DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL PROBLEMA DE TRANSPORTE EN UNA PILADORA DE ARROZ DE LA CIUDAD DE DAULE

Geovanny Byron GARCÍA SALGUERO*
Carrera de Tecnología Superior en Planificación y Gestión del Transporte Terrestre, Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista Aguirre, Maestrante en Logística y Transporte con Mención en Modelos de Optimización, Daule, Ecuador
Jonathan Eduardo MERINO GAVILANES
Carrera de Tecnología Superior en Desarrollo de Software, Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista Aguirre, Ingeniero de Software, Daule, Ecuador

* Autor para correspondencia: ingbyron5@gmail.com

RESUMEN

En la presente investigación se busca solucionar los problemas de distribución de una piladora de arroz en el cantón Daule hacia sus clientes, el procedimiento tiene como función objetivo minimizar el costo total de las rutas, sin olvidar el buen servicio al cliente. Esta distribución es realizada de manera semanal, tomando en cuenta que las demandas se pueden asumir constantes y la flota de vehículos homogénea. El estudio está basado en técnicas de investigación de operaciones, que reciban datos para optimizar el proceso; estas técnicas van desde la programación lineal, el diseño de un modelo matemático para este problema de transporte hasta la implementación de un software de optimización como es el GAMS (General Algebraic Modeling System). Los resultados obtenidos fueron favorables, mostrando así un mejor diseño de rutas y a su vez reducción en los costos de distribución. El objetivo principal fue minimizar el coste del abastecimiento a una serie de puntos de demanda a partir de la oferta que se presenta en la empresa, la misma que cumpla con las restricciones de capacidad de los vehículos. La elaboración de este trabajo pretende ayudar a reducir los costos de transportación y se determinó la correcta distribución del abastecimiento con los principales clientes, determinando la solución óptima con el costo del transporte $ 3265 y satisfaciendo la demanda de cada cliente en la ciudad de Guayaquil.

Palabras claves: modelo matemático, optimización y rutas óptimas.

ABSTRACT

This research seeks to solve the problems of distributing a rice piling plant in the Daule canton to its customers. The objective of the procedure is to minimize the total cost of the routes, without forgetting good customer service. This distribution is carried out on a weekly basis, taking into account that the demands can be assumed constant and the vehicle fleet homogeneous. The study is based on operations research techniques, which receive data to optimize the process; these techniques range from linear programming, the design of a mathematical model for this transport problem, to the implementation of optimization software such as GAMS (General Algebraic Modeling System). The results obtained were favorable, thus showing a better route design and, in turn, a reduction in distribution costs. The main objective was to minimize the cost of supplying a series of demand points based on the supply presented by the company, the same that meets the vehicle capacity restrictions. The preparation of this work aims to help reduce transportation costs and the correct distribution of the supply with the main clients was determined, determining the optimal solution with the cost of transportation $ 3265 and satisfying the demand of each client in the city of Guayaquil.

Keywords: mathematical model, optimization and optimal routes.

INTRODUCCIÓN

La importancia del arroz en el desarrollo económico del sector agrícola en el Ecuador ha jugado un papel muy importante, debido a que es uno de los productos con mayor demanda a nivel nacional. En el área económica y social, es relevante mencionar que la superficie sembrada en el año 2013 fue de 414.096 hectáreas, con el 93,4 % en las provincias de Guayas y Los Ríos (Viteri & Zambrano, 2016). Por ende muchas empresas en el mundo se enfrentan diariamente al traslado de productos, personas, etc. Esta tarea no solo se lleva a cabo en las compañías que se dedican a la producción, además en aquellas donde se necesita llevar y traer materiales, personas de diversos sitios de la ciudad o del país. Donde las operaciones logísticas que existen dentro de su cadena de abastecimiento representan estadísticamente entre un 60 % y 80 % del costo de ventas, por lo que una adecuada administración, planificación y programación definirá el nivel de competitividad de cada una de ellas (Guillen & Valdivieso, 2017). En la actualidad la planificación de rutas en cada una de las empresas es uno de los principales problemas, pues la necesidad del transporte interno entre empresas ha ido aumentando con el paso del tiempo, debido a que cada vez es más relevante y necesario. Por lo que el costo derivado del transporte ha pasado a ser un factor importante en cualquier empresa. Dado que los problemas de optimización tienen un fuerte impacto económico en el mundo empresarial, los investigadores se han inclinado considerablemente hacia el estudio y análisis de este tipo de problemas teniendo como uno de sus principales objetivos minimizar los costos de las operaciones logísticas, pues mejorar el ruteo de vehículos junto con la planificación representaría un gran ahorro en la economía de las empresas.

