

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

Ericka Moreira, Ing. Fabricio Echeverría
Instituto de Ciencias Matemáticas
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
emoreira@espol.edu.ec, pechever@espol.edu.ec

Resumen

El presente trabajo muestra la aplicación de los algoritmos genéticos a un problema de optimización de distribución de mercadería. El problema de optimización y la teoría de los algoritmos genéticos son explicados brevemente y son la base para la resolución del problema de distribución de mercadería a las distintas sucursales de la empresa desde sus bodegas. La resolución de este problema se apoya en el uso de un software que permite observar paso a paso el proceso de optimización utilizando algoritmos genéticos. Los conceptos expuestos al inicio de este trabajo se ven ilustrados con el uso del software, el cual muestra resultados gráficos y numéricos. En general, los lectores interesados en el tema de los algoritmos genéticos podrán encontrar en este trabajo una útil introducción para estudios posteriores.

Palabras Claves: Algoritmos genéticos, distribución, optimización.

Abstract

This project shows the application of genetic algorithms to an optimization problem of distribution of products. The optimization problem and the theory of genetic algorithms are exposed briefly and they are the base in the resolution of problem of distribution of products to the distinct branches of the company from its storages. The resolution to this problem is support in the use of software that permits to watch step by step the process of optimization using genetic algorithms. The concepts exposed at the beginning of this project can be better learnt with the use of software that includes both graphical and numerical results. Generally speaking, readers who are interested in this topic can find that this work can be a useful beginning of other studies.

Key words: Genetic Algorithms, distribution, optimization.

1. Introducción

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.

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.

Bodega	Sucursal Guayaquil	Sucursal Quito	Sucursal Cuenca	Sucursal Ambato
1	\$ 0.001	\$ 0.027	\$ 0.032	\$ 0.040
2	\$ 0.002	\$ 0.035	\$ 0.040	\$ 0.045

La empresa está interesada en determinar cuántas unidades de un determinado ítem 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.

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 Bodega 1 y el restante de la Bodega 2.

3. Modelo del problema

El problema a resolver es determinar las cantidades que la empresa debe enviar de un determinado ítem 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 2 presenta lo expuesto.

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

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_i : 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:

Función Objetivo:

$$\text{Min Costo} = 0.001(X_{11}) + 0.027(X_{12}) + 0.032(X_{13}) + 0.04(X_{14}) + 0.002(D_1 - X_{11}) + 0.035(D_2 - X_{12}) + 0.04(D_3 - X_{13}) + 0.045(D_4 - X_{14})$$

Sujeto a:

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

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

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

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

Variables de decisión:

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

4. 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.

4.1. 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 problema en cuestión.

La figura 1 presenta el diagrama de los Algoritmos Genéticos:

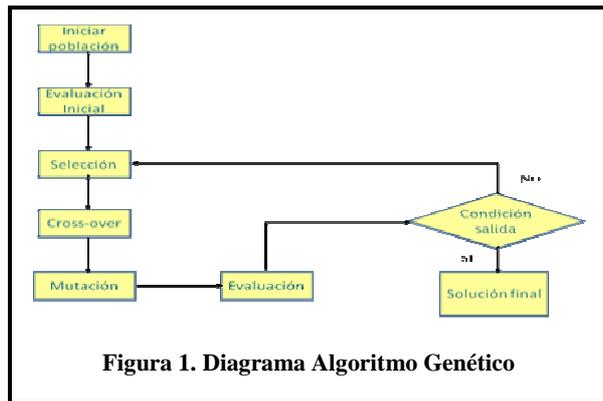


Figura 1. Diagrama Algoritmo Genético

4.1.1. 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.

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.

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.

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.

De esta forma, la tabla 3 muestra la población inicial para un ítem comercializado por la empresa:

