $[l_{v_i}, m_{v_i}]$  el intervalo de la ventana de tiempo, la restricción será la siguiente

$$l_{v_i} \leq t_{v_i} \leq m_{v_i}, \forall v_i \in V \setminus \{v_0\}$$

6.- Sea  $s_{v_i}$  el tiempo de servicio del cliente  $v_i$ , se define una función de tiempo modificada,  $\dot{t}_{v_i, v_j}$ , como:

$$\dot{t}_{v_i, v_j} = \begin{cases} t_{ij} + s_{ij}, & \text{si } v_i \in V \setminus \{v_0\} \\ t_{ij}, & \text{si no} \end{cases}$$

Tenemos entonces:

$$x_{i,j,k} \left( t_{v_i} + t_{v_i, v_j} - t_{v_j} \right) \leq 0, \forall (v_i, v_j) \in E, v_i, v_j \neq v_0$$

La última ecuación no es lineal, y tornaría un poco complejo el problema, pero se la puede linealizar utilizando el método de la BIG-N, consideremos que  $N \rightarrow \infty$ , matemáticamente podemos definir el modelo de la siguiente manera:

$$t_{v_j} - t_{v_i} \geq s_i + t_{ij} - N(1 - x_{i,j,k}), \forall k \in K$$

Si  $x_{i,j,k} = 1$  se tendrá:

$$t_{v_j} - t_{v_i} \geq s_i + t_{ij}$$

Estos problemas se pueden resolver implementando heurísticas. Para el problema presente usaremos la metaheurística del Recocido Simulado.

### 2.2.7. Definición de Heurística

En la actualidad los problemas de optimización se han vuelto muy complejos debido a su alto grado combinatorio o por la dificultad de encontrar una solución a través de un método exacto. Por lo que desde la década de los setenta surgen los métodos conocidos como heurísticas los cuales son procedimientos simples

que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable en tiempos de cálculo generalmente moderados [16].

### 2.2.7.1. Heurística del Vecino más Cercano

Uno de los heurísticos más sencillos para el TSP es el llamado “del vecino más cercano”, que trata de construir un ciclo Hamiltoniano de bajo coste basándose en el vértice cercano a uno dado. Este algoritmo es debido a Rosenkrantz, Stearns y Lewis (1977) y su código, en una versión standard, es el siguiente [17]:

Inicialización

Selecciona un vértice  $j$  al azar

Hacer  $t = j$  y  $W = V \setminus \{j\}$ .

Mientras ( $W \neq \emptyset$ )

Tomar  $j$  de  $W / c_{ij} = \min\{c_{it} / i \text{ en } W\}$

Conectar  $t$  a  $j$

Hacer  $W = W \setminus \{j\}$  y  $t = j$ .

#### **Ilustración 2. 1 Algoritmo del Vecino más Cercano [17].**

Este procedimiento realiza un número de operaciones de orden  $O(n^2)$ . Si seguimos la evolución del algoritmo al construir la solución de un ejemplo dado, veremos que comienza muy bien, seleccionando aristas de bajo coste. Sin embargo, al final del proceso probablemente quedarán vértices cuya conexión obligará a introducir aristas de coste elevado. Esto es lo que se conoce como

miopía del procedimiento, ya que, en una iteración escoge la mejor opción disponible sin “ver” que esto puede obligar a realizar malas elecciones en iteraciones posteriores [17].

### **2.2.8. Metaheurística para la resolución del VRPTW**

“La Heurística es el arte de inventar o descubrir hechos a partir de hipótesis o principios que, aún no siendo verdaderos estimulan la investigación” [2].

Según Delgado [14], para solucionar los problemas de VRP se han desarrollado diversas heurísticas, clasificadas en dos grupos: las heurísticas clásicas y las metaheurísticas.

Por ello, Delgado detalla [14], la primera se basa en la exploración de limitadas soluciones, que no brindan resultados precisos, pero si producen bajos costos computacionales. Las metaheurísticas se basan en una búsqueda profunda que permite considerar regiones que por las heurísticas clásicas no se hubieran podido considerar. Las metaheurísticas se basan en la delimitación de vecindarios, y utilizan una memoria a dónde van los datos que se van generando en el desarrollo de las mismas; generan mejores soluciones con respecto a las heurísticas clásicas.

### **2.2.8.1. Algoritmo del Recocido Simulado**

A partir de la definición de Duarte [3], el recocido simulado o SA es una metaheurística que se basa en la analogía que puede existir entre un proceso de optimización combinatoria y un proceso termodinámico, conocido como recocido. Este proceso consiste en elevar la temperatura de un sólido cristalino con defectos hasta una temperatura determinada, que por lo general suele ser alta. Posteriormente, se permite que el material se enfríe muy lentamente en un baño térmico. El proceso de enfriamiento viene descrito por una función de la temperatura conocida como cola de enfriamiento, que generalmente suele ser continua y suave. Con este proceso se pretende que el sólido alcance una configuración de red cristalina lo más regular posible, eliminando durante este proceso los posibles defectos que tuviese originalmente. La nueva estructura cristalina se caracteriza por tener un estado de energía de la red mínimo.

Además, Duarte desde un punto de vista algorítmico define [3]: SA es un algoritmo de búsqueda local capaz de escapar de los óptimos locales permitiendo que bajo ciertas circunstancias se admitan movimientos que empeoren la mejor solución encontrada hasta el momento en el proceso de búsqueda.

Esta metaheurística fue inicialmente concebida por Kirkpatrick a principios de los 80. Consideraron aplicar el algoritmo de Metropolis a problemas de minimización

que aparecen en este tipo de diseños, para lo cual introdujeron una analogía entre los parámetros que intervienen en el proceso termodinámico y en el proceso de optimización. En la Tabla 2.1 se muestra la identificación de conceptos [3].

<b>Termodinámica</b>	<b>Optimización</b>
Configuración cristalina	Solución factible
Configuración cristalina de mínima energía	Solución óptima
Energía de la configuración	Coste de la solución
Temperatura	Parámetro de control

**Tabla 2.1 Comparación de conceptos entre el proceso termodinámico y el de optimización [3].**

El proceso consiste en elevar la temperatura de un sólido cristalino que presenta defectos hasta una temperatura determinada, que por lo general es alta. Después se permite que el material se enfríe muy lentamente en un baño térmico. Con el proceso de enfriamiento se espera que el sólido alcance una configuración de red cristalina lo más regular posible, eliminando en este proceso los defectos que pudiera presentar el sólido en sus inicios [3].

En esencia, se supone que las partículas que componen el sólido cristalino son distinguibles y que siguen una distribución de Maxwell-Boltzman.

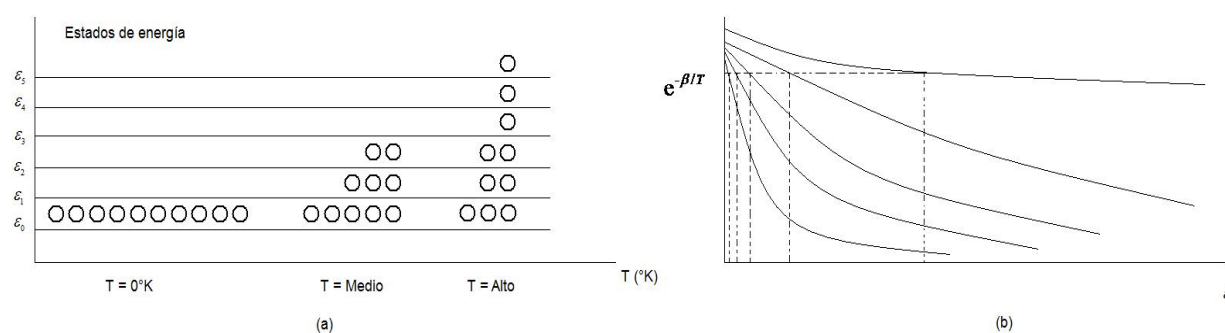
Matemáticamente esta distribución de probabilidad viene dada por la siguiente expresión:

$$n'_j = C * e^{-\beta * \epsilon_j} \quad (2.1)$$

Donde  $n'_j$  es el número de partículas en el estado de ocupación  $j$ ;  $C$  es una constante de proporcionalidad;  $\beta = 1/k_B T$ , con  $k_B$  como la constante de Boltzman y  $T$  la temperatura del sólido, finalmente  $\epsilon_j$  es la energía del estado  $j$ . En la Ilustración 2.1.a se muestra de forma esquemática, la distribución de partículas en niveles de energía en función de la temperatura. Como se puede observar, para una temperatura nula todas las partículas que componen el sólido están en el nivel más bajo de la energía. En cambio, cuando se eleva la temperatura del sólido, aumenta la probabilidad de encontrar partículas en niveles más altos de energía [3].

El algoritmo de SA se fundamenta en el trabajo de Metropolis, quien modeló el proceso del recocido de un sólido simulando cambios energéticos en un sistema de partículas conforme decrece la temperatura. Este proceso se mantiene hasta que llega a un estado estable. El algoritmo de Metropolis permite calcular los valores medios de energía de cada uno de los niveles. Para ello, se introduce una ligera perturbación en el sistema. Posteriormente, se calcula de nuevo la

energía de cada una de las partículas, de tal forma que si ésta ha decrecido, el sistema transita al nuevo nivel de energía. Sin embargo, si el nivel de energía aumentaba, el nuevo estado se acepta con la probabilidad descrita en 2.1. En la Ilustración 2.1.b se muestra la distribución de probabilidad en función de la temperatura. En esta Ilustración se puede observar que cuando la temperatura es elevada, la probabilidad de aceptación de un estado con energía mayor (peor configuración) es relativamente alta. En cambio, cuando la temperatura es baja, la probabilidad de aceptar estados con mayor energía es muy pequeña [3].