Además, el ruteo de vehículos (VRP) cuyas raíces se basan en el TSP, es un problema de programación entera y tiene una gama de variantes que nos permiten resolver cada una de las diversas situaciones en las que se encuentran las empresas en la actualidad (Cepeda & San Lucas, 2012). Para su desarrollo, se realizó revisión de literatura en artículos, revistas o demás investigaciones sobre el tema propuesto. Los datos fueron proporcionados por el jefe de almacenamiento de la piladora de arroz objeto de estudio, estos datos fueron entregados en su mayoría sin formato o incompletos, para poder utilizarlos en el programa desarrollado tuvieron que ser tratados y transformados al formato necesario (Prado & Ramirez, 2017). Por lo que una correcta administración de las operaciones tiene como objetivo entregar los productos o servicios en el lugar deseado, la cantidad correcta, en el momento oportuno y en las condiciones adecuadas, y todo esto se mide a través del nivel de satisfacción al cliente, consiguiendo al mismo tiempo incrementar las utilidades de la empresa (Guillen & Valdivieso, 2017).

El transporte es el costo logístico más representativo para las empresas y es el responsable de mover bienes, insumos, materia prima o producto terminado entre empresa y clientes que se encuentran situados en diferentes puntos geográficos, por tal razón, el eslabón de la cadena de abastecimiento más importante para la mayoría de las empresas es el sistema de transporte, debido a que un correcto diseño y uso hace que las empresas tengan una cadena de abastecimiento exitosa. El costo de transporte es fundamental en todas las etapas del sistema de producción y distribución, por tal motivo representan un componente importante dentro del costo final de los productos y servicios, generalmente representa entre un 10 % y 20 % (Vigo, 2002).

El problema de transporte se genera por la necesidad de llevar a cabo ciertas actividades que beneficien a los clientes, con lo que respecta a la demanda del transporte en notable dinámica y el poco tiempo de horas disponibles para realizar diferentes actividades desde el punto de vista de la oferta de los clientes (Ortúzar, 2012).

Por tal motivo se desarrolla un conjunto de rutas que cumplan con las condiciones antes mencionadas, mediante la aplicación de un modelo matemático para resolver la problemática actual en el caso de estudio y se deba minimizar el coste del abastecimiento a una serie de puntos de demanda a partir de un grupo puntos de oferta de clientes en la ciudad de Guayaquil.

La programación lineal pertenece al campo de la programación matemática y tiene como objetivo principal el maximizar o minimizar (optimizar) una función lineal, denominada función objetivo, por lo que las variables de dicha función están sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones o inecuaciones también lineales. El objetivo primordial de la programación lineal es optimizar, es decir, maximizar o minimizar funciones lineales en varias variables reales con restricciones lineales (sistemas de inecuaciones lineales), optimizando una función objetivo también lineal. Los resultados y el proceso de optimización se convierten en un respaldo cuantitativo de las decisiones frente a las situaciones planteadas (Salazar, 2016), por lo que es relevante donde un algoritmo a través del cual se pretende resolver situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad donde el método tradicionalmente usado para resolver problemas de programación lineal es el método simplex.

Por este motivo, ha surgido la necesidad de investigar y generar un diseño de un modelo matemático donde se empleará elementos como son la representación de símbolos, variables, funciones, etcétera, como lo menciona Ortiz (2000). Se planteó la posibilidad de darle una solución a este interesante problema de transporte, donde la investigación de operaciones genera muchas aplicaciones de este tipo de modelos para determinar y evaluar alternativas de solución. Además se aplica este modelo matemático teórico y práctico, quedando así definido el objetivo de esta investigación, el cual se puede generar solución al problema de transporte donde se inicia (centros de distribución) hasta los clientes, contemplando la presencia de diferentes factores que puedan afectar la solución (Hernandez & García, 2003). Conseguir la solución del modelo matemático en mención, ayudará a la solución sencilla en la determinación del valor de las variables de decisión, donde se resolverá y además cumplirá las restricciones para resolverlo correctamente con las técnicas matemáticas y software sofisticado, para optimizar la función objetivo, que pueda ser llevada a la práctica.

