



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

Instituto de Ciencias Matemáticas

“Optimización de la distribución de mercadería a las distintas sucursales de una empresa dedicada a la venta de aceites para autos”

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA**

Presentada por:

**Ericka Daniela Moreira Gómez**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

AÑO 2010

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por estar siempre a mi lado. A mis Padres y a mi familia por el apoyo que me han brindado. A William por su incondicional ayuda a lo largo de mi carrera. Al Ing. Echeverría por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto. Al Mat. John Ramírez por sus enseñanzas.

# DEDICATORIA

A DIOS,  
A MIS PADRES,  
A MI FAMILIA,  
Y A MIS AMIGOS.

# TRIBUNAL DE GRADUACION



---

ING. SANDRA GARCÍA  
DELEGADO



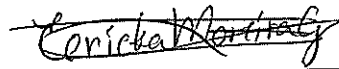
---

ING. FABRICIO ECHEVERRÍA  
DIRECTOR DE TESINA

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

(Reglamento de graduación de la ESPOL)



---

Ericka Daniela Moreira Gómez.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las compañías deben decidir cuál es la mejor forma de almacenar, inventariar y mover sus productos y servicios, de manera que puedan reducir sus costos y estén a disposición de los clientes en el momento, lugar, y cantidad adecuada.

Es evidente, que las decisiones que deben tomar los gerentes sobre los procesos de la empresa no se tienen que realizar de forma empírica. Es imprescindible, que estas decisiones estén basadas en criterios científicos.

En este sentido, la construcción de modelos de optimización que permitan llevar a cabo lo anteriormente expuesto, se ha convertido en la parte integral de los planes de las empresas para mejorar sus procesos.

Uno de los problemas que enfrentan las empresas son los problemas de transporte, este tipo de problemas se ocupan de la distribución desde cualquier grupo de centros de suministro, a cualquier grupo de centros de recepción, de modo que se minimice el costo total de distribución.

El presente trabajo está destinado a resolver este problema para una empresa dedicada a la comercialización de aceites para autos en el Ecuador, haciendo uso de técnicas heurísticas como lo son los Algoritmos Genéticos.

Este proyecto está constituido por tres capítulos que son:

El capítulo uno trata acerca de los antecedentes de la empresa así como la descripción del problema a resolver. El capítulo también plantea el modelo que representa al problema y la justificación de la solución escogida.

El capítulo dos describe la estructura y el funcionamiento de los Algoritmos Genéticos así como también los métodos utilizados en el algoritmo para resolver el problema planteado.

El capítulo tres presenta los resultados obtenidos después de la ejecución del algoritmo así como el respectivo análisis para cada ítem.

Finalmente este trabajo concluye con las conclusiones del estudio y con varias recomendaciones planteadas.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	VI
CONCLUSIONES.....	VII
RECOMENDACIONES.....	VIII
ANEXOS.....	IX
BIBLIOGRAFÍA.....	X
 <b>CAPÍTULO I</b>	
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción del problema.....	1
1.3 Condiciones del entorno.....	3
1.4 Modelo del problema.....	4
1.5 Justificación de la solución.....	7



## **CAPÍTULO II**

2. SOLUCIÓN A UTILIZAR.....	9
2.1 Introducción.....	9
2.2 Definición de Algoritmos Genéticos.....	9
2.3 Elementos de los Algoritmo Genético.....	11
2.3.1 Generación de la población inicial.....	13
2.3.2 Selección.....	17
2.3.3 Cross-Over.....	19
2.3.4 Mutación.....	23
2.3.5 Generación de la nueva población.....	24
2.4 Herramienta informática aplicada a la solución del problema.....	25
2.4.1 Ejecución del Algoritmo Genético por etapas.....	26
2.4.2 Ejecución del Algoritmo por número de iteraciones.....	31

## **CAPÍTULO III**

3. RESULTADOS.....	34
3.1 Introducción.....	34
3.2 Resultados encontrados para el ítem PZ3569.....	35
3.2.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones.....	35
3.2.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones.....	37
3.2.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.....	39
3.3 Resultados encontrados para el ítem PZ5073625.....	41
3.3.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones.....	41
3.3.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones.....	43
3.3.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.....	45

3.4 Resultados encontrados para el ítem PZ5071325.....	46
3.4.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones.....	46
3.4.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones.....	48
3.4.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.....	50
3.5 Resultados encontrados para el ítem PZ3619.....	52
3.5.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones.....	52
3.5.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones.....	54
3.5.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.....	56
3.6 Resultados encontrados para el ítem PZ5071328.....	57
3.6.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones.....	57
3.6.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones.....	59
3.6.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.....	61
3.7 Análisis de los resultados encontrados.....	63

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Modelo del Problema.....	6
Cuadro 2.1 Población inicial PZ3569.....	16
Cuadro 2.2 Cross – Over ítem PZ3569.....	22
Cuadro 3.1 Mejores soluciones del ítem PZ3569 en 50 iteraciones	36
Cuadro 3.2 Mejores soluciones del ítem PZ3569 en 100 iteraciones.....	38
Cuadro 3.3 Mejores soluciones del ítem PZ5073625 en 50 iteraciones.....	41
Cuadro 3.4 Mejores soluciones del ítem PZ5073625 en 100 iteraciones.....	43
Cuadro 3.5 Mejores soluciones del ítem PZ5071325 en 50 iteraciones.....	47
Cuadro 3.6 Mejores soluciones del ítem PZ5071325 en 100 iteraciones.....	49
Cuadro 3.7 Mejores soluciones del ítem PZ3619 en 50 iteraciones.....	52
Cuadro 3.8 Mejores soluciones del ítem PZ3619 en 100 iteraciones.....	54
Cuadro 3.9 Mejores soluciones del ítem PZ5071328 en 50 iteraciones.....	58

Cuadro 3.10 Mejores soluciones del ítem PZ5071328 en 100 iteraciones.....	59
---	----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Costos de Transportación.....	2
Tabla 1.2 Unidades a enviarse desde cada bodega a cada sucursal.....	5
Tabla 2.1 Representación de un individuo o solución.....	13
Tabla 2.2 Datos ítem PZ3569.....	15
Tabla 2.3 Selección ítem PZ3569.....	18
Tabla 2.4 Soluciones seleccionadas ítem PZ3569.....	19
Tabla 2.5 Mutación ítem PZ3569.....	24
Tabla 3.1 Ítems.....	35
Tabla 3.2 Mejores soluciones del ítem PZ3569 en 10 ensayos de 100 iteraciones.....	40
Tabla 3.3 Mejores soluciones del ítem PZ5073625 en 10 ensayos de 100 iteraciones.....	45
Tabla 3.4 Mejores soluciones del ítem PZ5071325 en 10 ensayos de 100 iteraciones.....	51
Tabla 3.5 Mejores soluciones del ítem PZ3619 en 10 ensayos de 100 iteraciones.....	56

Tabla 3.6 Mejores soluciones del ítem PZ5071328 en 10 ensayos de 100 iteraciones.....	62
Tabla 3.7 Comparación Costos de Transportación.....	63

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1.1 Problema de Transporte.....	3
Gráfico 2.1 Diagrama Algoritmo Genético .....	12
Gráfico 2.2 Interfaz de la Aplicación.....	26
Gráfico 2.3 Población Inicial.....	27
Gráfico 2.4 Soluciones seleccionadas.....	28
Gráfico 2.5 Cross - Over.....	29
Gráfico 2.6 Mutación.....	30
Gráfico 2.7 Nueva Población Inicial.....	31
Gráfico 2.8 Ventana de Ingreso de Número de Iteraciones.....	32
Gráfico 2.9 Resultados del Algoritmo.....	33
Gráfico 3.1 Función de Costo del ítem PZ3619 en 50 iteraciones.	37
Gráfico 3.2 Función de Costo del ítem PZ3619 en 100 iteraciones.	39
Gráfico 3.3 Función de Costo del ítem PZ5073625 en 50 iteraciones.....	42
Gráfico 3.4 Función de Costo del ítem PZ5073625 en 100 iteraciones.....	44

Gráfico 3.5 Función de Costo del ítem PZ5071325 en 50 iteraciones.....	48
Gráfico 3.6 Función de Costo del ítem PZ5071325 en 100 iteraciones.....	50
Gráfico 3.7 Función de Costo del ítem PZ3619 en 50 iteraciones.....	53
Gráfico 3.8 Función de Costo del ítem PZ3619 en 100 iteraciones.....	55
Gráfico 3.9 Función de Costo del ítem PZ5071328 en 50 iteraciones.....	59
Gráfico 3.10 Función de Costo del ítem PZ5071328 en 100 iteraciones.....	61

# CAPÍTULO I

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Introducción

El presente capítulo presenta una descripción del entorno bajo el cual se desarrolla el problema a resolverse en la empresa así como el modelo que lo representa y la justificación de la solución escogida.

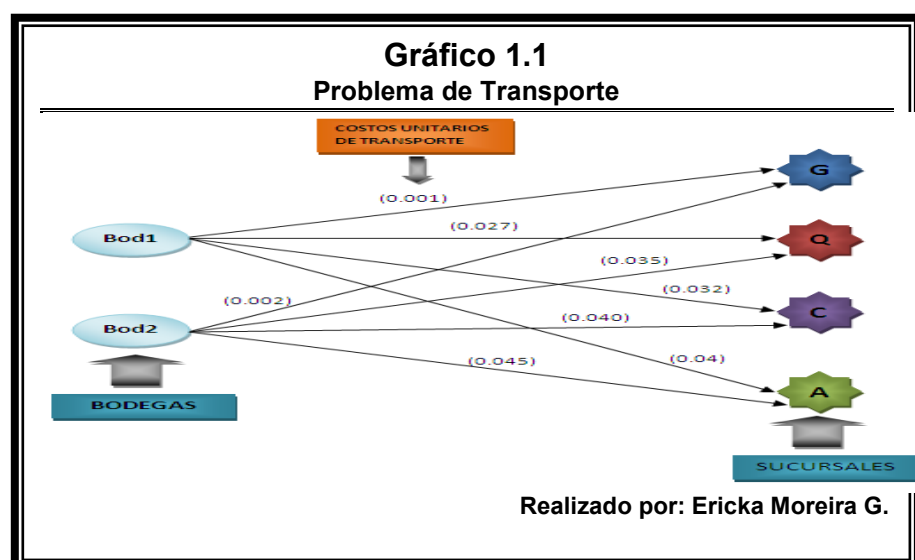
### 1.2 Descripción del Problema

Una empresa dedicada a la comercialización de aceites para autos tiene cuatro sucursales ubicadas en las ciudades de Guayaquil, Quito, Cuenca y Ambato. La empresa distribuye sus productos quincenalmente a las sucursales desde dos bodegas localizadas en la ciudad de Guayaquil. Los costos de transportación en dólares por unidad, desde cada bodega hasta cada sucursal están en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1**  
**Costos de transportación**

	Sucursal Guayaquil	Sucursal Quito	Sucursal Cuenca	Sucursal Ambato
BODEGA1	\$ 0.001	\$ 0.027	\$ 0.032	\$ 0.040
BODEGA2	\$ 0.002	\$ 0.035	\$ 0.040	\$ 0.045

La empresa está interesada en determinar cuántas unidades de un ítem específico tienen que ser enviadas desde cada bodega hasta cada una de las sucursales de forma que satisfaga la demanda estimada en cada sucursal y el costo de transportación sea el mínimo. El gráfico 1.1 representa el problema descrito.





### **1.3 Condiciones del entorno**

La mercadería importada por la empresa es almacenada en dos bodegas. El 60% de la mercadería importada es almacenada en la Bodega 1, que está localizada al Norte de Guayaquil y el restante de la mercadería es almacenada en la Bodega 2 que está localizada al Sur de la ciudad.

La empresa posee un sistema que le permite estimar la demanda que cada sucursal tendrá en el periodo a ser stockeada, pero el sistema no indica cuantas unidades enviar desde cada una de las bodegas a las sucursales, esta labor la realiza el analista de inventarios de la empresa.

El analista de inventarios es quién decide cuanto distribuir desde las bodegas a las sucursales. El criterio que el analista utiliza consiste en enviar la mercadería en la misma proporción que es almacenada, es decir, el 60% de las unidades

demandadas por las sucursales salen de la Bodega1 y el restante de la Bodega2.