Tabla 3. Población Inicial Ítem PZ3569

Nº	BODEGA 1				BODEGA 2				COSTOS
	GUAYAGUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	GUAYAGUIL	QUITO	CUENCA	AMBATO	
1	391	9894	7010	1752	413	7524	5086	4296	1.188,83
2	425	12495	171	4601	979	3633	11925	1447	1.198,53
3	1144	11436	950	2505	260	4632	11546	3543	1.213,73
4	1211	12749	4519	5818	193	3379	7377	230	1.154,84
5	1224	598	11488	2202	180	15220	510	3846	1.211,90
6	737	12372	649	3584	667	3756	11449	2464	1.200,47
7	659	4810	7533	3918	745	11318	4563	2130	1.204,30
8	371	4596	10937	4897	1033	11622	2059	1901	1.181,64
9	828	15904	11019	1373	576	224	1077	4675	1.100,21
10	976	15906	2951	3229	428	322	9145	2819	1.156,11
11	150	16119	8179	96	1254	9	3917	5962	1.129,27
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	391	11698	11888	9481	391	391	391	391	1.206,88
15	391	2588	1970	3911	1013	13640	10126	2137	1.266,88
16	576	6658	8621	1974	828	9470	3475	4074	1.190,61
17	989	3348	2251	3529	515	12780	3845	2519	1.259,96
18	114	7387	10956	1581	1280	8741	1140	4467	1.168,53
19	1103	6112	3504	9560	301	10016	8992	488	1.217,46
20	887	10123	5183	593	517	6005	6313	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	5981	3247	1.193,76
24	497	6530	3263	337	907	9598	8833	5711	1.242,76
25	343	15791	739	2361	1061	337	11358	3697	1.179,91
26	513	7882	1884	2870	891	8226	10212	3178	1.233,14
27	362	10141	6957	946	1042	5987	9539	5102	1.184,61
28	1310	10956	6122	2362	86	5572	5974	3686	1.176,74
29	152	12644	5560	4559	1262	3484	6536	1489	1.154,71
30	837	14230	228	1273	567	2638	11868	4775	1.236,82

4.1.2. 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. 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 4 muestra el proceso de selección para el ítem PZ3569.

Tabla 4. Selección 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

4.1.3. Cross-Over. El Cross-Over o comúnmente llamado cruzamiento tiene como objetivo la reproducción de las soluciones resultantes de la Selección. El proceso que el algoritmo realiza es crear 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.

Las tablas 5 y 6 ilustran el proceso que el algoritmo realiza en el método de las máscaras de cruce.

Tabla 5. Cross – Over ítem PZ3569, parte a

ÍTEM PZ3569	BODEGA 1			
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
Solución 11 (Madre)	00110100111	1110111000011	1011001001100	1001110111001
Solución 5 (Padre)	01111011111	10000110011100	10001101101100	0011011011000
0 = Madre, 1 = Padre				
ÍTEM PZ3569	BODEGA 1			
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
Máscara de Cruce	00101011010	10000011100111	11101000101100	1001100111010
Solución Hijo 1	00111111111	11101110000100	10001100111110	0001010011001

Tabla 6. Cross – Over ítem PZ3569, parte b

ÍTEM PZ3569	BODEGA 1			
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
Máscara de Cruce	10111100010	00111011011011	00011001011110	0111100100001
Solución Hijo 2	01110111111	10101111000111	10000100111010	0001111111001

4.1.4 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 1-1, siendo 1 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.

La tabla 7 expone el proceso de mutación para el ítem PZ3569.

Tabla 7. Mutación ítem PZ3569

ÍTEM PZ3569	BODEGA 1			
	Guayaquil	Quito	Cuenca	Ambato
Solución Hijo 1	00111111111	11101110000100	10001100111110	0001010011001
Solución Mutada	00111111110	11101110010100	10001100110110	0001011011001

4.1.5. 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.

4.2. 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.

La figura 2 permite visualizar la ventana principal de la aplicación.

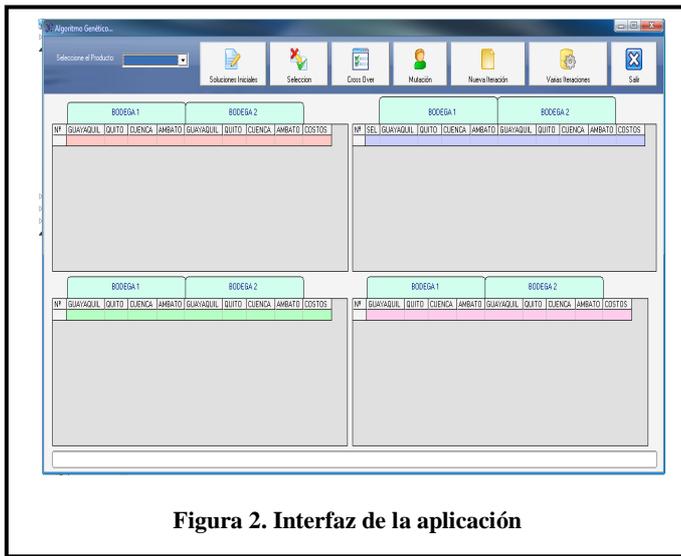


Figura 2. Interfaz de la aplicación

5. Resultados

La aplicación fue ejecutada para 5 ítems que comercializa la empresa, la tabla 8 muestra los ítems.

PZ3569
PZ6073625
PZ5071325
PZ3619
PZ5071328

5.1. Resultados encontrados para el ítem PZ3569

Para el ítem PZ3569 el Algoritmo Genético fue ejecutado en 100 iteraciones y los resultados obtenidos son presentados en la tabla 9.