**Ilustración 2.2 (a) Ejemplo de diferentes distribuciones de partículas en niveles de energía en función de la temperatura. (b) Probabilidad de aceptación en función de la temperatura [3].**

El Recocido Simulado es un procedimiento de búsqueda local que introduce una fase de aleatorización en la aceptación de movimientos, de tal forma que si el procedimiento es de mejora se acepta. Por el contrario si el movimiento conduce



a una solución peor, se acepta con probabilidad dado por el parámetro  $T$ , que corresponde con la temperatura en el proceso termodinámico. La temperatura permite que en los primeros instantes de la búsqueda la mayoría de los movimientos se acepte, aunque estos empeoren la situación. Posteriormente la temperatura se va reduciendo, lo cual implica que cada vez se hace más restrictivo el proceso de aceptación de estados de peor calidad [3].

```

Input( $T_0, \alpha, L, T_f$ )
 $T \leftarrow T_0$ 
 $S_{act} \leftarrow$  Genera_solución_inicial
While  $T \geq T_f$  DO
BEGIN
FOR cont  $\leftarrow$  1 TOL( $T$ ) DO
BEGIN
 $S_{cand} \leftarrow$  Selecciona_solución_N( $S_{act}$ )
 $\delta \leftarrow$  coste( $S_{cand}$ ) - coste( $S_{act}$ )
IF( $U(0,1) < e^{(-\delta/T)}$ ) OR
( $\delta < 0$ ) THEN  $S_{act} \leftarrow S_{cand}$ 
END
 $T \leftarrow \alpha(T)$ 
END

```

### Ilustración 2.3 Pseudocódigo de Recocido Simulado [4].

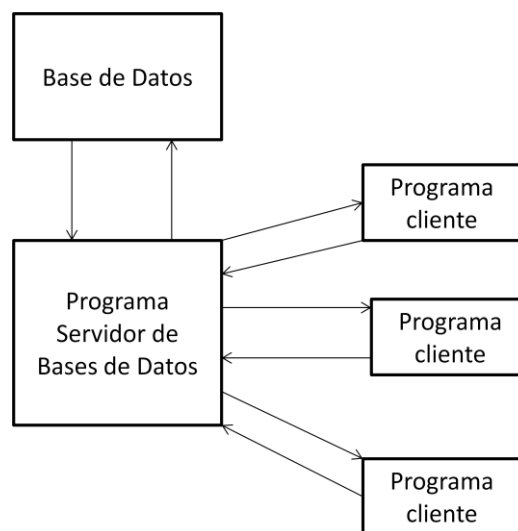
## **2.3. Sistema de Manejo de Base de Datos**

Bajo el concepto de Alonso [15], un Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD) consiste en una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a los mismos.

### **2.3.1. Características de un SGBD**

Según Alonso [15], un SGBD permite el almacenamiento, manipulación y consulta de datos pertenecientes a una base de datos organizada en uno o varios ficheros. En el modelo más extendido (base de datos relacional) la base de datos consiste, de cara al usuario, en un conjunto de tablas entre las que se establecen relaciones. A pesar de sus semejanzas (ambos manejan conjuntos de tablas) existen una serie de diferencias fundamentales entre un SGBD y un programa de hoja de cálculo, la principal es que un SGBD permite:

- El método de almacenamiento y el programa que gestiona los datos (servidor) son independientes del programa desde el que se lanzan las consultas (cliente). Véase Ilustración 2.3.



**Ilustración 2.4 Esquema cliente-servidor en una base de datos [15].**

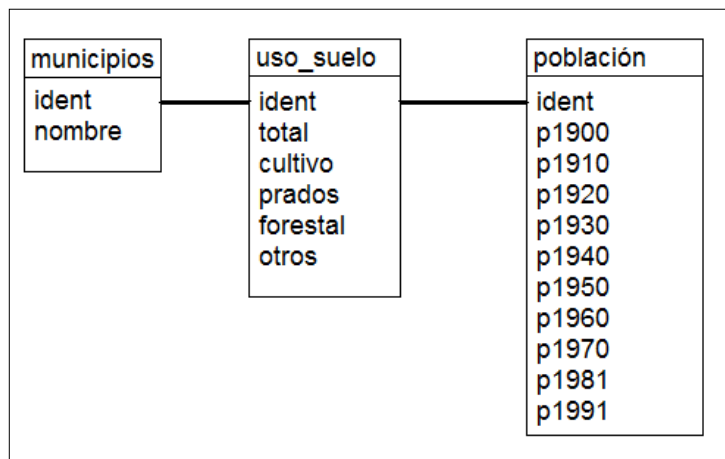
- En lugar de primarse la visualización de toda la información, el objetivo fundamental es permitir consultas complejas, cuya resolución está optimizada, expresada mediante un lenguaje formal.
- El almacenamiento de los datos se hace de forma eficiente aunque oculta para el usuario y normalmente tiene, al contrario de lo que ocurre con las hojas de cálculo, poco que ver con la estructura con la que los datos se presentan al usuario.
- El acceso concurrente de múltiples usuarios autorizados a los datos, realizando operaciones de actualización y consulta de los mismos garantizando la ausencia de problemas de seguridad (debido a accesos

no autorizados) o integridad (pérdida de datos por el intento de varios usuarios de acceder al mismo fichero al mismo tiempo).

El programa servidor suele activarse al arrancar el ordenador, podría compararse a un bibliotecario que recibe peticiones (consultas) de diferentes programas clientes de base de datos, consulta la base de datos y entrega al cliente el resultado de la consulta realizada. Si dos usuarios solicitan al mismo tiempo una modificación de los datos, el programa servidor se encarga de hacerlas ordenadamente para evitar perder datos (lo que ocurría si ambos usuarios abrieran y modificaran a la vez un fichero con la base de datos) [15].

### **2.3.2. Base de datos relacionales**

Es el modelo más utilizado hoy en día. Una base de datos relacional es básicamente un conjunto de tablas, similares a las tablas de una hoja de cálculo, formadas por filas (registros) y columnas (campos). Los registros representan cada uno de los objetos descritos en la tabla y los campos los atributos (variables de cualquier tipo) de los objetos. En el modelo relacional de base de datos, las tablas comparten algún campo entre ellas. Estos campos compartidos van a servir para establecer relaciones entre las tablas que permitan consultas complejas (Ilustración 2.5) [15].



**Ilustración 2.5 Esquema de base de datos relacional [15].**

### 2.3.3. Propiedades ACID

Una transacción es una unidad lógica de procesamiento que puede estar constituida por varias sentencias. Es, en definitiva una unidad de programa que consulta y actualiza datos sin violar ninguna de las restricciones de consistencia de la base de datos. Es decir si la base de datos era consistente antes de ejecutarse la transacción, debe seguir siéndolo tras su ejecución [18].

Las transacciones deben cumplir los siguientes requisitos:

- **Atomicidad:** todas las operaciones asociadas a una operación deben ejecutarse por completo o no ejecutarse ninguna de ellas [18].
- **Consistencia:** una ejecución correcta de la transacción debe llevar a la base de datos de un estado coherente a otro estado coherente [19].

- **Aislamiento:** al ejecutarse varias transacciones concurrentemente, la ejecución individual de cada una de ellas no debería interferir en la ejecución de las otras [18].
- **Persistencia:** una vez que una transacción cambie a la base de datos y los cambios sean confirmados, éstos nunca deben perderse por fallas subsecuentes [19].

A este conjunto de propiedades se las conoce también como propiedades ACID, por sus siglas en inglés.

El sistema de información diseñado para Farmacéutica 1, cumple con las propiedades ACID, antes mencionadas, todas las transacciones se desarrollan de manera independiente, generando cambios coherentes en la información almacenada la cual se mantiene a pesar de que el sistema sufra alguna falla.

#### **2.4. Modelo de costos de transporte**

Según define Moscoso [12], un modelo de costos de transporte es una herramienta matemática que permite determinar el costo total de la operación de transporte de productos, mediante el correcto análisis de las variables que intervienen en la misma.

En el caso del transporte lo más importante es conocer el entorno donde se desarrollará la actividad [12], como:

- La peligrosidad de la carga.
- El peso de la carga.
- Los tiempos de carga y descarga.
- La frecuencia de viajes o número de viajes en un período de tiempo.
- Los tiempos permisibles de viaje.
- Tipo de vehículos utilizados.
- Las ventanas horarias de los puntos de destino.
- Restricciones de acceso.
- Cantidad de personas en el vehículo.

Esto no sólo permitirá definir correctamente las variables que intervendrán en el modelo de costos, sino que también ayudará creando parámetros o restricciones al momento de recopilar e introducir datos en el modelo [12].

Las variables más comunes son [12]:

- La distancia entre el origen y el destino.
- El consumo de combustible o rendimiento del combustible por kilómetro.
- El mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad.
- La depreciación del activo.
- El personal.
- Seguro del vehículo.

- Peajes.
- Rendimiento de los neumáticos.
- Número de viajes posibles en un período de tiempo.
- Capacidad del vehículo.

Lo anteriormente descrito se lo debe realizar para los diferentes clientes y/o productos a menos que entre ellos exista una gran similitud y no sea necesario una diferencia entre modelos [12].

Una observación que Moscoso realiza [12], la información debe ser periódicamente revisada y actualizada. Se recomienda revisar la información cada 6 meses o cada vez que exista un incremento en los costos que influyen en el modelo.

#### **2.4.1. Tipos de modelos de costos**

Los modelos de costos se diferencian por su complejidad, la cual está dada por el número de variables y la precisión de los resultados. La aplicación de los diferentes modelos de transporte dependerá de la información disponible, el entorno de la actividad y la precisión deseada en los resultados [12].

##### **2.4.1.1. Modelo de función lineal**

La función lineal es definida por una ecuación de la forma  $f(x) = mx + b$ , donde  $m$  y  $b$  son constantes reales. Se utiliza modelos de función lineal en los casos en



que se calcula el costo de transporte utilizando las variables que generan el costo de operación vehicular dentro de un solo tipo de carretera, es decir, no se incluyen variables como peajes, estado de vía y pendiente de la vía [12].

#### **2.4.1.2. Modelo de función escalón**

La función escalón se define siendo  $x$  un número real,  $n$  es un entero y  $n \leq x < n+1$ , entonces  $\|x\| = n$  para cada  $x$  en el intervalo  $[n, n+1)$ . Los modelos de costos de transporte basados en la función escalón pueden ser muy útiles cuando hay zonas de transporte definidas en las cuales existen diferentes distancias que recorrer, sin embargo para cualquier destino o distancia dentro de una zona específica se aplica un mismo costo de transporte o en éste caso una misma tarifa de transporte [12].

#### **2.4.1.3. Modelo en base a rutas**

Los modelos de costos en base a rutas de transporte no tienen una función matemática definida aunque se aproxima mucho a una función lineal. Dentro de éste modelo las variables que generan el costo de operación vehicular son determinadas en base a las características de la carretera como: peajes, estado de la carretera y geografía de la ruta [12].