La empresa desea saber si dependiendo del stock de cada bodega es factible enviar una combinación de las unidades demandadas por las sucursales desde cada una de las bodegas, que permita obtener un costo de transportación menor al que se tiene actualmente.

#### 1.4 Modelo del Problema

El problema a resolver es determinar las cantidades que la empresa debe enviar de un ítem específico, desde cada una de las bodegas de la empresa hasta cada sucursal, de forma que la demanda estimada sea satisfecha y el costo de transportación sea el mínimo.

En consecuencia, la cantidad demandada por cada sucursal debe ser satisfecha por las bodegas, la tabla 1.2 presenta lo expuesto.

	<b>Sucursal Guayaquil</b>	<b>Sucursal Quito</b>	<b>Sucursal Cuenca</b>	<b>Sucursal Ambato</b>
<b>BOD1</b>	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$
<b>BOD2</b>	$D_1 - X_{11}$	$D_2 - X_{12}$	$D_3 - X_{13}$	$D_4 - X_{14}$

Realizado por: Ericka Moreira G.

Donde,

$X_{1i}$ : Unidades de un determinado ítem enviadas de la bodega 1 a la sucursal  $i$ ; para  $i=1,\dots,4$

$D_i$ : Demanda estimada de la sucursal  $i$ ; para  $i=1,\dots,4$

Además, hay que tomar en consideración lo siguiente:

- Si la demanda estimada de un determinado ítem para alguna sucursal es mayor a la capacidad que existe en la bodega de la sucursal para dicho ítem, entonces escogemos como demanda la capacidad de la bodega.

$$Cap_i \geq D_i; \text{ para } i=1,\dots,4$$

Donde, **Cap<sub>i</sub>**: Capacidad en bodega de la sucursal  $i$ ;  
para  $i=1,\dots,4$

- El total de las unidades de un determinado ítem enviadas a las sucursales desde cada una de las bodegas no deben sobrepasar el stock de las mismas.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \leq \text{StockBOD1}$$

$$(D_1 - X_{11}) + (D_2 - X_{12}) + (D_3 - X_{13}) + (D_4 - X_{14}) \leq \text{StockBOD2}$$

- Las unidades destinadas para el envío no tienen que ser negativas.

$$X_{1i} \geq 0; \text{ para } i=1,\dots,4$$

$$(D_i - X_{1i}) \geq 0; \text{ para } i=1,\dots,4$$

Simplificando:

$$0 \leq X_{1i} \leq D_i; \text{ para } i=1, \dots, 4$$

En definitiva, el modelo lineal a resolver es:

<b>Cuadro 1.1</b>	
<b>Modelo del problema</b>	
<b>Función Objetivo:</b>	
Min Costo = $0.001(X_{11}) + 0.027(X_{12}) + 0.032(X_{13}) + 0.04(X_{14}) + 0.002(D_1 - X_{11})$ $+ 0.035(D_2 - X_{12}) + 0.04(D_3 - X_{13}) + 0.045(D_4 - X_{14})$	
<b>Sujeto a:</b>	
Cap <sub>i</sub> ≥ D <sub>i</sub> ; para i=1, ..., 4	
X <sub>11</sub> + X <sub>12</sub> + X <sub>13</sub> + X <sub>14</sub> ≤ StockBOD1	
(D <sub>1</sub> - X <sub>11</sub> ) + (D <sub>2</sub> - X <sub>12</sub> ) + (D <sub>3</sub> - X <sub>13</sub> ) + (D <sub>4</sub> - X <sub>14</sub> ) ≤ StockBOD2	
0 ≤ X <sub>1i</sub> ≤ D <sub>i</sub> ; para i=1, ..., 4	
<b>Variables de decisión:</b>	
X <sub>1i</sub> : Unidades de un determinado ítem enviadas de la bodega 1 a la sucursal i; para i=1, ..., 4	
<b>Realizado por: Ericka Moreira G.</b>	
<b>Realizado por: Ericka Moreira G.</b>	

### 1.5 Justificación de la Solución

Una vez modelado el problema el siguiente paso a seguir es determinar la técnica a utilizar para su resolución. Existen varias técnicas que nos ayudan a resolver el problema en cuestión, pero la técnica escogida son los Algoritmos Genéticos.

Esta técnica recorre el espacio de posibles soluciones con rapidez y eficacia, y aunque el uso de esta técnica no garantiza la determinación del óptimo, los expertos dicen que existe evidencia empírica de que encuentran soluciones bastante confiables en comparación con otras técnicas.

El poder de los Algoritmos Genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta que opera de forma simultánea con varias soluciones, en vez de trabajar de forma secuencial como las técnicas tradicionales. Esta forma de operar hace que el algoritmo cubra el espacio de soluciones con mayor rapidez que las otras técnicas y le da la posibilidad al gerente de la empresa de decidir sobre un conjunto de soluciones y no en base a una solución, de manera que el gerente puede escoger la solución que más le convenga a la empresa.

El Capítulo 2 hace una descripción con detalle del uso de los Algoritmos y su funcionamiento.

# **CAPÍTULO II**

## **2. SOLUCIÓN A UTILIZAR**

### **2.1 Introducción**

El presente capítulo describe la estructura y el funcionamiento de los Algoritmos Genéticos así como también los métodos utilizados

en el algoritmo para resolver el problema planteado en el Capítulo I.

## **2.2 Definición de Algoritmos Genéticos**

Un algoritmo genético (AG) es una técnica de programación que imita a la evolución biológica como estrategia para resolver problemas. Dado un problema específico a resolver, la entrada del AG es un conjunto de soluciones potenciales a ese problema, codificadas de alguna manera, y una métrica llamada función de aptitud que permite evaluar cuantitativamente a cada candidata. Estas candidatas pueden ser soluciones que ya se sabe que funcionan, con el objetivo de que el AG las mejore, pero se suelen generar aleatoriamente [1].

Los Algoritmos Genéticos usan una analogía directa con el comportamiento natural. Trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a un problema dado. A cada individuo se le asigna un valor o puntuación, relacionado con la bondad de dicha solución. En la naturaleza esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo para competir por unos determinados recursos. Cuanto mayor sea la adaptación de un individuo al problema, mayor será la probabilidad de que el mismo sea seleccionado para

reproducirse, cruzando su material genético con otro individuo seleccionado de igual forma. Este cruce producirá nuevos individuos -descendientes de los anteriores- los cuales comparten algunas de las características de sus padres.

Cuanto menor sea la adaptación de un individuo, menor será la probabilidad de que dicho individuo sea seleccionado para la reproducción, y por tanto de que su material genético se propague en sucesivas generaciones.—

[1] Algoritmos genéticos y computación evolutiva. Adam Marczyk. 2004.

Disponibile: <http://the-geek.org/docs/algen/algen.html>

De esta manera se produce una nueva población de posibles soluciones, la cual reemplaza a la anterior y verifica la interesante propiedad de que contiene una mayor proporción de buenas características en comparación con la población anterior. Así a lo largo de las generaciones las buenas características se propagan a través de la población. Favoreciendo el cruce de los individuos mejor adaptados, van siendo exploradas las áreas más prometedoras del espacio de búsqueda. Si el Algoritmo Genético ha sido bien diseñado, la población convergerá hacia una solución óptima del problema [2].

### **2.3 Elementos de los Algoritmo Genéticos**



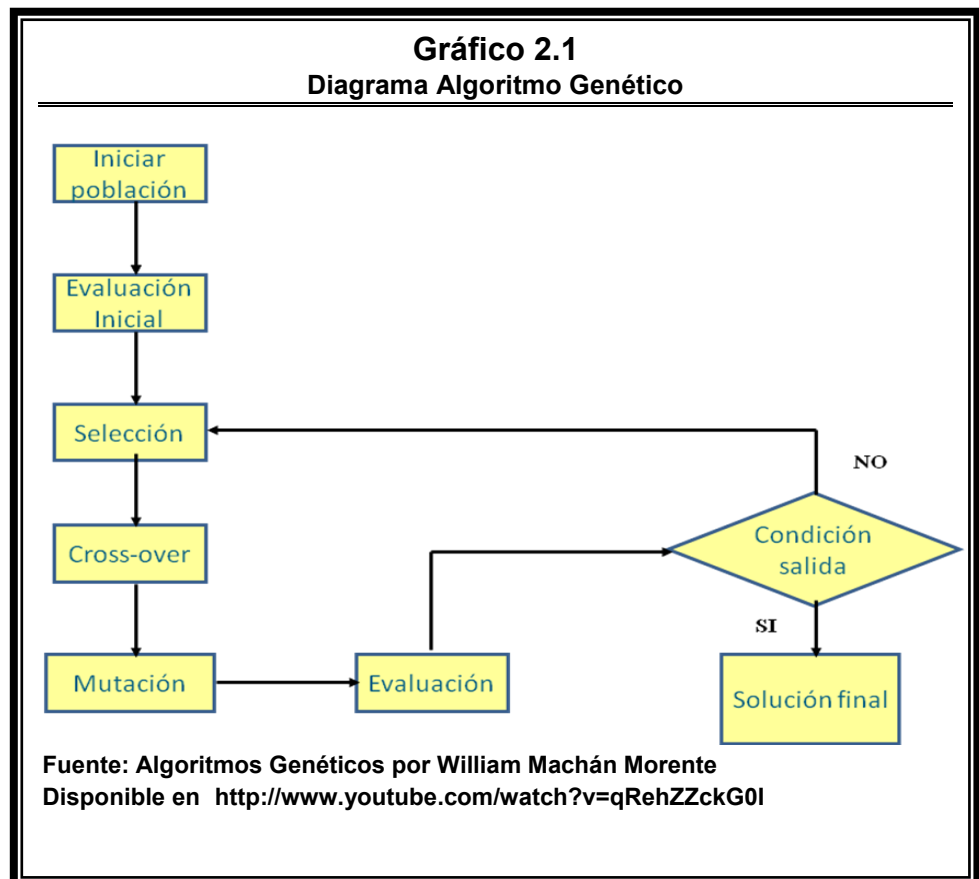
La resolución de un problema de optimización consiste en determinar los valores de las variables de decisión que permitirán optimizar la función objetivo establecida en el modelo de optimización.

Una de las ventajas de los algoritmos genéticos es que trabajan con un conjunto de soluciones, es decir que esta técnica de optimización ofrece varias opciones que podrían solucionar el

[2] Algoritmos Genéticos. Pag. 1

Disponible: <http://www.sc.edu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/temageneticos.pdf>

El gráfico 2.1 presenta el diagrama del Algoritmo Genético.



Para entender de una mejor forma el funcionamiento de los algoritmos genéticos, las siguientes secciones explican con detalle las etapas que intervienen en este.

### 2.3.1 Generación de la población inicial

Antes de generar la población inicial debemos determinar el método de codificación a utilizar en cada solución y el tamaño de la población que el algoritmo generará en cada iteración.

Cada solución o individuo formado en el algoritmo está constituido por valores generados aleatoriamente para determinar las unidades a enviar desde la Bodega 1 a cada sucursal y por valores calculados a partir de los generados anteriormente, que determinan las unidades a enviar desde la Bodega 2 a cada sucursal. La tabla 2.1 representa la estructura de las soluciones.

BODEGA 1				BODEGA 2			
Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$D_1 - X_{11}$	$D_2 - X_{12}$	$D_3 - X_{13}$	$D_4 - X_{14}$

Realizado por: Ericka Moreira G.

Existen varias formas de codificar las soluciones en un algoritmo genético, pero, para la resolución del problema en cuestión, utilizaremos la codificación binaria, que es la más común en el uso de los algoritmos genéticos. Esto significa que cada solución generada en el algoritmo genético será transformada a una cadena binaria de ceros y unos. Esta codificación es necesaria para usar los operadores genéticos que aparecen en el cross-over y la mutación.

Si definimos como  $l$  la longitud de las cadenas binarias que representan las soluciones, Alander (1992), basándose en evidencia empírica sugiere que un tamaño de población comprendida entre  $l$  y  $2l$  es suficiente para atacar con éxito los problemas por él considerados [3].

De acuerdo al criterio de Alander, el tamaño de población es de 30 soluciones, suponiendo que la máxima longitud que toman las cadenas binarias es de 15 bits.

Es así que para inicializar el algoritmo fueron generadas aleatoriamente 30 soluciones iniciales para cada variable uniformemente, de manera que cada solución generada cumpla con las restricciones planteadas en el modelo.