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

Después de 100 iteraciones, podemos observar que el mínimo costo de transportación es de \$ 1066,31 si son enviadas 995 unidades desde la Bodega1 y 409 unidades desde la Bodega2 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 unidades desde la Bodega2 a la sucursal de Ambato.

La figura 3 presenta el comportamiento de la función de costo en 100 iteraciones.

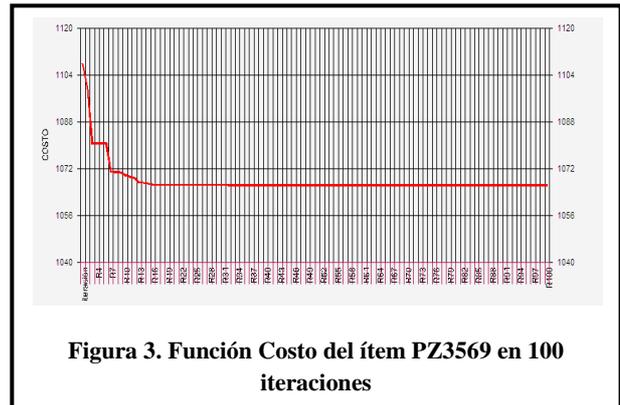


Figura 3. Función Costo del ítem PZ3569 en 100 iteraciones

La figura 3 muestra que la función de costo decrece en un principio, pero luego permanece constante a lo largo del resto de las iteraciones, esto se debe a que la variación en los costos es pequeña, si observamos la tabla 9 podemos ver que los costos solo varían en centavos o a lo mucho en un dólar.

5.2. Resultados encontrados para el ítem PZ6073625

Para el ítem PZ6073625 el Algoritmo Genético fue ejecutado en 100 iteraciones y los resultados obtenidos son presentados en la tabla 10.

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

Luego de 100 iteraciones, los resultados muestran que el mínimo costo de transportación es de \$ 404,02 si son enviadas 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. La figura 4 presenta el comportamiento de la función de costo en 100 iteraciones.

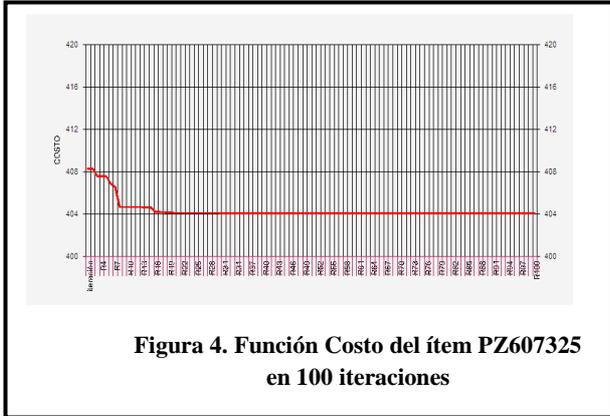


Figura 4. Función Costo del ítem PZ607325 en 100 iteraciones

La figura 4 podemos notar que la función de costo empieza en un valor de \$408, luego decrece hasta \$404 y se mantiene constante en ese valor, pero si se observa la tabla de las mejores soluciones se puede ver que la función sigue variando a lo largo de las iteraciones, pero la variación es muy pequeña.

5.3. Resultados encontrados para el ítem PZ5071325

El Algoritmo Genético fue aplicado con 100 iteraciones para el ítem PZ5071325 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en la tabla 11.

Tabla 11. Mejores soluciones del ítem PZ5071325 en 100 iteraciones

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

Luego de 100 iteraciones, los resultados muestran que el mínimo costo de transportación es de \$ 36,99 si son distribuidas 124 unidades desde la Bodega1 y 2 unidades desde la 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.

la figura 5 presenta la evolución de la función de costo en 100 iteraciones.

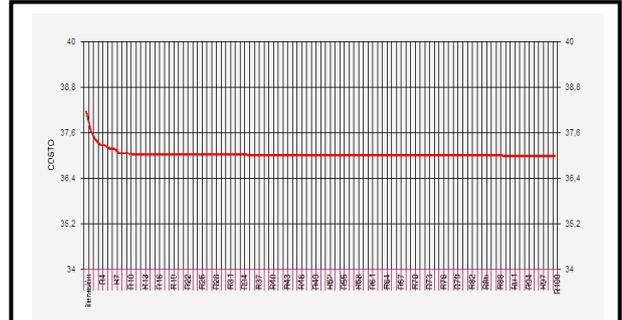


Figura 5. Función Costo del ítem PZ5071325 en 100 iteraciones

La figura 5 muestra que la función de costo decrece en un principio, pero luego permanece constante a lo largo del resto de las iteraciones, esto es debido a que la variación en los costos es pequeña, si consideramos la tabla 11 podemos ver que los costos solo varían en centavos.