## **2.5. Costos variables y fijos**

Un servicio de transportación incurre en varios costos, como mano de obra, combustible, mantenimiento, terminales, carreteras, administración y otros. La mezcla de costos puede dividirse arbitrariamente en aquellos que varían con los servicios o el volumen (costos variables) y los que no lo hacen (costos fijos) [1].

Los costos fijos son aquellos para adquisición y mantenimiento de carreteras, instalación de terminales, equipo de transporte y la administración del transportista. Los costos variables por lo regular incluyen los costos de transporte de línea, como combustible y mano de obra, mantenimiento del equipo, manejo, y recolección y entrega [1].

## **2.6. Aplicaciones informáticas**

### **2.6.1. Microsoft Visual Studio 2010**

Visual Studio 2010 es la versión más reciente de esta herramienta, acompañada por .NET Framework 4.0. La fecha del lanzamiento de la versión final fue el 12 de abril de 2010 [5].

Hasta ahora, uno de los mayores logros de la versión 2010 de Visual Studio ha sido el de incluir las herramientas para desarrollo de aplicaciones para Windows 7, tales como herramientas para el desarrollo de las características de Windows 7 (System.Windows.Shell) y la Ribbon Preview para WPF [5].

Entre sus más destacables características, se encuentran la capacidad para utilizar múltiples monitores, así como la posibilidad de desacoplar las ventanas de su sitio original y acoplarlas en otros sitios de la interfaz de trabajo [5].

Además ofrece la posibilidad de crear aplicaciones para muchas plataformas de Microsoft, como Windows, Windows Phone 7 o Sharepoint. Microsoft ha sido sensible a la nueva tendencia de las pantallas táctiles y con este Visual Studio 2010 también es posible desarrollar aplicativos para pantallas multitáctiles [5].

En consecuencia, esta aplicación se seleccionó debido a la facilidad de diseñar los comandos dentro del sistema de información, y por cuanto en el proceso de formación académica profesional hemos desarrollado las habilidades para el manejo de sus funciones.

### **2.6.2. Microsoft Excel 2010**

Microsoft Excel 2010 permite analizar, administrar y compartir información de más formas que nunca, lo que le ayuda a tomar decisiones mejores y más inteligentes. Las nuevas herramientas de análisis y visualización le ayudan a realizar un seguimiento y resaltar importantes tendencias de datos. Obtenga acceso fácilmente a datos importantes dondequiera que vaya desde prácticamente cualquier explorador web o smartphone. Incluso puede cargar sus archivos en Internet y trabajar simultáneamente con otras personas en línea.

Tanto como si produce informes financieros o administra sus gastos personales, Excel 2010 le brinda más eficiencia y flexibilidad para lograr sus objetivos [6].

Vale indicar, que este programa se eligió porque permite llevar el registro de los datos de distancia, coordenadas, tiempos de los clientes, los cuales serán exportados a las distintas aplicaciones informáticas correspondientes para su uso.

### **2.6.3. Microsoft Access 2010**

Microsoft Access 2010 se basa en la simplicidad, con plantillas listas para que empiece a trabajar y herramientas eficaces para mantenerse al día a medida que los datos crecen [7].

Access 2010 le otorga capacidades para aprovechar la información, incluso si no es experto en bases de datos. Además, a través de bases de datos web recién agregadas, Access amplía la eficacia de los datos, facilitando el seguimiento, la creación de informes y el uso compartido con otras personas. Los datos nunca estarán más allá del explorador web más cercano [7].

Por lo que se explica de este programa, en el presente proyecto, sirve para la creación de la base de datos que requiere la empresa Farmacéutica 1, de esta forma se mantendrá un registro de forma eficaz y eficiente, además de que esta base será utilizada por la aplicación de Visual Studio 2010.

#### **2.6.4. Wolfram Mathematica 8.0**

Prácticamente, todo flujo de trabajo implica el cómputo de resultados y eso es lo que hace Mathematica: desde construir un sitio de transacciones para un fondo de cobertura o publicar manuales de texto de ingeniería interactivos a desarrollar algoritmos de reconocimiento de imágenes insertadas en otra o enseñar cálculo [8].

Mathematica es reconocido como la mejor aplicación para computación del mundo. Pero es mucho más: es la única plataforma de desarrollo que integra cómputos plenamente en corrientes completas de trabajo , haciendo que usted pase directamente de las ideas preliminares a la implementación de soluciones individuales o a nivel de empresa [8].

Como se indica, las bondades de aplicación de este programa, para este caso, resulta apropiada su utilización, tanta para realizar la programación del modelo matemático, como para el Recocido Simulado, además para la representación de los resultados y los gráficos. Además constituye otro de los aportes en profundidad que son parte de nuestro proceso formativo.

#### **2.6.5. Google Earth**

Caracterizado por su particular movimiento descendente y por su capacidad de acercarse a cualquier ubicación, Google Earth incluye imágenes de satélite de

todo el mundo (con el 60% de la población mundial en alta resolución), cientos de ciudades 3D, y archivos de imágenes históricas —todo ello a disposición de los medios de comunicación [9].

Para el sistema de ruteo vehicular, se hace necesario disponer de los datos de la ubicación geográfica de la empresa y de los puntos de distribución, así también, conocer las distancias que existen entre éstas, con esos datos, se construye la matriz de las distancias, de allí que, las bondades que ofrece el programa Google Earth, en su versión de servicio gratuito, resulta válido su utilización.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. Caso de Aplicación**

#### **3.1. Introducción**

Una vez planteado el problema que tiene la empresa, diseñamos una propuesta, con el propósito de optimizar el recorrido de los vehículos. Además se crea un sistema de información, con el cual Farmacéutica 1 puede llevar el registro de sus clientes y los pedidos.

#### **3.2. Modelo del sistema de información**

En el interés de asegurar la reducción de los costos, se debe rediseñar la tarea de visitar al cliente, como se ha mencionado anteriormente, por tanto se propone un registro autometrado:

- Registro de Clientes.
- Registro de Pedidos.
- Registro de Rutas.

Así, Farmacéutica 1 llevará una lista detallada de los clientes, la cual puede ser actualizada cuando se registren nuevos clientes, además con el registro de pedidos se podrá mejorar el control de los pedidos.

Finalmente, para que el transportista tenga conocimiento de cómo se deberá distribuir de manera óptima los productos se generará un registro de rutas, la cual detallará el orden en el cual visitará a los clientes.

### **3.2.1. Diseño de registro de clientes**

El sistema de información que se implantaría, es el registro de los clientes que posee Farmacéutica 1, de esta forma se podrá tener un mejor manejo de la información del cliente, además que resultaría más ventajoso para una actualización, en caso de que sea necesario realizarlo. Para la elaboración de este sistema, se utiliza el lenguaje de programación Visual Basic 2010, con esta aplicación informática se procede a crear formularios para determinadas acciones; en la Ilustración 3.1 se aprecia el formulario para el ingreso de clientes actuales y para los futuros.

A continuación se muestran los siguientes campos que tendría el Registro de Clientes:

- Código Cliente.
- Nombre del Cliente.
- Dirección.
- Teléfono.
- Correo electrónico.



CONSULTA CLIENTES

Nombre del Cliente:

Código Cliente	Nombre del Cliente	Dirección	Teléfono	Correo Electrónico
C25	CLIENTE 25	García Moreno y 9 de Octubre	2893065	boli@gmail.com
C26	CLIENTE 26	Av. Napo y Pasquisha diag. Espiritu Santo	2257035	milt@gmail.com
C27	CLIENTE 27	García Moreno y 9 de Octubre	2263126	nidiv@gmail.com
C28	CLIENTE 28	Napo y Tumbes	2259116	dpoli@gmail.com
C29	CLIENTE 29	Latacunga y Leonidas Plaza	2345678	juan@gmail.com
C02	SANA SANA	Av. Chirijos y Loja	2134567	eli@gmail.com
C03	CLIEYNE 03	Juan Montalvo y 9 de Octubre	2875321	lafe@gmail.com

**Código Cliente:** 
**Nombre del Cliente:**

**Dirección:** 
**Teléfono:**

**Correo Electrónico:**

Existen 33 registros encontrados

**Ilustración 3.1 Formulario Registro de Clientes**

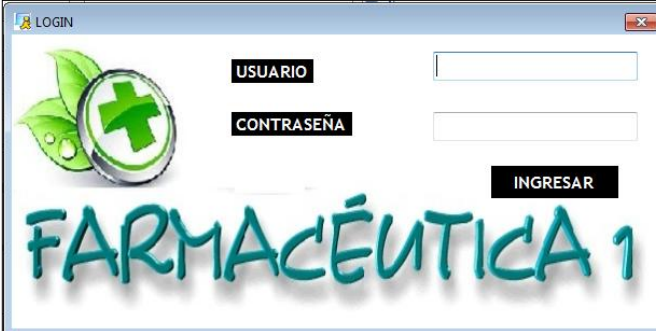
### 3.2.2. Diseño de formulario de pedido

Para llevar de manera organizada la demanda de los clientes, se diseñará un formulario para el Registro de Pedidos. De esta forma se tendrá detalladamente las cantidades y productos que cada cliente solicitó, además habrá un registro con lo que se respaldará dicho pedido. Este proceso contribuye a minimizar los costos en la transportación del personal (visitadores médicos) hacia los puntos de venta para recolectar el pedido. Farmacéutica 1 sólo tendrá que recibir una