Para mostrar lo anteriormente expuesto, fue generada la población inicial para un ítem comercializado por la empresa en cuestión, la tabla 2.2 presenta los datos que debemos

[3] Algoritmos Genéticos. Pag. 7

Disponible: <http://www.sc.edu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/temageneticos.pdf>

Sucursal	Demanda Estimada	Capacidad de la Bodega	Stock en Bod1	Stock en Bod2
Guayaquil	1404	20160	80000	40000
Quito	18130	16128		
Cuenca	19437	12096		
Ambato	6652	6048		

**Fuente: Registros de la empresa**

Tomando en cuenta las restricciones establecidas en el modelo, las 30 soluciones iniciales tienen que generarse dentro de los siguientes rangos:

- Para Guayaquil las soluciones deben ser mayores a 0 y menores o iguales a 1404 unidades.
- Para Quito las soluciones deben ser mayores a 0 y menores o iguales a 16128 unidades, en este caso se toma como límite superior la capacidad de la bodega porque al ser

la demanda mayor, no habría espacio para el almacenamiento de las unidades excedentes.

- Cuenca y Ambato presenta la misma situación que ocurre en Quito, por lo que las soluciones iniciales para estas sucursales deben estar entre [ 0 , 12096 ] y [ 0 , 6048 ] respectivamente.

Además, las soluciones deben generarse de forma que la suma de los valores a enviar desde cada sucursal, no sobrepasen los stocks de las bodegas 1 y 2.

De esta forma, el cuadro 2.1 muestra la población inicial para el ítem PZ3569:

**Cuadro 2.1**  
**Población Inicial PZ3569**

Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	ÁMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	ÁMBATO	
1	991	8604	7010	1752	413	7524	5086	4296	1.188,63
2	425	12495	171	4601	979	3633	11925	1447	1.198,53
3	1144	11436	550	2505	260	4692	11546	3543	1.213,73
4	1211	12749	4519	5818	193	3379	7577	230	1.154,84
5	1224	908	11486	2202	180	15220	610	3846	1.211,90
6	737	12372	648	3584	667	3756	11448	2464	1.200,47
7	659	4810	7533	3918	745	11318	4563	2130	1.204,30
8	371	4506	10037	4987	1033	11622	2059	1061	1.181,64
9	828	15904	11019	1373	576	224	1077	4675	1.100,21
10	976	15806	2951	3229	428	322	9145	2819	1.156,11
11	150	16119	8179	96	1254	9	3917	5952	1.128,27
12	808	1615	1247	4832	596	14513	10849	1216	1.275,42
13	400	737	3578	2311	1004	15391	8518	3737	1.276,81
14	423	15299	11852	2428	981	829	244	3620	1.093,52
15	391	2588	1970	3911	1013	13540	10126	2137	1.266,88
16	576	6658	8621	1974	828	9470	3475	4074	1.190,61
17	889	3348	2251	3529	515	12780	9845	2519	1.259,96
18	114	7387	10956	1581	1290	8741	1140	4467	1.168,53
19	1103	6112	3504	5560	301	10016	8592	488	1.217,46
20	887	10123	5183	593	517	6005	6913	5455	1.196,99
21	788	11201	11052	5049	616	4927	1044	999	1.119,23
22	33	8764	11082	2603	1371	7364	1014	3445	1.151,47
23	952	8104	6215	2801	452	8024	5881	3247	1.193,78
24	497	6530	3263	337	907	9598	8833	5711	1.242,76
25	343	15791	738	2361	1061	337	11358	3687	1.178,91
26	513	7902	1884	2870	891	8226	10212	3178	1.230,14
27	362	10141	6557	946	1042	5987	5539	5102	1.184,61
28	1318	10556	6122	2362	86	5572	5974	3686	1.176,74
29	152	12644	5560	4559	1252	3484	6536	1489	1.154,71
30	837	13430	228	1273	567	2698	11868	4775	1.206,82

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

### **2.3.2 Selección**

La etapa de la selección busca escoger a las mejores soluciones que pasarán a la siguiente etapa. El algoritmo considera como mejores soluciones a aquellos valores que minimicen la función de costo.

Existen varias formas de llevar a cabo esta etapa, pero el método utilizado es el Torneo. Este método consiste en generar parejas aleatoriamente con los individuos de la población inicial, una vez establecidas las parejas, los individuos de cada pareja son sometidos a un torneo, en donde el ganador es el individuo que mejor adaptación tenga con la función objetivo. En el caso del problema en cuestión es el individuo que genere el menor costo.

Todos los individuos que resultan ganadores son los individuos seleccionados que pasan a la etapa del Cross-Over, mientras que los individuos que resultan perdedores son eliminados. Pero como el total de los individuos seleccionados representa la

mitad del tamaño de la población, procedemos a duplicar cada seleccionado para así poder completar el total de la población.

La tabla 2.3 muestra el proceso de selección para el ítem PZ3569.

ÍTEM PZ3569	Solución	Costo	Solución	Costo
Pareja1	3	1213,73	4	1154,84
Pareja2	11	1128,27	5	1211,9
Pareja3	1	1188,63	17	1259,96
Pareja4	20	1196,99	25	1178,91
Pareja5	7	1204,3	21	1119,23
Pareja6	14	1093,52	28	1176,74
Pareja7	16	1190,61	23	1193,78
Pareja8	13	1276,81	15	1266,88
Pareja9	18	1168,53	6	1200,47
Pareja10	9	1200,21	26	1230,14
Pareja11	8	1181,64	2	1198,53
Pareja12	10	1156,11	24	1242,76
Pareja13	19	1217,46	29	1154,71
Pareja14	30	1206,82	22	1151,47
Pareja15	27	1184,61	12	1275,42

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

La tabla 2.4 expone el proceso completo de la selección en donde muestra las soluciones seleccionadas con sus duplicados.

**Tabla 2.4**  
**Soluciones seleccionadas ítem PZ3569**

Nº	SEL	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
		GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	4	1211	12749	4519	5818	193	3379	7577	230	1.154,84
2	4	1211	12749	4519	5818	193	3379	7577	230	1.154,84
3	11	150	16119	8179	96	1254	9	3917	5952	1.128,27
4	11	150	16119	8179	96	1254	9	3917	5952	1.128,27
5	1	991	8604	7010	1752	413	7524	5086	4296	1.188,63
6	1	991	8604	7010	1752	413	7524	5086	4296	1.188,63
7	25	343	15791	738	2361	1061	337	11358	3687	1.178,91
8	25	343	15791	738	2361	1061	337	11358	3687	1.178,91
9	21	788	11201	11052	5049	616	4927	1044	999	1.119,23
10	21	788	11201	11052	5049	616	4927	1044	999	1.119,23
11	14	423	15299	11852	2428	981	829	244	3620	1.093,52
12	14	423	15299	11852	2428	981	829	244	3620	1.093,52
13	16	576	6658	8621	1974	828	9470	3475	4074	1.190,61
14	16	576	6658	8621	1974	828	9470	3475	4074	1.190,61
15	15	391	2588	1970	3911	1013	13540	10126	2137	1.266,88
16	15	391	2588	1970	3911	1013	13540	10126	2137	1.266,88
17	18	114	7387	10956	1581	1290	8741	1140	4467	1.168,53
18	18	114	7387	10956	1581	1290	8741	1140	4467	1.168,53
19	9	828	15904	11019	1373	576	224	1077	4675	1.100,21
20	9	828	15904	11019	1373	576	224	1077	4675	1.100,21
21	8	371	4506	10037	4987	1033	11622	2059	1061	1.181,64
22	8	371	4506	10037	4987	1033	11622	2059	1061	1.181,64
23	10	976	15806	2951	3229	428	322	9145	2819	1.156,11
24	10	976	15806	2951	3229	428	322	9145	2819	1.156,11
25	29	152	12644	5560	4559	1252	3484	6536	1489	1.154,71
26	29	152	12644	5560	4559	1252	3484	6536	1489	1.154,71
27	22	33	8764	11082	2603	1371	7364	1014	3445	1.151,47
28	22	33	8764	11082	2603	1371	7364	1014	3445	1.151,47
29	27	362	10141	6557	946	1042	5987	5539	5102	1.184,61
30	27	362	10141	6557	946	1042	5987	5539	5102	1.184,61

Realizado por: Ericka Moreira G.

aleatoriamente individuos a partir de los individuos seleccionados, estos nuevos individuos son llamados hijos o descendientes de los seleccionados.

Los operadores genéticos comúnmente aplicados en esta etapa son diversos dependiendo del tipo de codificación a utilizarse, pero en este caso la codificación binaria fue escogida debido a que el método aplicado para la generación de los descendientes es el de las máscaras de cruce.



Una máscara de cruce es una cadena binaria de ceros y unos generados aleatoriamente, que permiten determinar la información genética que será transmitida desde los padres al hijo a formarse.

La etapa del Cross-Over empieza formando parejas de entre los individuos seleccionados en forma aleatoria, a estas parejas las denominamos "*padres*", y cada pareja debe formar dos nuevos individuos o soluciones a los que llamamos "*hijos*".

Para crear las soluciones hijos debemos transformar a cadenas binarias cada valor que forme parte de las soluciones padres y generar tantas máscaras cruce como hijos sean necesarios.

El paso a seguir es determinar que bits de los padres serán transmitidos al hijo y en qué posición de la cadena binaria del hijo serán colocados, en esta labor es donde interviene la máscara de cruce, cada elemento o bit de la máscara de cruce representará a uno de los padres, como la máscara está formada por ceros y unos, podemos establecer que los ceros representarán a la madre y los unos al padre, o viceversa.

Entonces al recorrer cada posición de la máscara, el algoritmo pregunta si el bit corresponde a la madre o al padre, si corresponde a la madre, toma el bit de la cadena binaria de la madre en esa posición y la transmite al hijo en la misma posición, si corresponde al padre, procede de la misma forma pero transmite el bit de la cadena binaria del padre.

El cuadro 2.2 ilustra el proceso que el algoritmo realiza en el método de las máscaras de cruce.

<b>Cuadro 2.2</b>				
<b>Cross – Over ítem PZ3569</b>				
<b>ÍTEM PZ3569</b>	<b>BODEGA 1</b>			
	<b>Guayaquil</b>	<b>Quito</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Ambato</b>
<b>Solución 11 (Madre)</b>	00110100111	11101111000011	10111001001100	1001110111001
<b>Solución 5 (Padre)</b>	01111011111	10000110011100	10001101101100	0011011011000
<b>0 = Madre, 1 = Padre</b>				
<b>ÍTEM PZ3569</b>	<b>BODEGA 1</b>			
	<b>Guayaquil</b>	<b>Quito</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Ambato</b>
<b>Máscara de Cruce</b>	00101011010	10000011100111	11101000101100	1001100111010
<b>Solución Hijo 1</b>	00111111111	11101110000100	10001100111110	0001010011001
<b>1 = Madre, 0 = Padre</b>				
<b>ÍTEM PZ3569</b>	<b>BODEGA 1</b>			
	<b>Guayaquil</b>	<b>Quito</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Ambato</b>
<b>Máscara de Cruce</b>	10111100010	00111011011011	00011001011110	0111100100001
<b>Solución Hijo 2</b>	01110111111	10101111000111	10000100111010	0001111111001

Cada solución hijo debe ser validada por las restricciones establecidas en el modelo, en caso de que una de estas soluciones no cumplan con las restricciones, deben ser eliminadas y reemplazadas por soluciones válidas.

De esta manera el algoritmo procede con cada una de las parejas para obtener los 30 nuevos individuos o soluciones que pasarán a la siguiente etapa.

#### **2.3.4 Mutación**

En la evolución la mutación es un proceso que aparece con poca frecuencia, en ocasiones la mutación no es buena porque altera la composición genética del individuo ocasionando anomalías, pero a su vez juega un papel importante porque contribuye a la diversidad genética de la especie, ya que sin esta no existiría evolución.

Así como en la naturaleza la mutación es poco frecuente, en los algoritmos genéticos ocurre lo mismo, De Jong (1975) recomienda la utilización de una probabilidad de mutación para cadenas binarias de  $l^{-1}$ , siendo  $l$  la longitud de la cadena.

De acuerdo al criterio de De Jong, determinamos una probabilidad de mutación del 7%, suponiendo que la máxima longitud que toman las cadenas binarias es de 15 bits.