Es un problema de programación lineal (técnica de modelización matemática), por lo cual se puede solucionar a través de un grafo de origen y destino, como el modelo matemático para el problema de transporte de un solo producto y por ello han surgido una gran cantidad de métodos que permiten resolver dicho problema de manera óptima, pero la investigación presentada utilizará un software como es GAMS, ya es más eficiente representar el problema de transporte de un solo producto como son los quintales de arroz para los clientes. El problema del transporte múltiple quedaría reducido a calcular el costo mínimo total, bajo el cual se pudiese satisfacer correctamente todos los destinos en cada uno de los productos demandados, de acuerdo a lo que recibirían desde cada fuente (Hernandez & García, 2003).

La manera óptima de transportar bienes y minimizar el costo del transporte, está relacionado por el problema de transporte (Modelo de Transporte, 2000), donde se minimizará el coste total del transporte de un producto específico desde los orígenes a los destinos, de tal manera que se permite una identificación rápida de las expectativas esperadas, además que se reducen los riesgos asociados con la experimentación real del modelo matemático, aplicado a la problemática de la empresa en donde se satisface la demanda de cada destino sin superar la oferta disponible en cada origen (Ramos & Vitoriano , 2010).

La investigación busca dar una solución a los inconvenientes que tiene en la distribución una empresa piladora de arroz, la cual presenta como principales problemas el mal diseño de las rutas y subutilización de la flota disponible. Con los resultados obtenidos se quiere demostrar que los costos y tiempos en la distribución disminuyen haciendo uso de heurísticas y metaheurísticas, en este caso aplicado a este problema de transporte.

MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo principal es minimizar el costo total de las rutas de distribución, cuyo método consiste en la aplicación de operaciones para optimizar el proceso; estas técnicas van desde la programación lineal hasta el uso de algoritmos inteligentes, heurísticos y exactos. Donde lo primero es puntualizar el problema, seguidamente se hará la búsqueda de datos, para establecer los criterios y atributos a ser usados, que puedan ayudar a resolver el problema del transporte (Hernandez & García, 2003).

La metodología de trabajo es de investigación descriptiva y el diseño es la investigación de campo, la población es finita que pertenece a la zona Guayas y la muestra corresponde al número de clientes que mantiene la empresa, además con el desarrollo de la metodología de solución para el problema del transporte de vehículos con dependencia de tiempo, teniendo en cuenta la información de entrada, como se analiza, se clasifica y como se determine que vehículos cubren una determinada zona de la ciudad de Guayaquil por sus clientes específicos (Alvarez Hernandez, 2015). Cuya propósito investigativo es la obtención del modelo matemático para la optimización del problemática dentro de la empresa, con sentido práctico, que facilite a quienes tengan que trabajar con el transporte de este producto, el manejo del problema y que ayude en la toma de decisiones de parte de los responsables directos (Hernandez & García, 2003).

Con la misma información recopilada se diseñó e ingresó el modelo matemático para el problema del transporte, donde cada vehículo contaría con restricciones de capacidad en depósitos y vehículos, cada ruta comienza y termina en el mismo depósito, cada cliente debe ser visitado por una ruta exactamente una vez, la suma de las demandas de los clientes visitados en una ruta no debe exceder la capacidad del vehículo y la suma de las demandas de los clientes asignados a un depósito no debe exceder su capacidad (Escobar, 2012).

En la investigación se puede constatar que los clientes en Guayaquil son cuatro clientes representativos y la muestra de estudio de la investigación. Para lo cual, se realizará una aplicación importante de la programación lineal, donde la problemática de transporte se puede representar con un modelo matemático. El problema de transporte trata de enviar unidades de un producto que se representan desde m Orígenes, O_1, …. O_m, a n destinos, D_1,…, D_n, en las siguientes condiciones.

- Cada origen O_i, $i = 1, \ldots, m$, dispone de una oferta a_i.
- Cada destino D_j, $j= 1, \ldots, n$, realiza una demanda b_j.
- C_{ij} , $i = 1, \ldots, m$, $j = 1, \ldots, n$, es el coste de enviar una unidad desde el origen O_i al destino D_j.

El problema es determinar el número de unidades X_{ij} que se deben enviar desde cada origen O_i hasta cada destino D_j. Para realizar el transporte a coste mínimo, teniendo en cuenta que hay que satisfacer las restricciones de oferta y demanda (Modelo de Transporte, 2000).