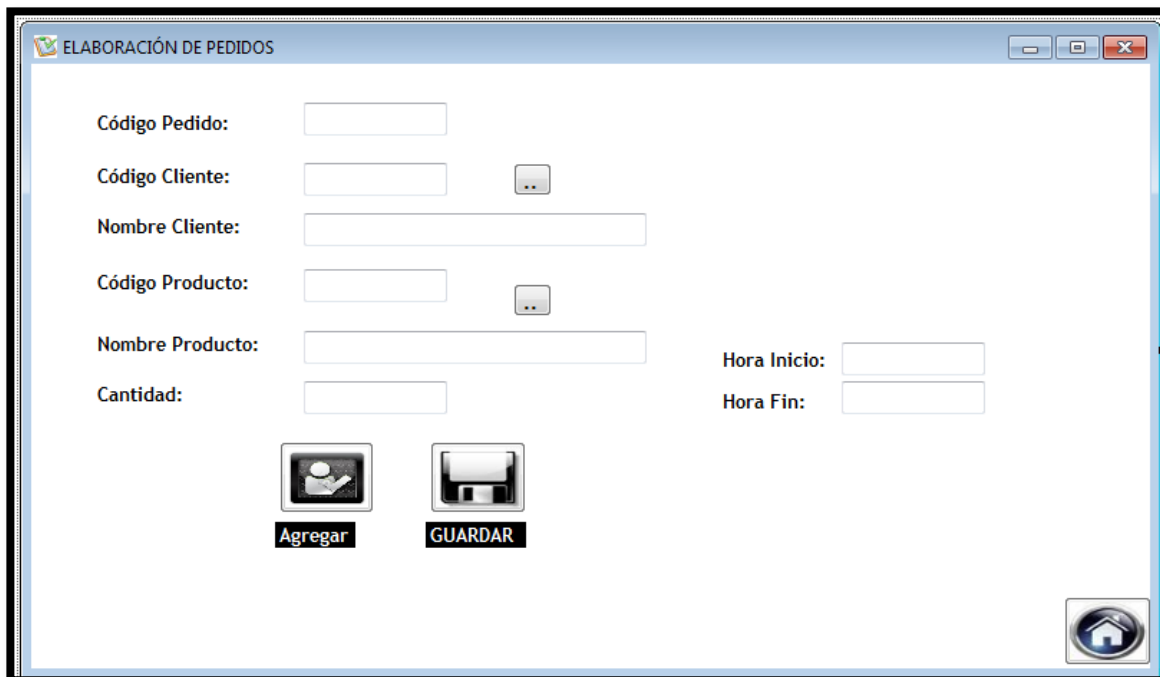
llamada telefónica y/o correo electrónico por parte del cliente. Los campos que abarcarían en el formulario son:

- Código de Pedido.
- Código de Cliente.
- Nombre Cliente.
- Código Producto.
- Nombre Producto.
- Cantidad

Para realizar la consulta del pedido de algún cliente, se procede a introducir el código del cliente que deseamos consultar, este formulario, que se aprecia en la Ilustración 3.2 conducirá a uno nuevo llamado detalle de pedido, el cual contiene la información detallada anteriormente, se lo puede observar en la Ilustración 3.3.

The image shows a web browser window titled 'LOGIN'. On the left side, there is a logo featuring a green cross inside a circular frame, surrounded by green leaves and a small water droplet. To the right of the logo, there are two input fields: the top one is labeled 'USUARIO' and the bottom one is labeled 'CONTRASEÑA'. Below these fields is a black button with the text 'INGRESAR' in white. At the bottom of the window, the word 'FARMACÉUTICA 1' is written in a large, stylized, teal-colored font.

**Ilustración 3.2 Formulario previo a obtener detalle de pedidos**



ELABORACIÓN DE PEDIDOS

Código Pedido:

Código Cliente:  ..

Nombre Cliente:



Código Producto:  ..


Nombre Producto:

Cantidad:

Hora Inicio:

Hora Fin:

 **Agregar**  **GUARDAR**



**Ilustración 3.3 Elaboración de Pedidos**

### 3.2.3. Diseño del registro de rutas

Una vez realizada la optimización del ruteo, el sistema organizará a partir de los resultados obtenidos, la ruta que cada transporte debería distribuir los productos, los cuales se apreciará en una papeleta (Ilustración 3.4). Los componentes que aparecerán en la papeleta que será de guía para el transportista son:

- Código Pedido.
- Código Cliente.
- Nombre del Cliente.

- Código del Producto.
- Nombre del Producto.
- Cantidad del Pedido.
- Fecha de Pedido.
- Fecha de Entrega.
- Dirección.
- Chofer.
- Horario de entrega.
  - Hora Inicio.
  - Hora Fin.

	Código Pedido	Código Cliente	Nombre Cliente	Código Producto	Nombre Producto	Cantidad	Hora Inicio	Hora Fin
▶	v01	C01	LA UNICA	P1	ASPIRINA	100	30/12/1899 10:00	30/12/1899 10:30
	v04	C24	CLIENTE 24	P1	ASPIRINA	20		
	v05	C27	CLIENTE 27	P1	ASPIRINA	10		
*								

	Código Producto	Stock
▶	P3	100
	P4	191
	P1	280
	P2	198

**Ilustración 3.4 Formulario para Despacho de Pedidos**

### 3.3. Ruteo vehicular

Para optimizar el sistema del ruteo vehicular se requieren de aplicaciones informáticas, que normalmente requieren una etapa de modelación matemática y una etapa posterior de optimización usando software especializado en programación matemática o el desarrollo e implementación de software basado en métodos heurísticos

### **3.3.1. Propuesta para solución de ruteo inicial**

Una vez realizado el sistema de información para el registro de los clientes y pedidos, éstos se implementarán en el modelo matemático para obtener una ruta inicial de la distribución de los productos.

Considerando los intereses comunes, tanto del cliente, como de Farmacéutica 1, resulta necesario que el producto sea distribuido en el horario establecido, para ello, el modelo que se utilizará será el VRPTW.

El modelo a programar es un VRPTW aplicando la heurística del vecino más cercano, así cuando se obtenga el ruteo inicial, será a partir de las distancias más cortas que haya entre los clientes, cumpliendo con las ventanas horarias establecidas.

### **3.3.2. Propuesta para optimización del ruteo**

#### **3.3.2.1. Recocido Simulado**

Como se ha mencionado en el capítulo anterior el objetivo del recocido simulado es encontrar una solución que se aproxime al óptimo local. Por tanto, una vez obtenido el ruteo inicial se realizarán secuencias en las cuales se mejorará el sistema de ruteo. Estas secuencias se determinarán a partir de la temperatura inicial, la temperatura final y el alfa que definirá la disminución de la temperatura.

### **3.4. Aplicaciones informáticas**

#### **3.4.1. Microsoft Visual Basic 2010**

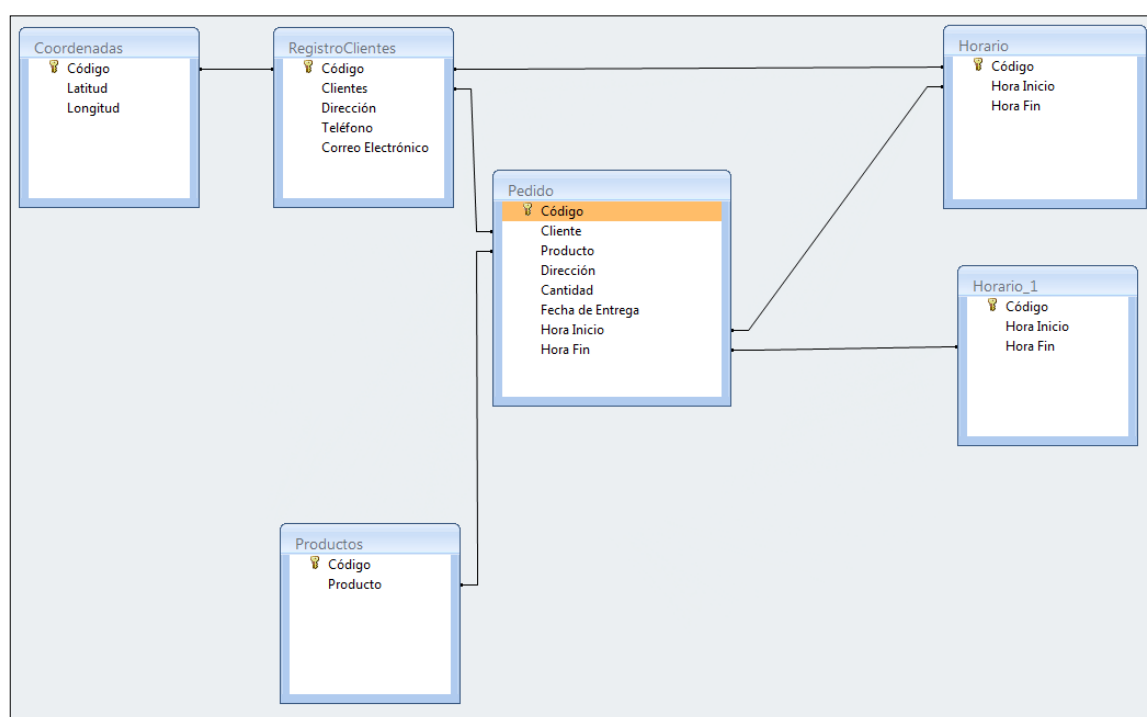
Reconociendo que Microsoft Visual Basic 2010 posee un ambiente de desarrollo principalmente gráfico, facilitando la programación, en el presente proyecto, se propone establecer un sistema de información para la empresa Farmacéutica 1, los datos han sido recopilados y ordenados, para ser almacenados en los formularios creados en este software. La interfaz es amigable y fácil de entender.

Según Halvorson [13], los requerimientos de hardware y software que debe poseer la computadora son:

- Windows 7, Windows Vista, Windows XP, Windows Server 2003, o Windows Server 2008.
- Visual Studio 2010 (Professional, Premium, o Ultimate) o Visual Basic 2010 Express.
- 1.6 GHz procesador.
- 1 GB RAM.
- 3 GB de espacio disponible en el disco duro.
- DirectX 9 – tarjeta de video capaz de funcionar a una resolución de pantalla de 1024 x 768 o superior.
- DVD drive.

### 3.4.2. Microsoft Access 2010

El programa Microsoft Access será utilizado para llevar de forma organizada el registro de los clientes. Este también nos sirve para mostrar las relaciones que existen entre las tablas que se importaron y/o crearon como se muestra a continuación (Ilustración 3.5):



**Ilustración 3.5 Relaciones entre las tablas**

### 3.4.3. Microsoft Excel 2010

El programa Microsoft Excel será utilizado para llevar el registro de los clientes que posee la empresa. A partir de la tabla creada en este programa (Ilustración



3.6), ésta se exporta a otros que requieren de los datos para que los mismos sean implementados, un ejemplo es Mathematica al exportar las coordenadas de los clientes.