Para llevar a cabo el proceso de la mutación el procedimiento a seguir es escoger aleatoriamente un bit de la cadena binaria y alterarlo, en otras palabras, si el bit escogido es 0 cambiarlo a 1 y si es 1 cambiarlo a 0.

La tabla 2.5 expone el proceso de mutación para el ítem PZ3569.

Tabla 2.5 Mutación ítem PZ3569				
ÍTEM PZ3569	BODEGA 1			
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
Solución Hijo 1	00111111111111	11101110000100	10001100111110	0001010011001
Solución Mutada	00111111111110	11101110010100	10001100110110	0001011011001

Realizado por: Ericka Moreira G.

Luego de generar las soluciones mutadas es necesario verificar si las soluciones cumplen con las restricciones establecidas en el modelo, de no ser así, debemos volver a repetir el proceso.

### **2.3.5 Generación de la nueva población**

Luego de la etapa de la mutación, la nueva población que pasa a la siguiente iteración está formada por las 30 mejores soluciones generadas en todo el algoritmo, es decir, el algoritmo almacena todas las soluciones o individuos resultantes en las etapas de la Soluciones Iniciales, Cross-Over y Mutación, y escoge como nueva población inicial las 30 soluciones que generen los menores costos.

La condición de parada del algoritmo es dada por el número de iteraciones establecido por el usuario.

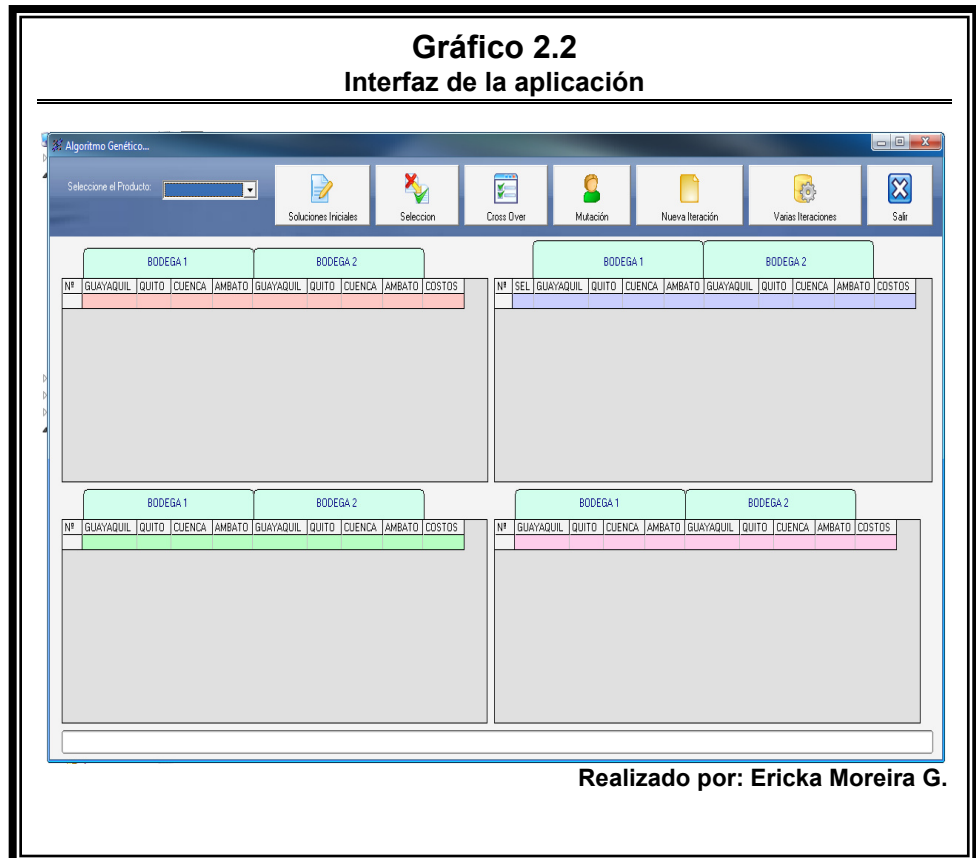
## **2.4 Herramienta informática aplicada a la solución del problema**

Una aplicación diseñada en Microsoft Visual Basic 6.0 con conexión a Microsoft Access 2007 intenta resolver el problema en cuestión. Esta aplicación permite ejecutar el Algoritmo Genético para un ítem comercializado por la empresa.

La interfaz de la aplicación está diseñada de tal forma que el usuario puede interactuar fácilmente con las funciones del algoritmo.

El usuario puede ejecutar el algoritmo por etapas o por número iteraciones.

El gráfico 2.2 permite visualizar la ventana principal de la aplicación.

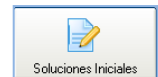


### 2.4.1 Ejecución del Algoritmo Genético por etapas

Esta manera de ejecutar el algoritmo permite visualizar el proceso que sigue el Algoritmo Genético en cada una de sus etapas, que ya fueron detalladas anteriormente.

La ejecución del algoritmo empieza por escoger el ítem para el cual el algoritmo determinará los valores que generen el menor costo de transportación.

La primera etapa del algoritmo consiste en generar la población inicial, para esto el usuario debe dar click en el botón



El gráfico 2.3 muestra la generación de la población inicial para el ítem PZ3619.

**Gráfico 2.3**  
**Población inicial**

Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS ▲
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
3	168	711	63	100	38	292	1300	139	93,93
4	178	793	510	230	28	210	853	9	89,04
5	180	57	1294	88	26	946	69	151	89,36
6	109	770	74	142	97	233	1289	97	93,22
7	97	300	849	155	109	703	514	84	90,73
8	55	281	1131	197	151	722	232	42	88,46
9	122	989	1242	55	84	14	121	184	82,56
10	143	983	333	128	63	20	1030	111	89,46
11	23	1002	922	5	183	1	441	234	85,36
12	63	951	1336	97	143	52	27	142	81,95
13	85	415	972	79	121	588	391	160	89,22
14	121	200	274	140	75	704	1100	80	86,25

Podemos observar en el gráfico 2.3 que la tabla no solo muestra las soluciones iniciales, sino que también marca la solución que en esa etapa genera el mínimo costo.

La siguiente etapa en el Algoritmo Genético es escoger las mejores soluciones de la población inicial por el método del Torneo, este proceso es realizado a través del botón

El gráfico 2.4 ilustra las soluciones seleccionadas de la población inicial para el ítem PZ3619.

**Gráfico 2.4**  
**Soluciones seleccionadas**

Nº	SEL	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
		GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	13	85	415	972	79	121	588	391	160	89,22
2	13	85	415	972	79	121	588	391	160	89,22
3	15	18	460	1235	63	188	543	128	176	86,90
4	15	18	460	1235	63	188	543	128	176	86,90
5	11	23	1002	922	5	183	1	441	234	85,35
6	11	23	1002	922	5	183	1	441	234	85,35
7	18	116	697	1245	200	90	306	118	39	84,14
8	18	116	697	1245	200	90	306	118	39	84,14
9	9	122	989	1242	55	84	14	121		
10	9	122	989	1242	55	84	14	121		
11	26	23	787	627	180	183	216	736	59	88,56
12	26	23	787	627	180	183	216	736	59	88,56
13	9	55	901	1131	107	151	733	333	43	89,46

Realizado por: Ericka Moreira G.




El gráfico 2.5 muestra las soluciones hijos después del Cross-Over para el ítem PZ3619.

**Gráfico 2.5**  
**Cross - Over**

Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	18	332	1267	229	188	671	96	10	86,84
2	50	408	1107	133	156	595	256	106	87,96
3	146	575	270	84	60	428	1093	155	93,47
4	146	535	1294	88	60	468	69	151	85,57
5	62	597	1235	38	144	406	128	201	85,86
6	114	597	1235	39	92	406	128	200	85,83
7	137	913	827	66	69	90	536	173	86,41
8	201	723	129	148	5	280	1234	91	93,04
9	52	753	245	100	154	250	1118	139	92,26
10	118	757	723	34	88	246	640	205	88,66
11	120	761	1241	74	86	242	122	165	84,25
12	110	701	1044	0	00	000	110	001	05,00

Realizado por: Ericka Moreira G.

Finalmente la última etapa del algoritmo, que es la Mutación es ejecutada por medio del botón 

A continuación podemos ver las soluciones mutadas para el ítem PZ3619 en el gráfico 2.6.

**Gráfico 2.6**  
**Mutación**

Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	50	334	1275	231	156	669	88	8	86,72
2	114	152	1139	197	92	851	224	42	89,37
3	130	573	262	80	76	430	1101	159	93,58
4	18	663	1310	89	188	340	53	150	84,55

A continuación podemos ver las soluciones mutadas para el ítem PZ3619 en el gráfico 2.6.

**Gráfico 2.6**  
**Mutación**

Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	50	334	1275	231	156	669	88	8	86,72
2	114	152	1139	197	92	851	224	42	89,37
3	130	573	262	80	76	430	1101	159	93,58
4	18	663	1310	89	188	340	53	150	84,55
5	58	725	1219	34	148	278	144	205	85,01
6	115	581	1267	55	91	422	96	184	85,62
7	153	917	825	74	53	86	538	165	86,33
8	200	979	131	149	6	24	1232	90	90,97
9	36	752	181	96	170	251	1182	143	92,81
10	126	693	755	38	80	310	608	201	88,89
11	124	745	217	78	82	258	1146	161	92,58
12	116	765	1276	10	90	238	87	229	84,30
13	67	899	696	9	147	188	687	199	87,88

Realizado por: Ericka Moreira G.

Si el usuario desea observar las soluciones que pasan a la siguiente iteración, se debe presionar el botón



Una vez presionado el botón, la aplicación muestra las 30 mejores soluciones encontradas en todas las etapas del

Si el usuario desea observar las soluciones que pasan a la siguiente iteración, se debe presionar el botón



Una vez presionado el botón, la aplicación muestra las 30 mejores soluciones encontradas en todas las etapas del Algoritmo Genético de la última iteración, el gráfico 2.7 presenta lo explicado.

**Gráfico 2.7**  
**Nueva Población Inicial**

Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS ▲
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	63	951	1336	97	143	52	27	142	81,95
2	122	989	1242	55	84	14	121	184	82,55
3	116	697	1245	200	90	306	118	39	84,14
4	120	761	1241	74	86	242	122	165	84,25
5	116	765	1276	10	90	238	87	229	84,30
6	18	663	1310	89	188	340	53	150	84,55
7	58	725	1219	34	148	278	144	205	85,01
8	118	701	1244	8	88	302	119	231	85,07
9	23	843	987	165	183	160	376	74	85,30
10	23	1002	922	5	183	1	441	234	85,35
11	146	535	1294	88	60	468	69	151	85,57
12	115	591	1287	55	81	133	88	184	85,62

Realizado por: Ericka Moreira G.

Con estas soluciones el usuario puede repetir cada una de las etapas del algoritmo.

### 2.4.2 Ejecución del Algoritmo Genético por número de iteraciones

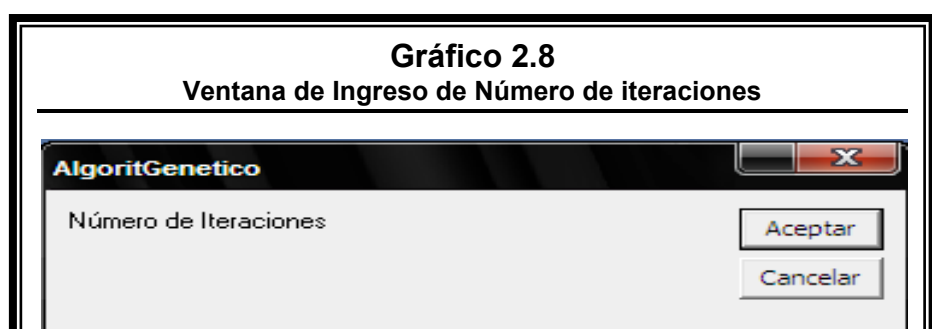
Esta forma de aplicar el algoritmo le permite al usuario establecer el número de iteraciones para las cuales el Algoritmo Genético será ejecutado, aquí el usuario no podrá observar con detalle cada etapa del algoritmo, pero podrá realizar una amplia búsqueda de las mejores soluciones que minimicen la función objetivo para un determinado ítem.