5.4. Resultados encontrados para el ítem PZ3619

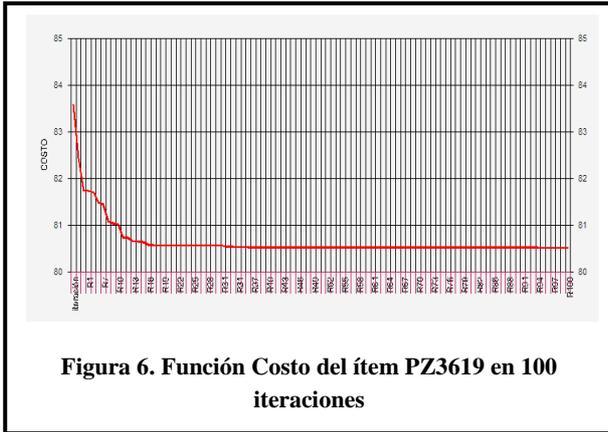
El Algoritmo Genético fue aplicado con 100 iteraciones para el ítem PZ3619 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en la tabla 12.

Tabla 12. 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	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

Luego de 100 iteraciones, los resultados muestran que el mínimo costo de transportación es de \$ 80,51 si son distribuidas 188 unidades desde la Bodega1 y 18 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.

la figura 6 presenta la evolución de la función de costo a lo largo de las 100 iteraciones.



De la figura 6 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.

5.5. Resultados encontrados para el ítem PZ5071328

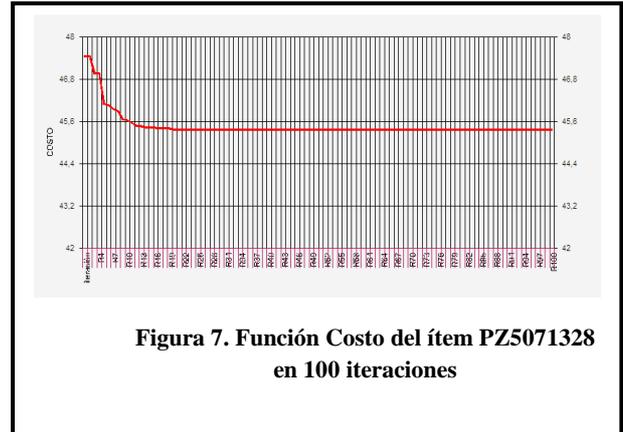
El Algoritmo Genético fue aplicado con 100 iteraciones para el ítem PZ5071328 y los resultados obtenidos pueden apreciarse en la tabla 13.

Tabla13. 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

Después de 100 iteraciones, los resultados muestran que el mínimo costo de transportación es de \$ 45,37 si son enviadas 226 unidades desde la Bodega1 y 49 unidades desde la 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.

La figura 7 presenta el comportamiento de la función de costo a lo largo de las 100 iteraciones.



De la figura 7 podemos notar que la función de costo decrece en las primeras iteraciones pero luego es constante a lo largo del resto de las iteraciones, esto es porque la variación en los costos es mínima, si observamos la tabla 13 podemos ver que los costos solo varían en centavos.

5.6. Análisis de los resultados encontrados

Para determinar que tan beneficioso es el uso del Algoritmo Genético en la empresa, la tabla 14 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.

Tabla 14. Comparación Costos de Transportación

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

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.

6. Conclusiones

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.

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.

Para todos los ítems, el costo de transportación disminuye a medida que se aumentan el número de iteraciones en la ejecución del algoritmo.

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.

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

7. Recomendaciones

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.

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.

8. Bibliografía

[1] Algoritmos genéticos y computación evolutiva. Adam Marczyk. 2004. Disponible en <http://the-geek.org/docs/algen/algen.html>

[2] Algoritmos Genéticos. Disponible en http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/te_mageneticos.pdf

[3] Algoritmos Genéticos. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico

[4] Algoritmos Genéticos y sus Aplicaciones. Carlos A. Coello Coello. Disponible en <http://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello/revistas/genetico.pdf.gz>

[5] 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.

[6] Algoritmos Genéticos. Disponible en <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html>

[7] Programación Lineal, Problemas de transporte y asignación. Disponible en <http://ws01.ula.ve/ingenieria/gbriceno/IOB2004/problemas%20transporte%20y%20asignacion.pdf>

[8] Optimización de Enteros y Modelos de Redes. Profesor Hossein Arsham. Disponible en <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SpanishIN.htm#rzeroonelp>

[9] Introducción a los Algoritmos Genéticos. Marcos Gestal Pose, Depto. Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Universidade da Coruña. Disponible en

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