<b>Código</b>	<b>Cientes</b>	<b>Dirección</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	Cliente 1	García Moreno y Vargas Torres	-2.1296	-79.5887
2	Cliente 2	García Moreno y Eloy Alfaro	-2.1284	-79.5901
3	Cliente 3	Juan Montalvo y García Moreno	-2.129	-79.5891
4	Cliente 4	García Moreno y Miguel Valverde	-2.1277	-79.5905
5	Cliente 5	García Moreno y 9 de Octubre	-2.1278	-79.5928
6	Cliente 6	Av. Napo y Pasquisha diag. Espíritu Santo	-2.1367	-79.606
7	Cliente 7	García Moreno y 9 de Octubre	-2.1278	-79.593
8	Cliente 8	Napo y Tumbes	-2.1355	-79.6012
9	Cliente 9	Latacunga y Leonidas Plaza	-2.1384	-79.5925
10	Cliente 10	Av. Chirijos y Loja	-2.1337	-79.5967
11	Cliente 11	Juan Montalvo y 9 de Octubre	-2.1286	-79.593
12	Cliente 12	Av. Carlos Julio Arosemena y Guaranda	-2.1363	-79.5914
13	Cliente 13	9 de Octubre y 5 de Junio	-2.1282	-79.593
14	Cliente 14	García Moreno y T. Causana	-2.1287	-79.5889
15	Cliente 15	Av. Chirijos y Los Ríos	-2.1319	-79.5964
16	Cliente 16	Av. Napo y Chanchan	-2.1357	-79.6022
17	Cliente 17	Av. Quito y Alberto Guerrero	-2.1356	-79.5865
18	Cliente 18	5 de Junio y Pedro Carbo	-2.1281	-79.5939
19	Cliente 19	García Moreno y Pedro Carbo	-2.1275	-79.5937
20	Cliente 20	Av. 17 de Septiembre y Quito	-2.1336	-79.5932
21	Cliente 21	Rocauerte 316 y García Moreno	-2.1273	-79.5922
22	Cliente 22	Miguel Valverde y García Moreno	-2.1274	-79.5907
23	Cliente 23	Av. 17 de Septiembre y Guayas	-2.1306	-79.5934
24	Cliente 24	Av. Torres Causana y E. V.	-2.128	-79.5885
25	Cliente 25	Vargas Torres 615 y Chiriguaya	-2.1275	-79.5872
26	Cliente 26	Torres Causana y M. Hidalgo	-2.1281	-79.5889
27	Cliente 27	Rocafuerte y García Moreno	-2.1279	-79.5921
28	Cliente 28	García Moreno y Pedro Carbo	-2.1278	-79.5939
29	Cliente 29	24 de Mayo y Rocafuerte	-2.1262	-79.592
30	Cliente 30	García Moreno diag. Y Rocafuerte	-2.1279	-79.5923

**Ilustración 3.6 Registro de clientes**

#### **3.4.4. Wolfram Mathematica 8.0**

La aplicación informática Mathematica sirve para la programación del ruteo inicial, en la cual se indican las restricciones que posee. También se importan los valores, esto es, las tablas que se realizaron en los programas mencionados anteriormente. Una vez obtenido el resultado se optimiza implantando el recocido simulado. Finalmente una vez determinado el problema de ruteo vehicular se exportan los resultados para que éstos puedan ser apreciados.

#### **3.3.5 Google Earth**

Google Earth nos ayuda con la obtención de las coordenadas de las farmacias a las cuales Farmacéutica 1 tiene en la cartera de sus clientes, por ello para encontrar la posición de cada una, es necesario tener sus direcciones (Ilustración 3.5). Además, gracias a las herramientas del programa se pueden obtener las distancias que hay entre cada farmacia de manera más precisa.

#### **3.4. Modelo del costo del transporte**

Para determinar el costo total de la distribución de los productos se debe tomar en consideración los diferentes tipos de modelos de transporte y se seleccionará el más adecuado para nuestro caso de estudio.

El modelo que se utiliza para calcular los costos será el modelo de función lineal, ya que la operación de distribución se realiza en un solo tipo de carretera. Para

desarrollar el cálculo se necesitará los costos fijos y los costos variables en relación a los kilómetros recorridos que será representado por  $X$ , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Costo Total}(X) = \text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable} * X$$

### **3.5. Costos fijos y variables**

#### **3.5.1. Costos fijos**

##### **Cuota del vehículo**

Es un valor que se paga en cuotas en relación al valor total del vehículo, el cual se determina a partir de la vida útil que posee éste.

##### **Matrícula**

Valor que se paga anualmente en relación al tipo de vehículo que uno posee. Según las leyes de tránsito la cantidad a pagar varían a partir del modelo del vehículo, marca, año, entre otros.

##### **Seguro**

Es un valor que se paga anualmente y lo determina la compañía de seguros en la que el vehículo está asegurado.

##### **Batería**

Es el costo en la obtención de uno, el cual tiene un determinado tiempo de vida útil, y que deberá ser reemplazado.

### **Sueldo del chofer**

El sueldo que recibe debe cumplir con las normas laborales del Ecuador. La cantidad recibida por el chofer ya ha sido previamente acordada con la empresa.

A continuación se detallará en la Tabla 3.1 los elementos que conformarán los costos fijos.

<b>Costos Fijos</b>	<b>Costo Mensual</b>
<b>Cuota vehículo</b>	
<b>Matrícula</b>	
<b>Seguro</b>	
<b>Batería</b>	
<b>Sueldo del chofer</b>	
<b>Costo Total</b>	

**Tabla 3.1 Tabla de Costos Fijos**

### **3.5.2. Costos variables**

#### **Combustible**

Para determinar el valor del combustible es necesario tener en consideración el tipo de combustible que requiere el vehículo, el rendimiento del galón por kilómetro y principalmente el valor de éste.

A continuación se muestra la relación que tiene el costo en dólares por cada kilómetro recorrido.

$$\text{Precio del combustible} = \frac{\$}{\text{Galón}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Km}}{\text{Galón}}$$

Finalmente se divide el precio del combustible con el rendimiento:

$$\frac{\text{Precio del combustible}}{\text{Rendimiento}} = \frac{\frac{\$}{\text{Galón}}}{\frac{\text{Km}}{\text{Galón}}} = \frac{\$}{\text{Km}}$$

### **Llantas**

El valor varía en relación al tipo, cantidad y rendimiento que tiene la llanta. También uno de los factores más importantes es el estado de la carretera, la cual determinará la durabilidad. De esta forma la relación será a partir del costo de la llanta con el rendimiento de ésta:

$$\frac{\text{Costo de llantas}}{\text{Rendimiento por llanta}} = \frac{\$}{\text{Km}}$$

### **Mantenimiento**

El mantenimiento son los repuestos que requiere el vehículo para que éste funcione en óptimas condiciones, los cuales tienen que ser cambiados después de un determinado tiempo o haber recorrido una cantidad de kilómetros. Para obtener el valor, es necesario tener el costo de cada repuesto en relación al

rendimiento en kilómetros que tiene cada vehículo, ya que sus costos pueden variar, por lo que se obtendrá un promedio del costo.

$$\frac{\text{Costo de mantenimiento}}{\text{Rendimiento en kilómetros}} = \frac{\$}{Km}$$

De la misma forma que la Tabla 3.1 se diseñará una tabla que detallará los elementos de los costos variables (Tabla 3.2).

<b>Costos Variables</b>	<b>\$/Km</b>
<b>Combustible</b>	
<b>Llantas</b>	
<b>Mantenimiento</b>	
<b>Costo Total</b>	

**Tabla 3.2 Tabla de Costos Variables**

## CAPÍTULO 4

### 4. Análisis de Resultados

#### 4.1. Escenario Actual

Farmacéutica 1, tiene un sistema de recolección de pedidos, bajo la modalidad de presencia personal de visitadores médicos a cada uno de los clientes que demandan sus productos. Para cumplir con las visitas, el personal tiene que utilizar su propio medio de transporte. La empresa cubre los gastos por su movilización, es decir, paga por el combustible, llantas y mantenimiento del vehículo y viáticos, como se indica en la Tabla 4.1 y 4.2.

Costos Fijos	Costo Mensual
Viáticos	29
<b>Costo Total</b>	<b>29</b>

**Tabla 4.1 Resultado de Costos Fijos de visitador médico**

Costos Variables	\$/Km
Combustible	0.0049
Llantas	0.008
Mantenimiento	0.003
<b>Costo Total</b>	<b>0.06</b>

**Tabla 4.2 Resultado de Costos Variables de visitador médico**

De la información otorgada por la Unidad Financiera, se indicó que los valores promedios que se tienen previstos presupuestariamente para los rubros de los

costos variables, están determinados desde la diversidad de los vehículos, y por tanto, de las incidencias de cada uno de sus componentes.

Cabe mencionar que las visitas la realizan dos veces al mes, por lo que los costos fijos y variables, son duplicados.

De esta forma se establece el modelo de la función de costo, donde  $j$  son los vehículos a utilizarse y  $y_j$  los kilómetros recorridos:

$$\text{CostoTotal}(j, y_j) = 58 * j + 2 * 0.06 * y_j$$

Por el trabajo realizado por de los visitantes médicos, el costo mensual aproximado es de \$606.85.

Una vez obtenido los pedidos de todos los clientes, éstos no son registrados de manera apropiada en un sistema de información, por lo que resulta complicado consultar la información.

Para el proceso de la distribución, el hecho de no poseer un programa que permita planificar un ruteo de forma óptima para la entrega de los productos, además de apoyarse en un manejo empírico basado en el sentido común del chofer, no se cumple con la entrega dentro del horario acordado, provocando inconformidad en los clientes.



A continuación se muestra la Tabla 4.3 y 4.4 que mostrarán los costos fijos y variables del vehículo:

<b>Costos Fijos</b>	<b>Costo Mensual</b>
<b>Cuota vehículo</b>	632.83
<b>Matrícula</b>	88
<b>Seguro</b>	126
<b>Batería</b>	15
<b>Sueldo del chofer</b>	450
<b>Costo Total</b>	1311.83

**Tabla 4.3 Resultado de Costos Fijos del vehículo**

<b>Costos Variables</b>	<b>\$/Km</b>
<b>Combustible</b>	0.06
<b>Llantas</b>	0.01
<b>Mantenimiento</b>	0.03
<b>Costo Total</b>	0.1

**Tabla 4.4 Resultado de Costos Variables del vehículo**

Los costos de las Tablas 4.3 y 4.4 fueron otorgados por la Unidad Financiera, de la empresa.

Así, la función del costo será:

$$\text{CostoTotal}(i, x_i) = 1311.83 * i + 0.1 * x_i$$

El costo mensual aproximado que se obtiene al realizar la distribución de pedidos es de \$5170.00 para 5 rutas y un total de 30 clientes.

## **4.2. Escenario Propuesto**

### **4.2.1. Propuesta para ruteo inicial**

Para obtener el ruteo inicial de la distribución de productos, es necesario considerar las ventanas horarias en las cuales los clientes quieren recibir su producto.