Para ejecutar el algoritmo en esta modalidad, el usuario debe escoger el ítem con el que desea trabajar y



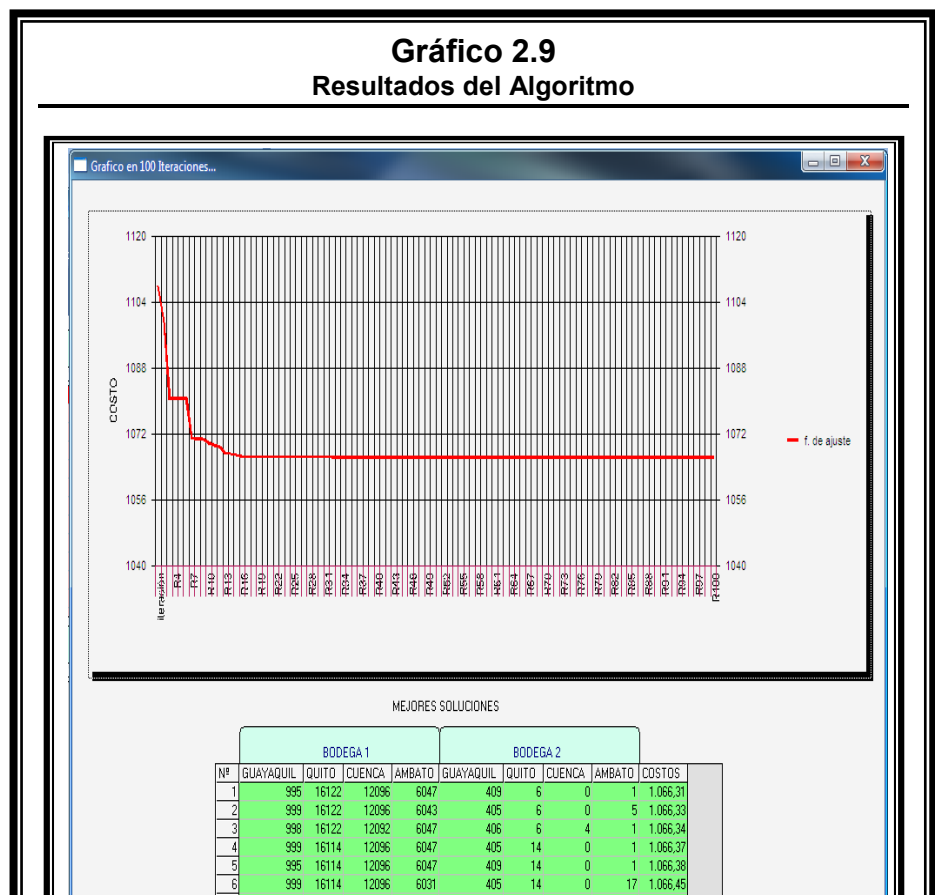
presionar el botón

Una vez presionado el botón indicado, aparecerá un cuadro de diálogo en donde el usuario debe ingresar la cantidad de iteraciones para las cuales el algoritmo trabajará. El gráfico 2.8 presenta el cuadro de dialogo.



Después de que la aplicación ejecutó el algoritmo por el número de iteraciones establecidas por el usuario, aparecerá un gráfico que muestra la evolución de la función objetivo en cada iteración y una tabla que presenta las mejores soluciones encontradas en las iteraciones establecidas.

El gráfico 2.9 ilustra lo anteriormente descrito.



# CAPÍTULO III

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Introducción

El presente capítulo presenta los resultados obtenidos después de ejecutar el algoritmo expuesto en el Capítulo II.

La aplicación fue ejecutada para 5 ítems que comercializa la empresa, la tabla 3.1 muestra los ítems.

PZ3569
PZ5073625
PZ5071325
PZ3619
PZ5071328

Fuente: Registro de la empresa

### 3.2 Resultados encontrados para el ítem PZ3569

Esta sección presenta tres experimentos para el ítem PZ3569, estos experimentos consisten en ejecutar la aplicación en 50 iteraciones, en 100 iteraciones y en la realización de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

#### 3.2.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones

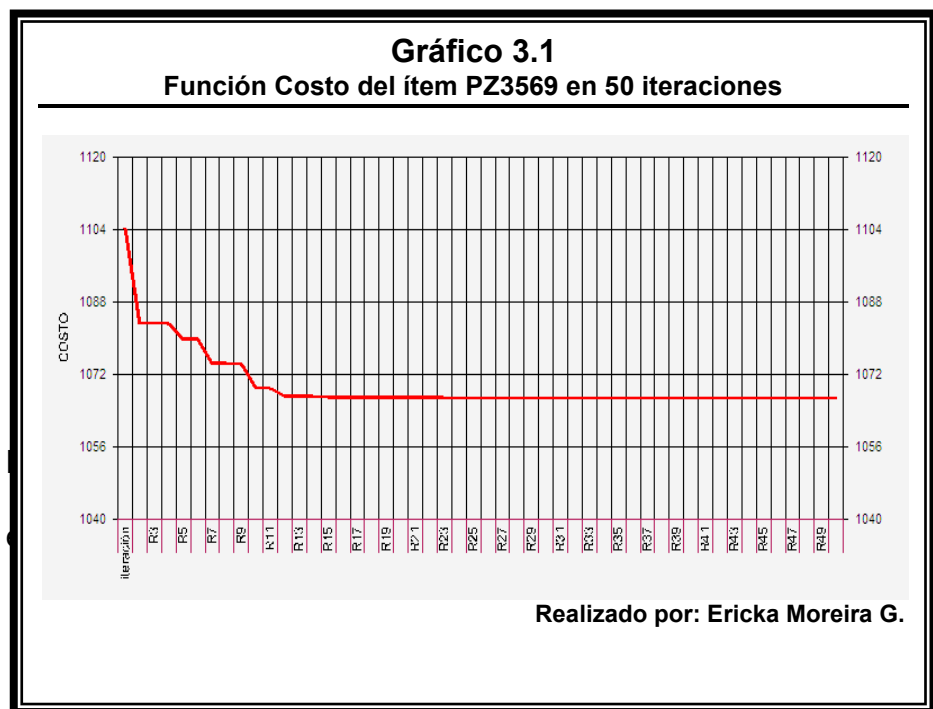
Para el ítem PZ3569 el Algoritmo Genético fue ejecutado en 50 iteraciones y los resultados obtenidos son presentados en el cuadro 3.1.

MEJORES SOLUCIONES									
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	1402	16127	12094	5881	2	1	2	167	1.066,71
2	1398	16127	12094	5881	6	1	2	167	1.066,72
3	1362	16125	12094	5881	42	3	2	167	1.066,77
4	1360	16127	12094	5873	44	1	2	175	1.066,80
5	1264	16127	12094	5881	140	1	2	167	1.066,85
6	1392	16125	12078	5881	12	3	18	167	1.066,87
7	1394	16125	12076	5881	10	3	20	167	1.066,88
8	1400	16125	12078	5873	4	3	18	175	1.066,90
9	1402	16121	12076	5881	2	7	20	167	1.066,91
10	1338	16125	12076	5881	66	3	20	167	1.066,94

Realizado por: Ericka Moreira G.

Después de 50 iteraciones, el algoritmo muestra que el mínimo costo de transportación es de \$ 1066,71 si son enviadas 1402 unidades desde la Bodega1 y 2 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Guayaquil; 16127 unidades desde la Bodega1 y 1 unidad desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 12094 unidades desde la Bodega1 y 2 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 5881 unidades desde la Bodega1 y 167 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.1 presenta el comportamiento de la función de costo a lo largo de las 50 iteraciones.





\$1066 y se mantiene alrededor de ese valor con una variación muy pequeña a lo largo del resto de las iteraciones.

### 3.2.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones

Para el ítem PZ3569 el Algoritmo Genético fue ejecutado en 100 iteraciones y los resultados obtenidos son presentados en el cuadro 3.2.

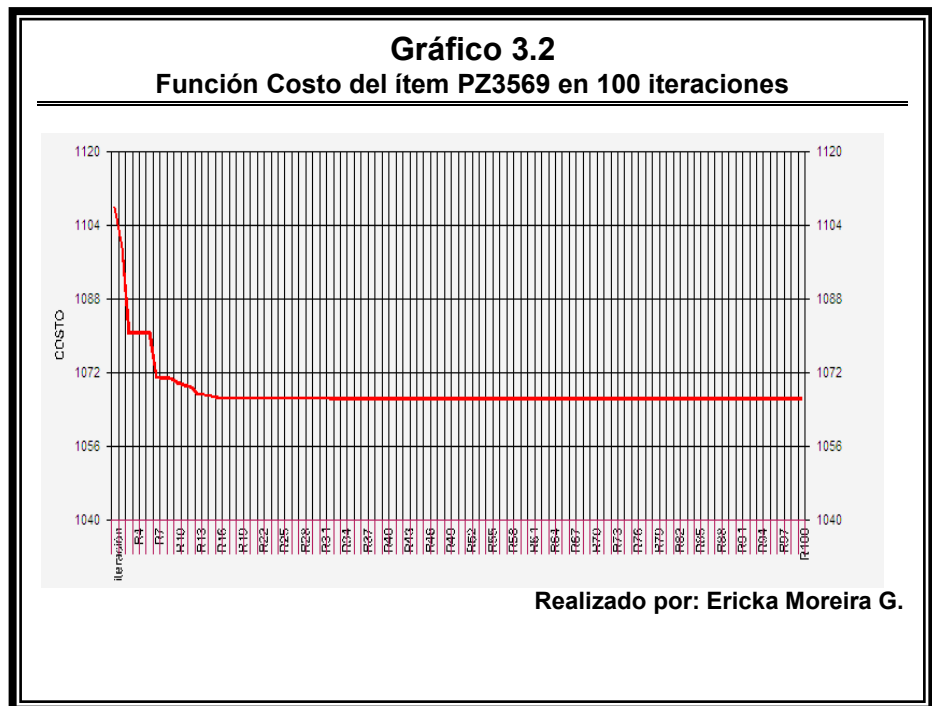
**Cuadro 3.2**  
**Mejores soluciones del ítem PZ3569 en 100 iteraciones**

MEJORES SOLUCIONES									
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	995	16122	12096	6047	409	6	0	1	1.066,31
2	999	16122	12096	6043	405	6	0	5	1.066,33
3	998	16122	12092	6047	406	6	4	1	1.066,34
4	999	16114	12096	6047	405	14	0	1	1.066,37
5	995	16114	12096	6047	409	14	0	1	1.066,38
6	999	16114	12096	6031	405	14	0	17	1.066,45
7	871	16114	12096	6031	533	14	0	17	1.066,58
8	867	16082	12072	6031	537	46	24	17	1.067,03
9	611	16114	12044	6031	793	14	52	17	1.067,26

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

a la sucursal de Guayaquil; 16122 unidades desde la Bodega1 y 6 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 12096 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 6047 unidades desde la Bodega1 y 1 unidad desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.2 presenta el comportamiento de la función de costo en 100 iteraciones.



es pequeña, si observamos el cuadro 3.2 podemos ver que los costos solo varían en centavos o a lo mucho en un dólar.

### 3.2.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

La tabla 3.2 presenta los resultados de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

**Tabla 3.2**  
**Mejores soluciones del ítem PZ3569 en 10 ensayos de 100 iteraciones**

	BODEGA 1				BODEGA 2				Costo
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	
1	1403	16126	12031	4095	1	2	65	1953	1076,15
2	1023	16127	12095	4094	381	1	1	1954	1076,02

**Tabla 3.2**  
**Mejores soluciones del ítem PZ3569 en 10 ensayos de 100 iteraciones**

	BODEGA 1				BODEGA 2				Costo
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	
1	1403	16126	12031	4095	1	2	65	1953	1076,15
2	1023	16127	12095	4094	381	1	1	1954	1076,02
3	1022	16127	12030	6014	382	1	66	34	1066,94
4	1373	16127	12095	6015	31	1	1	33	1066,06
5	1394	16127	11263	6011	10	1	833	37	1072,72
6	1018	16127	12095	5886	386	1	1	162	1067,06
7	1022	15871	11263	5887	382	257	833	161	1075,76
8	1404	16126	12031	5887	0	2	65	161	1067,19
9	1272	16126	12030	6015	132	2	66	33	1066,69
10	990	16125	12030	6029	414	3	66	19	1066,91

Realizado por: Ericka Moreira G.