Por ello, una solución que ofrecemos a Farmacéutica 1, es el diseño de sus ventanas horarias, es decir intervalos de tiempos en los cuales la empresa pueda distribuir sin complicaciones sus productos a los clientes. El horario de entrega se divide en dos secciones: desde las 8:00 hasta las 12:00 y desde las 13:00 hasta las 17:00.

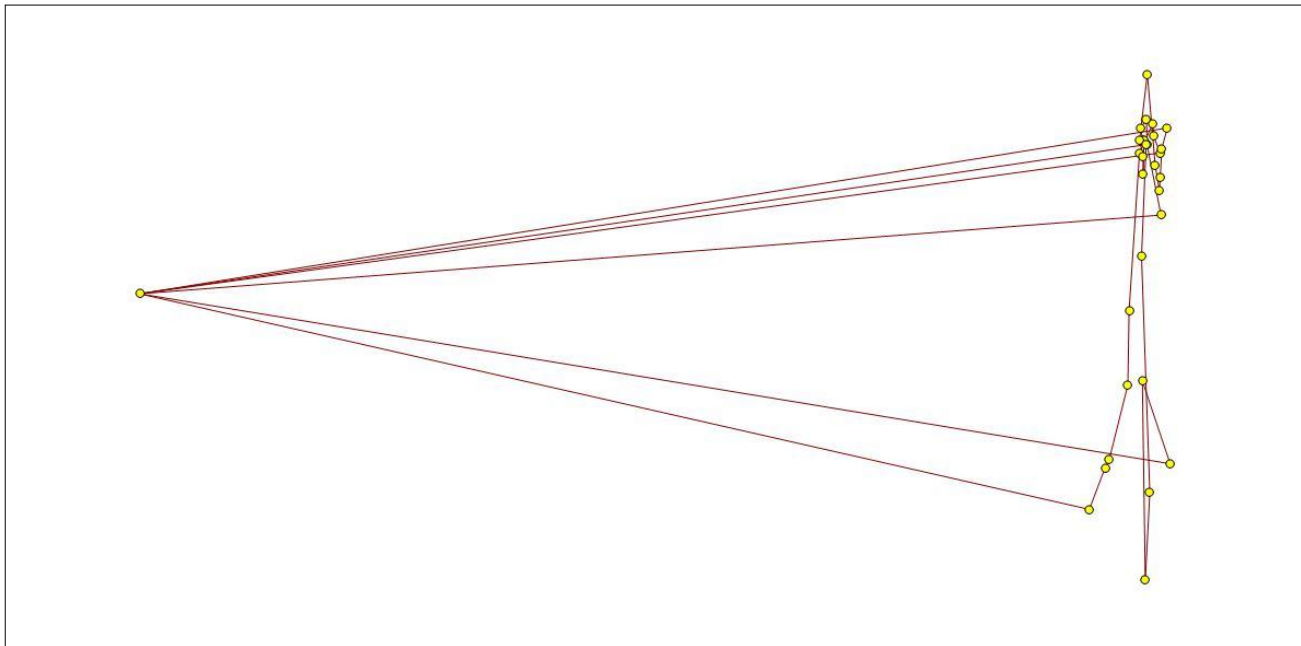
En el concepto de ganar-ganar, se plantea como estrategia ofertar a los clientes una propuesta sobre el horario de entrega, esto es, para aquellos que acepten el horario establecido por Farmacéutica 1, se ofrece un descuento financiero en la compra de sus productos, caso contrario no se beneficiará del descuento.

Con la información de las ventanas horarias y la matriz de distancia que se obtuvo con la aplicación de Google Earth, se podrá desarrollar el ruteo inicial, para el cual se utilizará la heurística del vecino más cercano.

#### 4.2.2. Resultado de ruteo

Una vez implantado el sistema de ruteo inicial, se aplica la metaheurística del Recocido Simulado, el mismo que al realizar determinadas repeticiones muestra la mejora que se le puede lograr al recorrido.

A continuación se muestra una solución al aplicar el Recocido Simulado (Ilustración 4.1), realizada con la programación en Mathematica y las funciones que posee.



**Ilustración 4.1 Ejemplo del VRPTW aplicando Recocido Simulado**

Estos resultados servirán para determinar las rutas que deben realizar los choferes, los cuales serán detallados en una papeleta que se creará al exportar los datos al Excel.

#### 4.2.3. Representación de los resultados

Al obtener el resultado a partir del Recocido Simulado, éstos tendrán que ser representados en una forma que se puedan interpretar fácilmente, debido a que el chofer tiene que comprender la ruta que tiene que realizar a partir de la programación que proporcionó Mathematica, como se ha mencionado anteriormente.

Por ello, se diseña una papeleta con la información necesaria que requiere el chofer para entregar los pedidos como se observa en la Ilustración 4.2.

<b>Transportista</b>		<b>Chofer1</b>		
<b>Cliente</b>	<b>Dirección</b>	<b>Hora Inicio</b>	<b>Hora Fin</b>	
Cliente 6	Av. Napo y Pasquisha diag. Espiritu Santo	800	1200	
Cliente 8	Napo y Tumbes	800	1200	
Cliente 10	Av. Chirijos y Loja	800	1200	
Cliente 15	Av. Chirijos y Los Ríos	800	1200	
Cliente 18	5 de Junio y Pedro Carbo	800	1200	
Cliente 30	García Moreno diag. Y Rocafuerte	800	1200	
Cliente 22	Miguel Valverde y García Moreno	800	1200	
Cliente 4	García Moreno y Miguel Valverde	800	1200	
Cliente 26	Torres Causana y M. Hidalgo	800	1200	

**Ilustración 4.2 Papeleta de Ruteo**

### 4.3. Comparación de Resultados

Una vez explicado los escenarios actuales y la propuesta, se realiza la comparación de los costos de cada uno de los escenarios como se muestra en la Tabla 4.5.

	<b>Costos Actuales/mes</b>	<b>Costos Propuestos/mes</b>
Visitador médico	\$ 606.85	\$ 167.66
Distribución de los productos	\$ 5,170	\$ 3,975.55

**Tabla 4.5 Costos de Escenario Actual y Escenario Propuesto**

Se puede observar que existe un ahorro de alrededor del 75% en el costo del visitador médico, debido a la reasignación de las funciones que realiza, además en la propuesta se tiene previsto la participación en actividades de promoción de nuevos productos a los clientes y potenciales nuevos clientes.

Mientras que en la distribución de los productos, al implementar el Recocido Simulado para optimizar el sistema de ruteo vehicular, se aprecia que hay un ahorro alrededor del 25% en costos como se muestra en la Tabla 4.5.

## **CAPÍTULO 5**

### **5. Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1. Conclusiones**

- De la información obtenida por Farmacéutica 1 sobre las direcciones de los clientes, con la aplicación que nos ofrece Google Earth, se logró obtener las coordenadas y además nos facilitó el cálculo de las distancias entre cada una de ellas.
- Los programas Microsoft Access 2010 y Visual Studio 2010, permitieron crear una base de datos con la información esencial que requiere la empresa (clientes, productos, etc.) e implementar un sistema de información para almacenar y consultar de forma organizada los pedidos realizados por los clientes, además permitió rediseñar la función del visitador médico.
- Mediante el uso del programa Mathematica, se obtuvo un ruteo inicial aplicando el algoritmo de la heurística del vecino más cercano, se produjo una mejora paulatina en la distancia total, así también, las ventanas horarias que se registra en la base de datos, para que luego, éstas puedan ser optimizadas con el Recocido Simulado. De esta forma, el chofer logrará entregar el producto a cada cliente en el horario

previamente acordado con Farmacéutica 1, evitando así los reclamos y las insatisfacciones y optimizando el recorrido.

- Finalmente, se logró demostrar comparativamente, que la propuesta que se está ofertando a la empresa Farmacéutica 1, permitirá optimizar los sistemas de ruteo vehicular para la distribución de sus productos, así como rediseñar las funciones de los visitantes médicos, como las implicaciones favorables, en los costos con un reducción aproximada del 25%.

## **5.2. Recomendaciones**

- Si bien, las distancias del recorrido para el proceso de distribución de los productos, fueron obtenidas en Google Earth, en el interés de mejorar incluso la propuesta, esto es, de precisar las distancias entre los diferentes puntos de venta, se recomienda la adquisición del servicio GPS, éste incluso, llevaría un control del recorrido que realiza el transportista.
- La empresa debería obtener la licencia de Visual Studio 2010 y de Mathematica 8.0, puesto que son los programas básicos para la elaboración para la recolección de datos y el diseño del sistema de ruteo, respectivamente, así también, constituye una obligación legal que se

debe observar. Por otra parte, sería conveniente que se considere el uso de otras heurísticas o metaheurísticas para mejorar la solución planteada a este problema.

- Como quedó demostrado, esta propuesta rediseñó la función del visitador médico, por tanto, resulta pertinente señalar que se podría considerar las visitas directas y personales, para cuando se tenga que presentar un producto nuevo, esto es, realizar una campaña de promoción o buscar nuevos clientes.
- Además, desde la perspectiva de crecimiento, las soluciones planteadas permitirían tomar otras decisiones, considérese la posibilidad de subcontratar transporte para las ocasiones en que se precisen más vehículos.
- En el sistema de información se pueden ir incluyendo nuevas opciones para la empresa, que por cuestión tiempo no las tiene, se pueden crear interfaces que permitan al cliente de la empresa consultar el estado de sus pedidos, incluir informes que detallen movimientos de mercadería, la ubicación de cada mercadería, generar facturaciones, entre otros.



## **Bibliografía**

[1] Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Educación.

[2] Azinián, H. (2000). *Resolución de problemas matemáticos: Visualización y manipulación con computadora*. Buenos Aires: Novedades Educativas.

[3] Duarte Muñoz, A. (2007). *Metaheurísticas*. Dykinson.

[4] Díaz, A. (1996). *Optimización Heurística y Redes Neuronales*. España: Paraninfo.