De acuerdo a la tabla 3.2 podemos ver que el costo mínimo está alrededor de los \$1066, ya que en los 10 ensayos aparece en el 40% de las veces, también observamos que en relación a la política actual de la empresa la proporción de unidades destinadas al envío desde la Bodega 1 supera el 60% del total de las unidades demandadas, motivo por el cual, al calcular el costo de transportación para este ítem bajo la política actual de la empresa (\$1168,83) notamos un ahorro del 8,8%.

De acuerdo a la tabla 3.2 podemos ver que el costo mínimo está alrededor de los \$1066, ya que en los 10 ensayos aparece en el 40% de las veces, también observamos que en relación a la política actual de la empresa la proporción de unidades destinadas al envío desde la Bodega 1 supera el 60% del total de las unidades demandadas, motivo por el cual, al calcular el costo de transportación para este ítem bajo la política actual de la empresa (\$1168,83) notamos un ahorro del 8,8%.

### **3.3 Resultados encontrados para el ítem PZ5073625**

Esta sección presenta tres experimentos para el ítem PZ5073625, estos experimentos consisten en ejecutar la aplicación en 50 iteraciones, en 100 iteraciones y en la realización de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

### 3.3.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones

Para el ítem PZ5073625 el Algoritmo Genético fue ejecutado en 50 iteraciones y los resultados obtenidos son presentados en el cuadro 3.3.

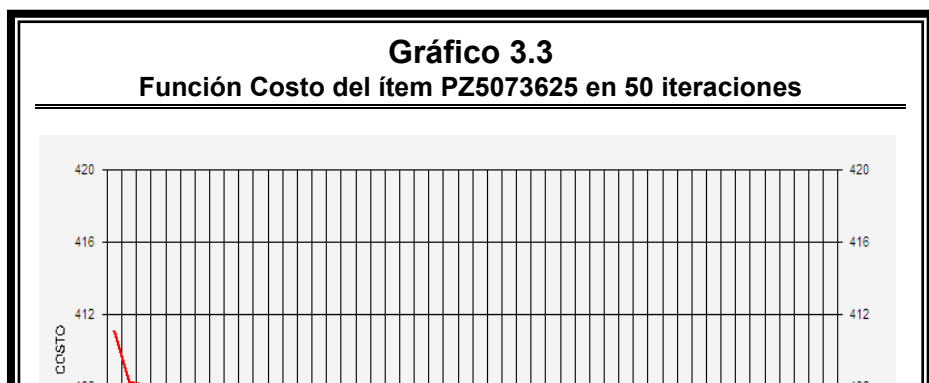
**Cuadro 3.3**  
**Mejores soluciones del ítem PZ5073625 en 50 iteraciones**

MEJORES SOLUCIONES										
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS	
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO		
1	6	5653	3043	17	686	174	1609	1810	403,97	
2	2	5655	2927	145	690	172	1725	1682	404,24	
3	4	5661	2919	147	688	166	1733	1680	404,25	
4	6	5655	2923	145	686	172	1729	1682	404,27	
5	2	4629	3943	153	690	1198	709	1674	404,28	
6	2	5659	2919	137	690	168	1733	1690	404,31	
7	2	5649	2915	145	690	178	1737	1682	404,39	
8	6	5649	2915	137	686	178	1737	1690	404,42	
9	94	4631	3943	61	598	1196	709	1766	404,63	

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

a la sucursal de Guayaquil; 5653 unidades desde la Bodega1 y 174 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 3043 unidades desde la Bodega1 y 1609 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 17 unidades desde la Bodega1 y 1810 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.3 presenta el comportamiento de la función de costo en 50 iteraciones.



En el gráfico 3.3 podemos notar que la función de costo empieza en un valor cercano a \$ 411, luego decrece hasta un poco más \$404 y permanece constante en ese valor, pero si tomamos en cuenta el cuadro 3.3 podemos ver que la función sigue variando a lo largo de las iteraciones, pero lo hace en centavos hasta llegar a un valor de \$ 403,97.

### 3.3.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones

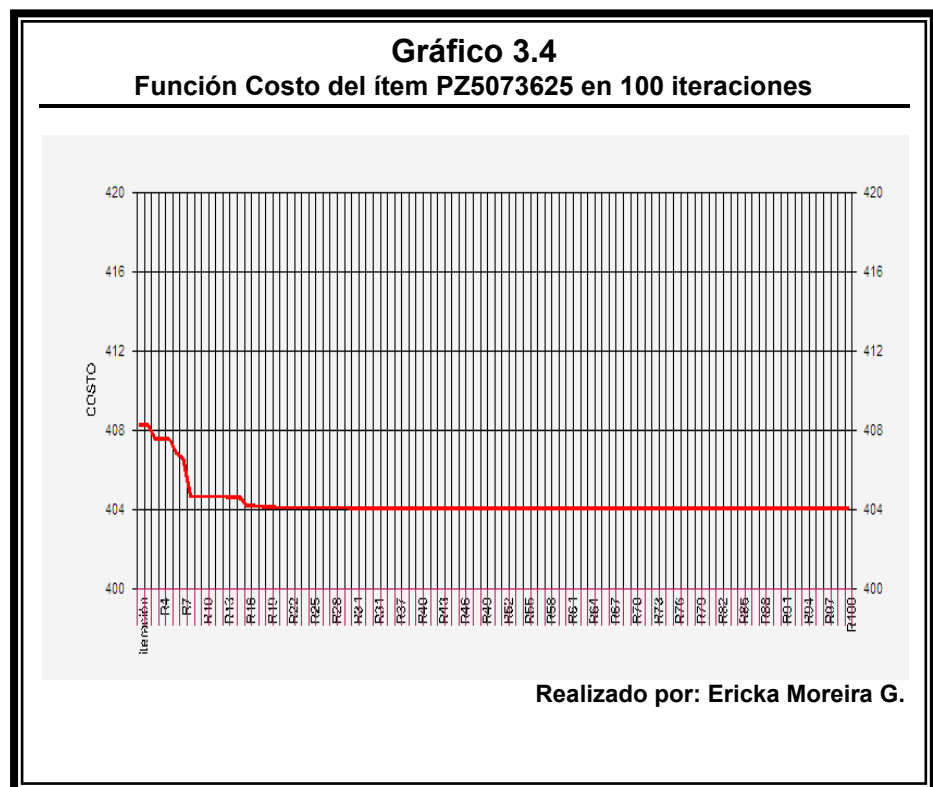
Para el ítem PZ5073625 el Algoritmo Genético fue ejecutado en 100 iteraciones y los resultados obtenidos son presentados en el cuadro 3.4.

<b>Cuadro 3.4</b>										
<b>Mejores soluciones del ítem PZ5073625 en 100 iteraciones</b>										
MEJORES SOLUCIONES										
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS	
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO		
1	8	5367	3294	61	684	460	1358	1766	404,02	
2	9	5365	3295	61	683	462	1357	1766	404,03	
3	16	5367	3291	57	676	460	1361	1770	404,06	
4	16	5366	3291	57	676	461	1361	1770	404,07	
5	16	5366	3287	61	676	461	1365	1766	404,08	
6	17	5367	3283	63	675	460	1369	1764	404,09	
7	17	5351	3295	63	675	476	1357	1764	404,12	
8	17	5366	3283	57	675	461	1369	1770	404,13	

Realizado por: Ericka Moreira G.

8 unidades desde la Bodega1 y 684 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Guayaquil; 5367 unidades desde la Bodega1 y 460 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 3294 unidades desde la Bodega1 y 1358 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 61 unidades desde la Bodega1 y 1766 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.4 presenta el comportamiento de la función de costo en 100 iteraciones.



a lo largo de las iteraciones, pero la variación es muy pequeña.

### 3.3.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

La tabla 3.3 presenta los resultados de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

	BODEGA 1				BODEGA 2				Costo
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	
1	0	5567	3007	157	692	260	1645	1670	404,25
2	0	5624	3070	36	692	203	1582	1791	403,89
3	6	5112	3583	27	686	715	1069	1800	403,92
4	1	5613	3069	48	691	214	1583	1779	403,93
5	0	5629	3070	32	692	198	1582	1795	403,87
6	30	4095	4479	127	662	1732	173	1700	404,37
7	4	4095	4599	31	688	1732	53	1796	403,91
8	0	5110	3583	36	692	717	1069	1791	403,9
9	1	4092	4607	31	691	1735	45	1796	403,88
10	0	5119	3551	61	692	708	1101	1766	403,96

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

este valor aparece en el 80% de las veces, en términos generales podemos decir que las soluciones que generan el mínimo costo de transportación son aquellas que asignan la mayor cantidad de unidades como envío para Quito y Cuenca desde la Bodega 1, y para Guayaquil y Ambato desde la Bodega 2.

En relación al costo de transportación obtenido bajo la política actual de la empresa (\$417,43), el ahorro estaría representado en un 3,2% debido a que la proporción de unidades destinadas



para el envío desde las bodegas son similares a la política actual de la empresa.

### 3.4 Resultados encontrados para el ítem PZ5071325

Esta sección presenta tres experimentos para el ítem PZ5071325, estos experimentos consisten en ejecutar el algoritmo con 50 iteraciones, con 100 iteraciones y consiste en la realización de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

#### 3.4.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones.

El Algoritmo Genético fue aplicado con 50 iteraciones para el ítem PZ5071325 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 3.5.

**Cuadro 3.5**  
**Mejores soluciones del ítem PZ5071325 en 50 iteraciones**

MEJORES SOLUCIONES									
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	97	933	24	122	29	65	128	4	38,57
2	91	978	119	119	35	20	33	7	37,47
3	107	986	117	118	19	12	35	8	37,41
4	121	990	113	118	5	8	39	8	37,40
5	123	990	117	119	3	8	35	7	37,36
6	123	991	113	126	3	7	39	0	37,35
7	123	990	119	126	3	8	33	0	37,31
8	123	991	125	119	3	7	27	7	37,29
9	123	991	125	126	3	7	27	0	37,25
10	123	990	127	126	3	8	25	0	37,24

Realizado por: Ericka Moreira G.

Guayaquil; 990 unidades desde la Bodega1 y 8 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 127 unidades desde la Bodega1 y 25 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 126 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.5 presenta el comportamiento de la función de costo en 50 iteraciones.



si observamos el cuadro 3.5 podemos ver que la función sigue variando a lo largo de las iteraciones, pero la variación es muy pequeña.

### 3.4.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones.

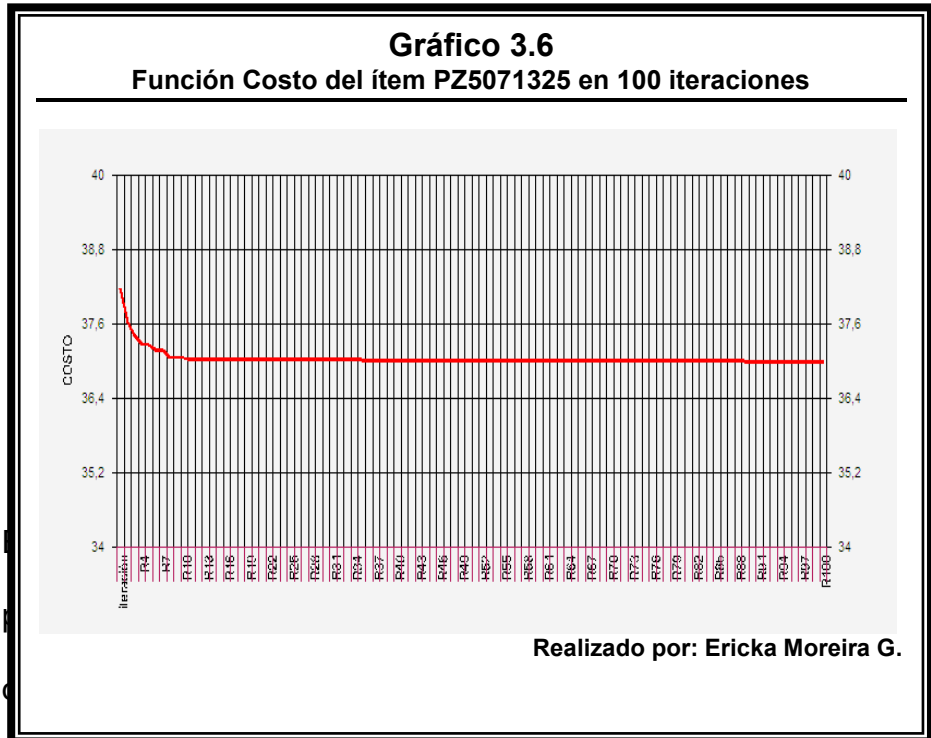
El Algoritmo Genético fue aplicado con 100 iteraciones para el ítem PZ5071325 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 3.6.

MEJORES SOLUCIONES										
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS	
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO		
1	101	951	142	89	25	47	10	37	37,64	
2	72	953	148	125	54	45	4	1	37,43	
3	40	998	130	120	86	0	22	6	37,27	
4	105	998	130	124	21	0	22	2	37,18	
5	105	996	147	124	21	2	5	2	37,06	
6	104	997	150	125	22	1	2	1	37,03	
7	108	997	150	126	18	1	2	0	37,02	
8	104	998	150	126	22	0	2	0	37,01	
9	124	998	150	126	2	0	2	0	36,99	

Realizado por: Ericka Moreira G.

Bodega2 a la sucursal de Guayaquil; 998 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 150 unidades desde la Bodega1 y 2 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 126 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.6 presenta la evolución de la función de costo en 100 iteraciones.



costos es pequeña, si consideramos el cuadro 3.6 podemos ver que los costos solo varían en centavos.

### 3.4.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

En la tabla 3.4 presenta los resultados de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

**Tabla 3.4**  
**Mejores soluciones del ítem PZ5071325 en 10 ensayos de 100 iteraciones**

	BODEGA 1				BODEGA 2				Costo
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	
1	126	959	151	126	0	39	1	0	37,3
2	121	991	127	125	5	7	25	1	37,24
3	118	998	151	124	8	0	1	2	37
4	123	997	151	125	3	1	1	1	37

**Tabla 3.4**  
**Mejores soluciones del ítem PZ5071325 en 10 ensayos de 100 iteraciones**

	BODEGA 1				BODEGA 2				Costo
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	
1	126	959	151	126	0	39	1	0	37,3
2	121	991	127	125	5	7	25	1	37,24
3	118	998	151	124	8	0	1	2	37
4	123	997	151	125	3	1	1	1	37
5	124	998	127	126	2	0	25	0	37,18
6	123	990	127	126	3	8	25	0	37,24
7	124	958	126	124	2	40	26	2	37,52
8	123	991	151	126	3	7	1	0	37,04
9	121	959	106	89	5	39	46	37	37,85
10	119	991	152	126	7	7	0	0	37,04

Realizado por: Ericka Moreira G.

En referencia a la tabla 3.4 podemos notar que el costo mínimo está alrededor de los \$37, ya que en los 10 ensayos aparece en la mayoría de las veces, también observamos que en relación a la política actual de la empresa la proporción de unidades destinadas al envío desde la Bodega 1 es mucho mayor al 60% del total de las unidades demandadas, motivo por el cual, al calcular el costo de transportación para este ítem bajo la política actual de la empresa (\$40,96) obtenemos un ahorro del 9,7%.

En referencia a la tabla 3.4 podemos notar que el costo mínimo está alrededor de los \$37, ya que en los 10 ensayos aparece en la mayoría de las veces, también observamos que en relación a la política actual de la empresa la proporción de unidades destinadas al envío desde la Bodega 1 es mucho mayor al 60% del total de las unidades demandadas, motivo por el cual, al calcular el costo de transportación para este ítem bajo la política actual de la empresa (\$40,96) obtenemos un ahorro del 9,7%.

### **3.5 Resultados encontrados para el ítem PZ3619**

Esta sección presenta tres experimentos para el ítem PZ3619, estos experimentos consisten en ejecutar el algoritmo con 50

iteraciones, con 100 iteraciones y consiste en la realización de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

### 3.5.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones

El Algoritmo Genético fue aplicado con 50 iteraciones para el ítem PZ3619 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 3.7.

**Cuadro 3.7**  
**Mejores soluciones del ítem PZ3619 en 50 iteraciones**

MEJORES SOLUCIONES									
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	174	1003	1359	239	32	0	4	0	80,53
2	174	1002	1358	239	32	1	5	0	80,54
3	174	1003	1356	239	32	0	7	0	80,55
4	170	1001	1359	236	36	2	4	3	80,56
5	174	1003	1356	236	32	0	7	3	80,57
6	174	1001	1356	236	32	2	7	3	80,58

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

Después de 50 iteraciones, el mínimo costo de transporte obtenido es de \$ 80,53 si son distribuidas 174 unidades desde la Bodega1 y 32 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Guayaquil; 1003 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 1359 unidades desde la Bodega1 y 4 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de

Cuenca; 239 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.7 presenta la evolución de la función de costo a lo largo de las 50 iteraciones.



\$ 60,5 y perdura alrededor de ese valor a lo largo del resto de las iteraciones.

### 3.5.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones

El Algoritmo Genético fue aplicado con 100 iteraciones para el ítem PZ3619 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 3.8.



**Cuadro 3.8**  
**Mejores soluciones del ítem PZ3619 en 100 iteraciones**

MEJORES SOLUCIONES

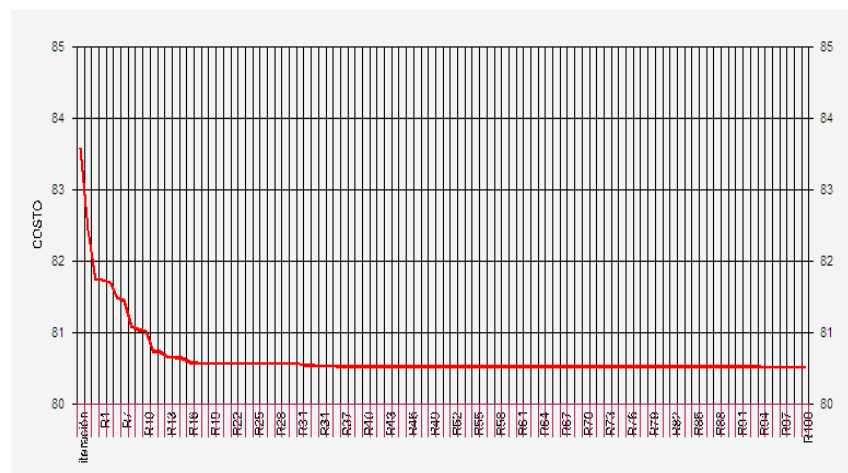
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	188	1003	1359	239	18	0	4	0	80,51
2	190	1003	1358	238	16	0	5	1	80,52
3	188	1002	1358	239	18	1	5	0	80,53
4	172	1003	1358	238	34	0	5	1	80,54
5	188	1002	1354	239	18	1	9	0	80,56
6	180	1002	1354	239	26	1	9	0	80,57
7	156	1003	1353	239	50	0	10	0	80,59
8	144	1000	1352	239	62	3	11	0	80,64
9	176	1000	1352	231	30	3	11	8	80,65

Realizado por: Ericka Moreira G.

Bodegaz a la sucursal de Guayaquil, 1003 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 1359 unidades desde la Bodega1 y 4 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 239 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.8 presenta la evolución de la función de costo a lo largo de las 100 iteraciones.

**Gráfico 3.8**  
**Función Costo del ítem PZ3619 en 100 iteraciones**



Realizado por: Ericka Moreira G.

Del gráfico 3.8 podemos observar que la función de costo empieza en un valor de \$83,5, luego decrece hasta alcanzar un valor de \$ 80,5 y permanece alrededor de ese valor con una variación muy pequeña a lo largo del resto de las iteraciones.

### 3.5.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

La tabla 3.5 presenta los resultados de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

	BODEGA 1				BODEGA 2				Costo
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	
1	186	1003	1343	222	20	0	20	17	80,73
2	202	1003	1363	223	4	0	0	16	80,55
3	125	991	1279	239	81	12	84	0	81,31
4	188	991	1363	239	18	12	0	0	80,58
5	190	991	1279	239	16	12	84	0	81,25
6	181	1003	1343	238	25	0	20	1	80,65
7	205	999	1340	239	1	4	23	0	80,68
8	185	1002	1359	239	21	1	4	0	80,52
9	178	1000	1362	235	28	3	1	4	80,54
10	124	990	1343	239	82	13	20	0	80,81

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

calcular el costo de transportación para este ítem bajo la política actual de la empresa (\$88,59) obtenemos un ahorro del 9,1%.

### 3.6 Resultados encontrados para el ítem PZ5071328

Esta sección presenta tres experimentos para el ítem PZ5071328, estos experimentos consisten en ejecutar el algoritmo con 50 iteraciones, con 100 iteraciones y consiste en la realización de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

#### 3.6.1 Resultados para un experimento de 50 iteraciones

El Algoritmo Genético fue aplicado con 50 iteraciones para el ítem PZ5071328 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 3.9.

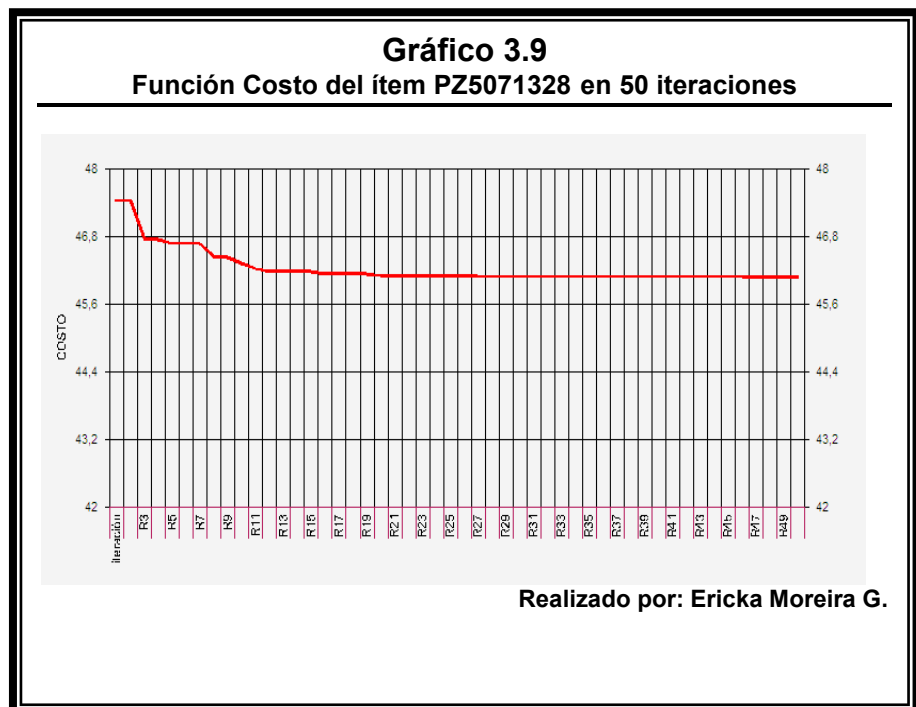
**Cuadro 3.9**  
**Mejores soluciones del ítem PZ5071328 en 50 iteraciones**

MEJORES SOLUCIONES									
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	250	863	383	121	25	1	38	85	46,08
2	234	862	381	127	41	2	40	79	46,09
3	234	861	381	127	41	3	40	79	46,10
4	226	861	381	125	49	3	40	81	46,11
5	234	857	381	125	41	7	40	81	46,14
6	226	861	377	125	49	3	44	81	46,15
7	227	857	377	125	48	7	44	81	46,18
8	226	856	376	125	49	8	45	81	46,19

Realizado por: Ericka Moreira G.

Después de 50 iteraciones, el mínimo costo de transportación obtenido es de \$ 46,08 si son enviados 250 unidades desde la Bodega1 y 25 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Guayaquil; 863 unidades desde la Bodega1 y 1 unidad desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 383 unidades desde la Bodega1 y 38 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Cuenca; 121 unidades desde la Bodega1 y 85 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.9 presenta el comportamiento de la función de costo a lo largo de las 50 iteraciones.



El gráfico 3.9 muestra que la función de costo decrece en un principio, pero luego se mantiene constante a lo largo del resto de las iteraciones, esto se debe a que la variación en los costos es pequeña, si se observa el cuadro de las mejores soluciones se puede ver que los costos solo varían en centavos.

### 3.6.2 Resultados para un experimento de 100 iteraciones

El Algoritmo Genético fue aplicado con 100 iteraciones para el ítem PZ5071328 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 3.10.