[5] *BlogEspol*. (s.f.). Recuperado el 24 de Junio de 2012, de <http://blog.espol.edu.ec/ingi/2012/01/21/microsoft-visual-studio-2010/>

[6] Office, M. (s.f.). Recuperado el 24 de Junio de 2012, de <http://office.microsoft.com/es-hn/excel/caracteristicas-y-ventajas-de-excel-2010-HA101806958.aspx>

[7] Office, Microsoft. (s.f.). Recuperado el 24 de Junio de 2012, de <http://office.microsoft.com/es-hn/access/caracteristicas-y-ventajas-de-bases-de-datos-de-access-2010-HA101809011.aspx>

[8] *Wolfram Mathematica*. (s.f.). Recuperado el 16 de Junio de 2012, de <http://www.wolfram.com/mathematica/>

[9] Google. (s.f.). Obtenido de <http://www.google.com/intl/es/earth/media/>

[10] Flores Benítez, D. (2009). *Propuesta de Rediseño de las Rutas de Entrega AM para DHL Express Quito*. Quito.

[11] García Bellosta, P. (2009). *Desarrollo de un Simulador Conductual para la Formación en Gestión Logística Empresarial*. España.

[12] Moscoso, X. (2007). *Diseño e Implementación de un Modelo Tarifario para la Transportación Terrestre*. Guayaquil.

[13] Halvorson, M. (2010). *Microsoft Visual Basic 2010 Step by Step*. Microsoft Press.

[14] Delgado, E. (2007). El problema de la recolección de desechos hospitalarios en la ciudad de Guayaquil, modelación y resolución por medio de una heurística basada en la búsqueda Tabú. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

[15] Alonso Sarría, F. (2005). *Sistemas de Información Geográfica*. Murcia.

[16] Velázquez Domínguez, E. (2005). *Aplicación del Vehicle Routing Problem (VRP) a un problema de distribución*. México.

[17] Martí Cunqueiro, R. (2005). *Algoritmos Heurísticos en Optimización Combinatoria*. Valencia.

[18] Pons, O., Acio, S., Marín, N., Medina, J. M., & Vila, M. A. (2008).

Introducción a los Sistemas de Bases de Datos. Paraninfo.

[19] Gómez, A., & Ania, I. (2008). Introducción a la Computación. Cengage

Learning.

## **Anexos**

### **Anexo A**

MANUAL DEL USUARIO

SISTEMA DE INFORMACIÓN FARMACEÚTICA 1

ELABORADO POR:

LUIS EDUARDO ALVARADO FERRETTI

MA. GABRIELA ALVARADO MENDOZA

## **Contenido**


<b>Iniciando el programa.....</b>	<b>68</b>
<b>Ejecutar el sistema de información .....</b>	<b>68</b>
<b>Cerrar el sistema de información.....</b>	<b>75</b>

## **Iniciando el programa**

Para poder empezar a utilizar el sistema de información, es necesario ejecutar previamente el software en el cual se desarrolla el mismo, siendo éste el programa Microsoft Visual Basic 2010.

Tenemos dos formas de poner en marcha el programa:

1. Desde el escritorio de nuestra computadora:

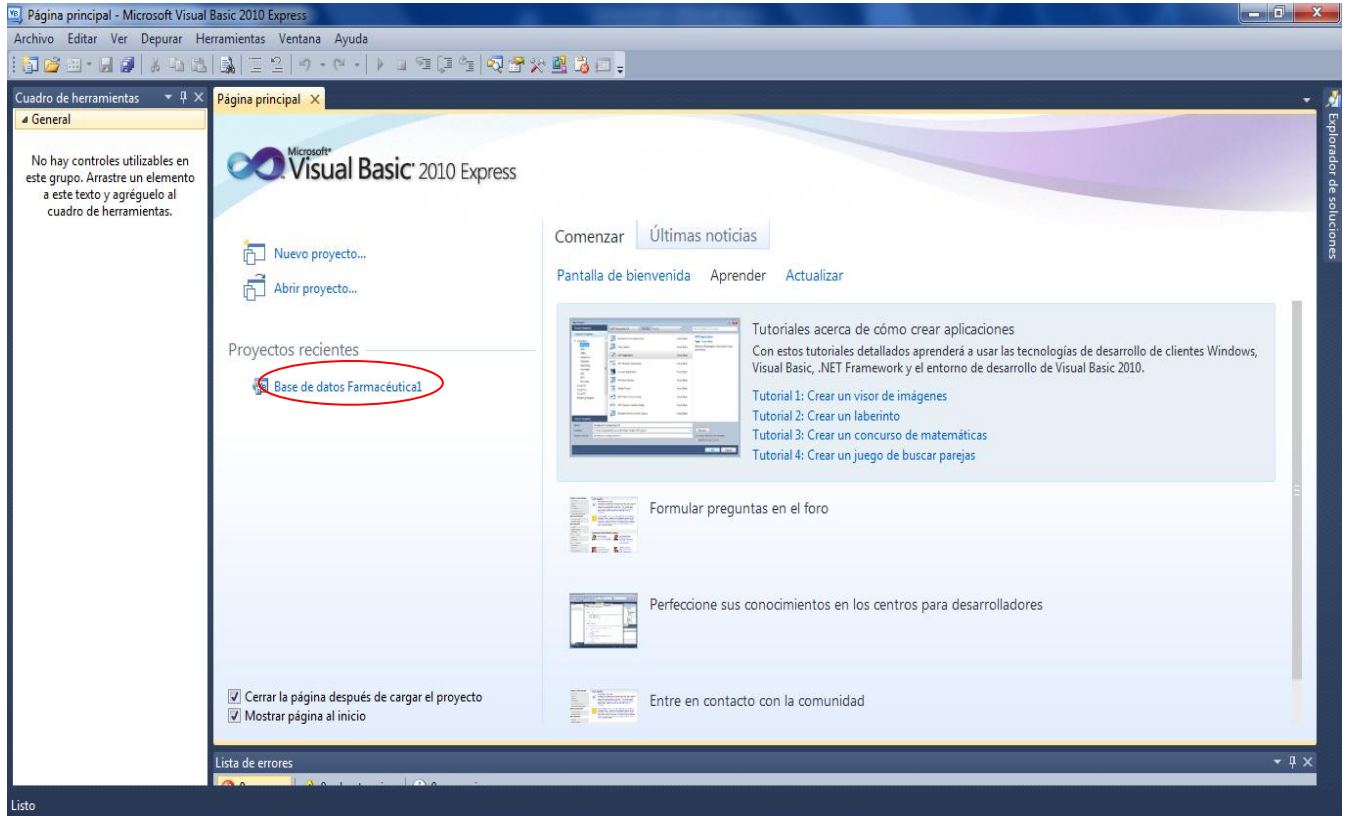
Estando en el escritorio, buscamos el ícono de Microsoft Visual Basic 2010 , damos doble click y el programa empieza a ejecutarse.

2. Desde su ubicación en el menú de todos los programas de nuestra computadora.

Vamos a Inicio, seleccionamos la opción de “todos los programas”, buscamos la carpeta Microsoft Visual Studio 2010 Express, damos click en ella y damos click en el ícono de Microsoft Visual Basic 2010.

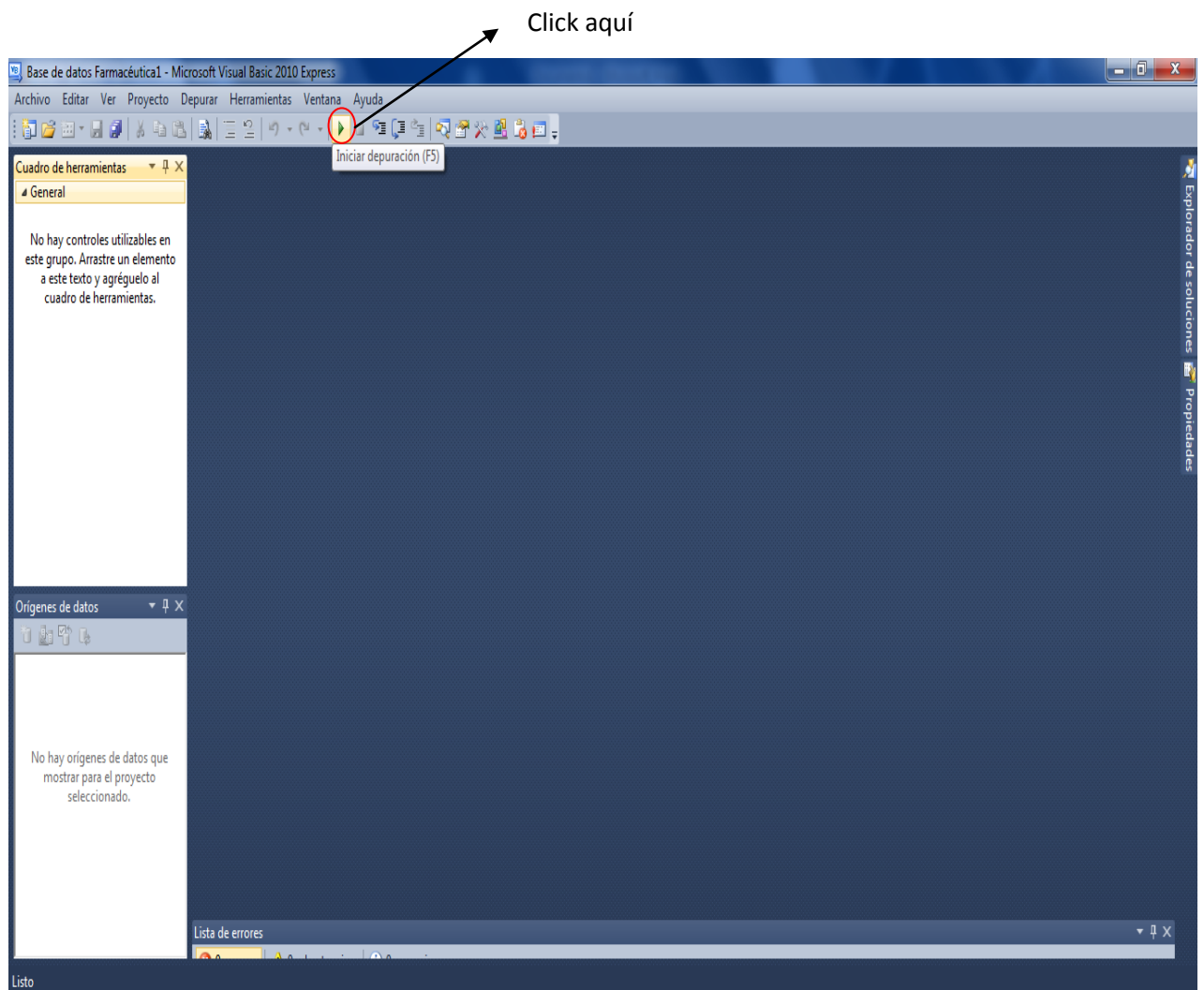
## **Ejecutar el sistema de información**

En el momento que se ha puesto en marcha el programa Microsoft Visual Studio 2010, aparecerá la siguiente pantalla:



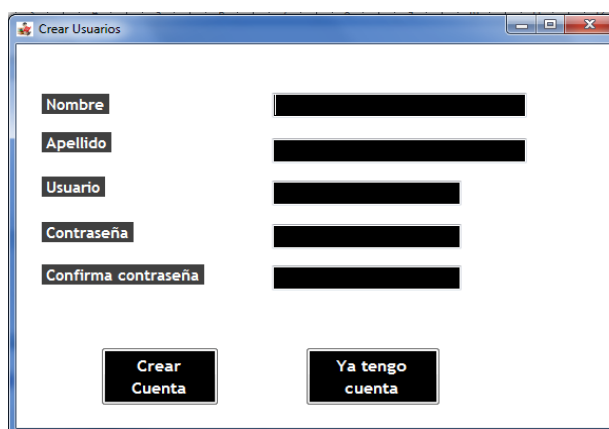
Se ubica en Proyectos recientes y se da click sobre la opción Base de datos Farmacéutica1.

Después de esta acción, se presentará el formulario siguiente, en donde para dar inicio al sistema de información, se debe dar click en el botón de ejecutar, como lo muestra la imagen.



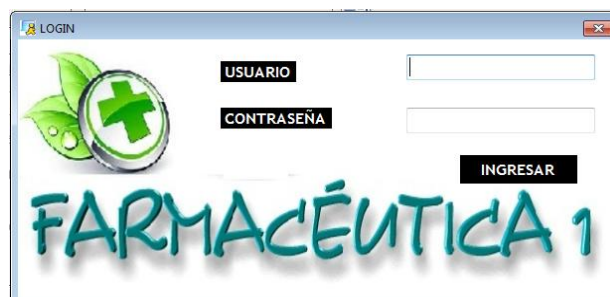


La primera interfaz que se presentará, será el formulario de “Crear Usuario”, en el cual se puede añadir nuevos usuarios para que éstos tengan acceso al sistema de información. Lo que deben hacer es llenar el formulario que se les presenta y dar click en “Crear cuenta”. Si la persona que ejecuta el sistema de información ya cuenta con un usuario, deberá omitir el paso de llenar el formulario y dar click directamente en la opción “Ya tengo cuenta”



The image shows a window titled "Crear Usuarios" with a standard Windows-style title bar. Inside the window, there are five text input fields arranged vertically, each with a label to its left: "Nombre", "Apellido", "Usuario", "Contraseña", and "Confirma contraseña". The input fields are currently empty. Below the input fields, there are two buttons: "Crear Cuenta" on the left and "Ya tengo cuenta" on the right. Both buttons are rectangular with a dark background and light text.

El siguiente formulario en ejecutarse será el de “Login”, que permitirá tener acceso al sistema de información, se pedirá llenar la información referente a usuario y contraseña, pasaremos al menú del sistema si se llenan los campos correctamente, caso contrario será denegado el acceso.



The image shows a window titled "LOGIN" with a standard Windows-style title bar. On the left side of the window, there is a logo consisting of a green cross inside a circle, surrounded by green leaves. Below the logo, the text "FARMACÉUTICA 1" is written in a large, stylized, teal-colored font. To the right of the logo, there are two text input fields. The first field is labeled "USUARIO" and the second field is labeled "CONTRASEÑA". Below the input fields, there is a button labeled "INGRESAR".



El siguiente formulario que se presenta, es el de menú principal, en éste se encuentran las opciones que se manejarán en el sistema de información.



Si seleccionamos la opción 01 del menú principal, accederemos a la información de los clientes de la empresa, se presentará el siguiente formulario, en donde se tendrán las opciones de:

- Agregar clientes
- Modificar clientes
- Eliminar clientes
- Buscar clientes

Código Cliente	Nombre del Cliente	Dirección	Teléfono	Correo Electrónico
C25	CLIENTE 25	García Moreno y 9 de Octubre	2893065	bol@gmail.com
C26	CLIENTE 26	Av. Napo y Pasquisha diag. Espíritu Santo	2257035	mil@gmail.com
C27	CLIENTE 27	García Moreno y 9 de Octubre	2263126	nidiv@gmail.com
C28	CLIENTE 28	Napo y Tumbes	2259116	dpoli@gmail.com
C29	CLIENTE 29	Latacunga y Leonidas Plaza	2345678	juan@gmail.com
C02	SANA SANA	Av. Chirijos y Loja	2134567	eli@gmail.com
C03	CLIENYE 03	Juan Montalvo y 9 de Octubre	2875321	lafe@gmail.com

Código Cliente: C01      Nombre del Cliente: LA UNICA

Dirección: García Moreno y Vargas Torres      Teléfono: 2662990

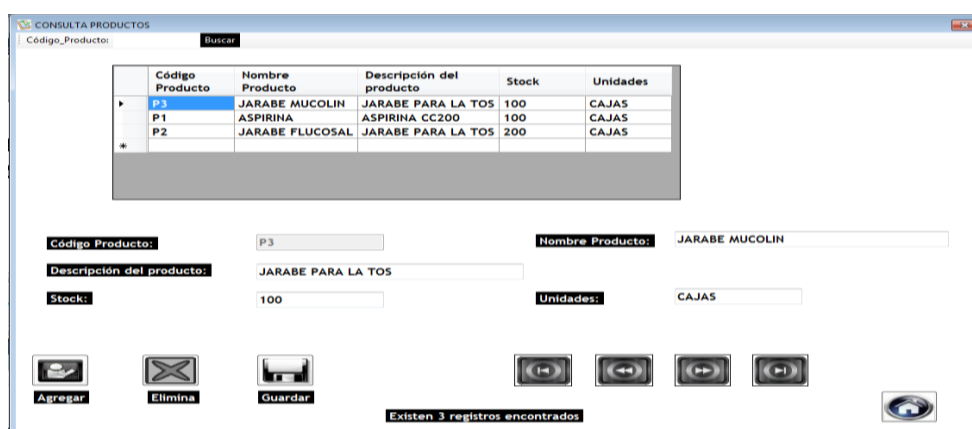
Correo Electrónico: adr@gmail.com

Existen 33 registros encontrados

Contador que indica la cantidad de registros en el

Botones que permiten avanzar y retroceder, así como ir al primero y último

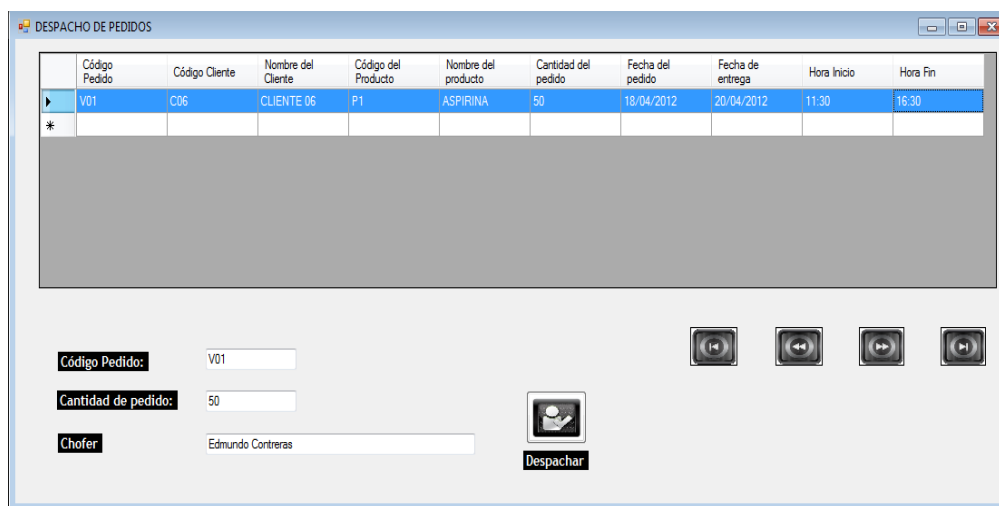
La opción 02 del menú principal, es la de “Consulta de productos”, el formulario es el mismo que el de “Consulta de clientes”, pero con la información referente a la cartera de productos de la empresa.



La opción 03 del menú principal, nos permite elaborar los pedidos. Pedidos que se darán de baja en el sistema, utilizando la opción 04. Como se puede apreciar en la imagen existe un botón de consulta para clientes y productos, ya que existen diversos códigos y es muy probable olvidar a que cliente le corresponde que código.

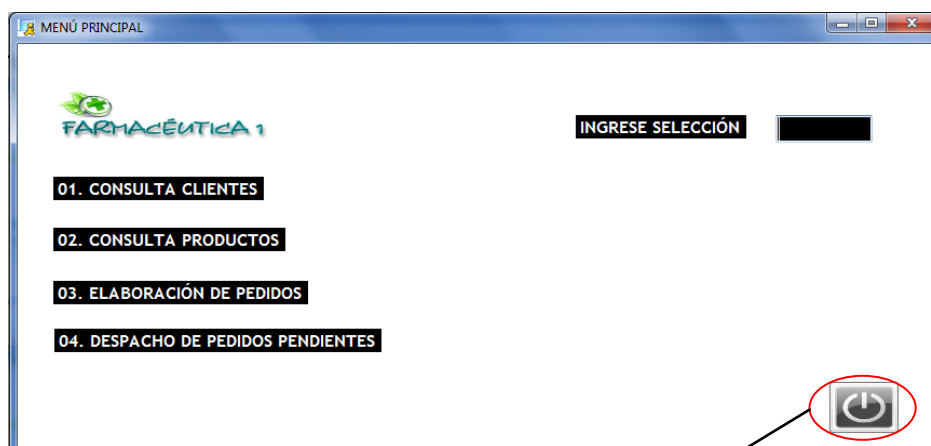


La opción 04 permite el despacho de pedidos pendientes en el sistema, una vez que se da de baja en esta opción, el stock de los productos se actualiza inmediatamente.



### Cerrar el sistema de información

Al dar click en el botón que podemos ver enmarcado, cerramos el sistema de información, pero no el programa Visual Basic, el cual lo debe cerrar como lo harían con cualquier programa del computador.



Al dar click se cierra el sistema de información.