**Cuadro 3.10**  
**Mejores soluciones del ítem PZ5071328 en 100 iteraciones**

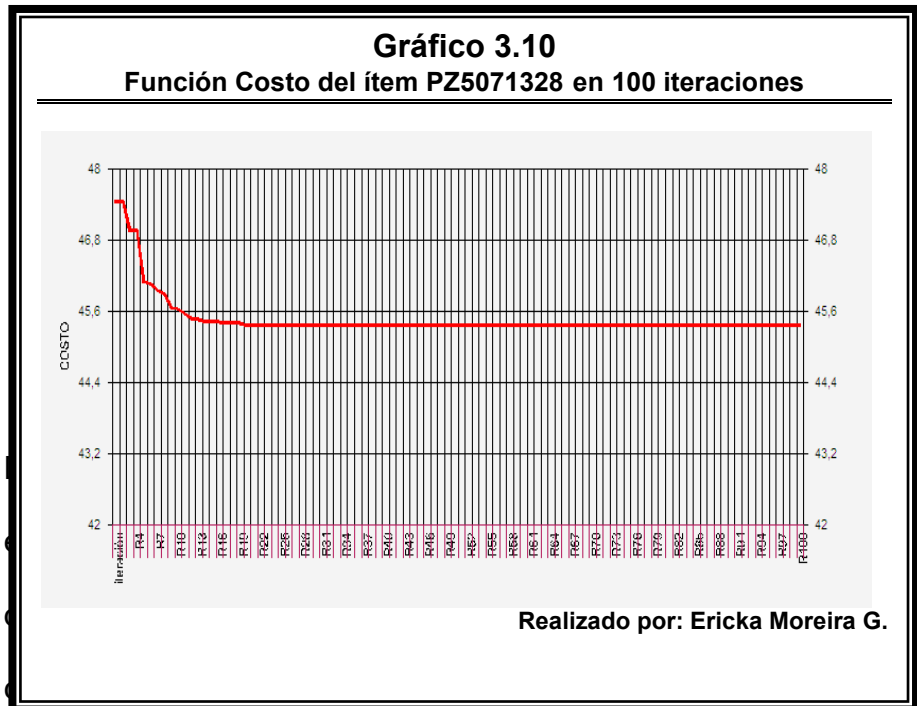
MEJORES SOLUCIONES									
Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	226	864	420	206	49	0	1	0	45,37
2	226	864	416	206	49	0	5	0	45,40
3	164	864	420	206	111	0	1	0	45,43
4	162	864	416	206	113	0	5	0	45,47
5	161	864	408	198	114	0	13	8	45,57
6	98	864	401	206	177	0	20	0	45,65

**Realizado por: Ericka Moreira G.**

Bodega2 a la sucursal de Guayaquil; 864 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Quito; 420 unidades desde la Bodega1 y 1 unidad desde la Bodega2 a

la sucursal de Cuenca; 206 unidades desde la Bodega1 y 0 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

El gráfico 3.10 presenta el comportamiento de la función de costo a lo largo de las 100 iteraciones.



que los costos solo varían en centavos.

### 3.6.3 Resultados para un experimento de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

En la tabla 3.6 presenta los resultados de 10 ensayos de 100 iteraciones cada uno.

**Tabla 3.6**  
**Mejores soluciones del ítem PZ5071328 en 10 ensayos de 100 iteraciones**

	BODEGA 1				BODEGA 2				Costo
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato	
1	275	863	415	206	0	1	6	0	45,37
2	254	863	421	190	21	1	0	16	45,42
3	198	863	418	191	77	1	3	15	45,50
4	270	767	415	206	5	97	6	0	46,14
5	250	831	419	205	25	33	2	1	45,63
6	253	863	415	206	22	1	6	0	45,39
7	273	767	421	206	2	97	0	0	46,09
8	254	863	415	206	21	1	6	0	45,39
9	253	863	383	190	22	1	38	16	45,73
10	246	863	421	127	29	1	0	79	45,75

Realizado por: Ericka Moreira G.

aproximadamente el 90% del total de las unidades demandadas, motivo por el cual, al calcular el costo de transportación para este ítem bajo la política actual de la empresa (\$49,95) obtenemos un ahorro del 9,2%.

### 3.7 Análisis de los resultados encontrados

Para determinar que tan beneficioso es el uso del Algoritmo Genético en la empresa, la tabla 3.7 muestra el promedio de los

costos de transportación incurridos por la empresa en los últimos seis meses y el costo mínimo observado en los resultados del Algoritmo Genético.

Ítem	Costo Promedio Política actual	Costo Algoritmo Genético
<b>PZ3569</b>	1509,36	1066,06
<b>PZ5073625</b>	419,64	403,87
<b>PZ5071325</b>	47,19	37
<b>PZ3619</b>	88,51	80,52
<b>PZ5071328</b>	49,26	45,37

Fuente: Datos de la empresa

E

- Para el ítem PZ3569 observamos un ahorro en el costo de transportación de \$443,30 que representa una disminución del 29,4% en relación al costo promedio. En este caso el ahorro es muy significativo debido a que la política actual de la empresa es enviar en una proporción de 60-40 mientras que el algoritmo sugiere enviar una proporción mayor al 60% de las unidades demandadas desde la bodega 1, de acuerdo a las mejores soluciones obtenidas para este ítem.
- Para el ítem PZ5073625 el costo de transportación disminuye en \$15,77, notamos que el ahorro en este ítem es el menos significativo en relación a los otros ítems, ya que



solo representa el 3,8% del costo promedio. Si observamos las mejores soluciones generadas por el algoritmo genético para este ítem podemos notar que la proporción de las unidades asignada a las bodegas no difiere mucho de la política actual de la empresa.

- Para el ítem PZ5071325 notamos un ahorro en el costo de transportación del 21,6% en relación al costo promedio, este ahorro es uno de los más importantes después del ahorro del PZ3569, y es porque en este ítem ocurre la misma situación del PZ3569. En comparación con la política actual de la empresa, el algoritmo sugiere enviar desde la Bodega 1 más del 60% del total de las unidades demandadas por las sucursales.
- En los ítems PZ3619 y PZ5071328 observamos que el costo de transportación disminuye en un 9% y 8% respectivamente, en referencia al costo promedio obtenido bajo la política actual de la empresa. El ahorro en estos ítems no es tan significativo como en los anteriores, pero es aceptable considerando que el costo promedio fue obtenido a partir de envíos realizados por la empresa en diferentes períodos de tiempo lo que implica diferentes demandas.

El algoritmo ha sido ejecutado en 5 ítems de la empresa para la realización del presente proyecto, pero la empresa en cuestión comercializa alrededor de 3000 ítems. Para tener una idea del ahorro total en costo de transportación de la empresa, podemos calcular un promedio del ahorro obtenido en los ítems que han sido objeto de este estudio.

Obteniendo el promedio mencionado, podemos decir en términos generales que la empresa obtendría un ahorro del 14% en los costos de transportación si su política de envío es la que sugiere el Algoritmo Genético.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones presentadas a continuación están basadas en los resultados presentados en el Capítulo tres del presente proyecto.

1. Para todos los ítems que se ha aplicado el Algoritmo Genético la convergencia al costo mínimo de transportación ha sido casi inmediata, es decir se dio en las primeras iteraciones.
2. El comportamiento de la función de costo es la misma para todos los ítems, esta decrece en las primeras iteraciones y luego se mantiene constante alrededor de un valor, con una variación pequeña, en el resto de todas las iteraciones.
3. Para todos los ítems, el costo de transportación disminuye a medida que se aumentan el número de iteraciones en la ejecución del algoritmo.
4. En la mayoría de los ítems, las soluciones que generan los mínimos costos son aquellas en donde la mayor cantidad de unidades son distribuidas desde la Bodega1.

5. Para los ítems PZ3569 y PZ3619, la minimización de la función de costos es más significativa que en el resto de los ítems.

## **RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones presentadas a continuación están basadas en los resultados presentados en el Capítulo tres del presente proyecto y se las hace con el fin de que las decisiones tomadas por la empresa sean las mejores.

1. Se recomienda realizar varios ensayos del algoritmo para llegar a una solución más aproximada al óptimo, ya que el algoritmo puede generar valores no óptimos en algunos ensayos.
2. Se recomienda en seis meses comparar los costos de transportación después de la implementación del Algoritmo Genético con los costos transportación obtenidos antes de la implementación, para de esta forma determinar la factibilidad del algoritmo.

### Anexo 1

#### Costos de transportación en dólares desde la Bodega 1

CodItem	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
PZ3569	0,001	0,027	0,032	0,04
PZ5073625	0,001	0,027	0,032	0,04
PZ5071325	0,001	0,027	0,032	0,04
PZ3619	0,001	0,027	0,032	0,04
PZ5071328	0,001	0,027	0,032	0,04

Fuente: Registros de la empresa

### Anexo 2

#### Costos de transportación en dólares desde la Bodega 2

CodItem	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
PZ3569	0,002	0,035	0,040	0,045
PZ5073625	0,002	0,035	0,040	0,045
PZ5071325	0,002	0,035	0,040	0,045
PZ3619	0,002	0,035	0,040	0,045
PZ5071328	0,002	0,035	0,040	0,045

Fuente: Registros de la empresa

### Anexo 3

#### Unidades en Stock de las Bodegas 1 y 2

CodItem	StockBod1	StockBod2
PZ3569	80000	40000
PZ5073625	8731	5821
PZ5071325	1779	1186
PZ3619	3189	2126
PZ5071328	5824	3883

Fuente: Registros de la empresa

**Anexo 4**  
**Datos de la sucursal Guayaquil**

<b>CodItem</b>	<b>Demanda Estimada</b>	<b>CapacidadBod</b>
PZ3569	1404	20160
PZ5073625	692	4500
PZ5071325	126	210
PZ3619	206	1008
PZ5071328	275	1008

Fuente: Registros de la empresa

**Anexo 5**  
**Datos de la sucursal Quito**

<b>CodItem</b>	<b>Demanda Estimada</b>	<b>CapacidadBod</b>
PZ3569	18130	16128
PZ5073625	5827	13500
PZ5071325	998	1260
PZ3619	1003	3024
PZ5071328	864	3024

Fuente: Registros de la empresa

**Anexo 6**  
**Datos de la sucursal Cuenca**

<b>CodItem</b>	<b>Demanda Estimada</b>	<b>CapacidadBod</b>
PZ3569	19437	12096
PZ5073625	4652	9000
PZ5071325	152	252
PZ3619	1363	2016
PZ5071328	421	2016

Fuente: Registros de la empresa

**Anexo 7**  
**Datos de la sucursal Ambato**

---

<b>CodItem</b>	<b>Demanda Estimada</b>	<b>CapacidadBod</b>
PZ3569	6652	6048
PZ5073625	1827	2250
PZ5071325	263	126
PZ3619	239	1008
PZ5071328	206	1008

**Fuente: Registros de la empresa**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Algoritmos genéticos y computación evolutiva.** Adam Marczyk.  
2004. Disponible: <http://the-geek.org/docs/algen/algen.html>
- **Algoritmos Genéticos.**  
Disponible:  
<http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/temageneticos.pdf>
- **Algoritmos Genéticos.**  
Disponible: [http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo\\_gen%C3%A9tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico)
- **Algoritmos Genéticos y sus Aplicaciones.** Carlos A. Coello Coello.  
Disponible:  
<http://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello/revistas/genetico.pdf.gz>
- **Sistema de Planeación Avanzado (APS) Para Determinar la Ubicación óptima de Capacitores en una Red de Distribución de Energía Eléctrica Utilizando Algoritmos Genéticos,**  
Trabajo de Graduación, Christian Chávez, Henry Serrano,  
Milton Ordóñez, ESPOL 2006.



- **Algoritmos Genéticos.**

Disponible: <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html>

- **Algoritmos Genéticos.** William Machán Morente

Disponible: <http://www.youtube.com/watch?v=qRehZZckG0I>

- **Programación Lineal, Problemas de transporte y asignación.**

Disponible:

<http://ws01.ula.ve/ingenieria/gbriceno/IOB2004/problemas%20transporte%20y%20asignacion.pdf>

- **Optimización de Enteros y Modelos de Redes.**

Profesor Hossein Arsham

Disponible:

<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SpanishIN.htm#rzeroonelp>

- **Introducción a los Algoritmos Genéticos.**

Marcos Gestal Pose, Depto. Tecnologías de la Información y

Comunicaciones, Universidade da Coruña.

Disponible: <http://sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AAGGtutorial/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>