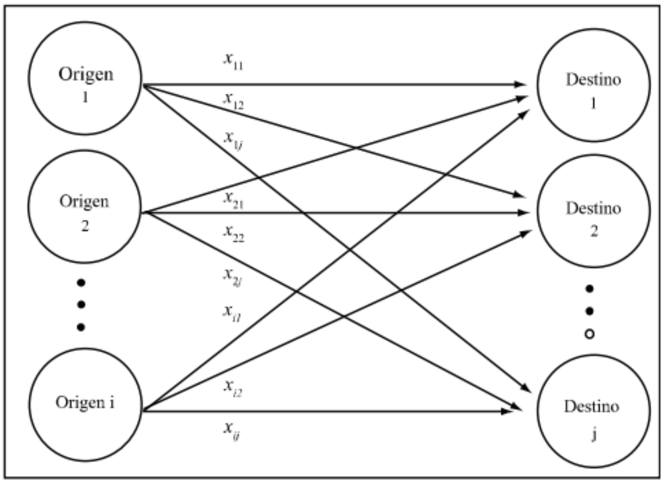

Figura 1: *Esquema de Origen y destino y número de unidades para el cliente. Fuente: Representación esquemática del transporte* (Modelo de Transporte, 2000)

Se priorizará en esta investigación el producto a transportar, el mismo que debe ser el correcto con lo que se debe minimizar el coste del abastecimiento a una serie de puntos de demanda a partir de un grupo puntos de oferta, respetando la capacidad del vehículo para transportarse desde el origen O_i al destino D_1 y generar mínimo costo de transporte, de manera tal que no sea necesario ser un experto en modelos matemáticos para su manejo.

RESULTADOS

Una piladora en el cantón Daule presentaba que el costo de transportar la demanda del producto a los clientes es de un valor de $ 4572, siendo un valor alto de manera mensual, donde se incluye el valor de combustible de todo el recorrido, además que presentan varias bodegas de almacenamiento que se encuentran ubicados en las ciudades de Palestina, Daule, Santa lucia y Pedro Carbo (de la provincia del Guayas). Se distribuyen distintas cantidades de quintales de arroz ajustándose a la demanda de los clientes ubicados en el Mercado José Mascote, mercado Sauces, mercado Mapasingue Oeste y mercado Municipal Prosperina. La cantidad ofertada de cada planta de almacenamiento es de 50, 150, 100 y 400 quintales de arroz, la demanda por cada cliente es de 120, 230, 160 y 155 quintales de arroz respectivamente. En el departamento de distribución es necesario elaborar un modelo matemático que permita determinar la distribución óptima y resolverlo en GAMS, para determinar el abastecimiento a cada cliente en la ciudad de Guayaquil y generar un menor costo total de transportación para la empresa. El costo de cada envío de transporte de los sacos de arroz se presenta de la siguiente forma:

ISSN: 2600-5662

TABLA I. Ubicación de la bodega y nomenclatura para el modelo matemático para el problema de transporte.

	Índice i
Bodega en Palestina	A
Bodega en Daule	B
Bodega de Santa Lucía	C
Bodega en Pedro Carbo	D

Fuente: *Elaboración autores*

TABLA II. Número de clientes en la ciudad de Guayaquil y nomenclatura para el modelo matemático para el problema de transporte con índice *j* para el Modelo Matemático.

	Índice j
Mercado José Mascote	1
Mercado Sauces IV	2
Mercado Mapasingue Oeste	3
Mercado Municipal Prosperina	4

Fuente: *Elaboración autores.*

TABLA III. Cantidad de quintales de arroz ofertados por clientes y especificación para el modelo matemático.

	Cantidad Ofertada
A	50
B	150
	100
D	400

Fuente: *Elaboración autores.*

TABLA IV. Cantidad de quintales de arroz demandado por clientes y especificación para el modelo matemático.

	Cantidad Demandada
1	120
2	230
3	160
4	155

Fuente: *Elaboración autores.*

TABLA V. Costos de envió por quintal de arroz ($) entre las plantas de almacenamiento y clientes en la ciudad de Guayaquil, por el departamento de distribución de la piladora de arroz y clientes.

	Mercado José Mascote	**Mercado Sauces IV**	**Mercado Mapasingue Oeste**	**Mercado municipal Prosperina**

Bodega en Palestina	8	5	6	7
Bodega en Daule	6	7	9	3
Bodega en Santa Lucia	3	8	5	9
Bodega en Pedro Carbo	7	4	8	6

Fuente: *Elaboración autores.*

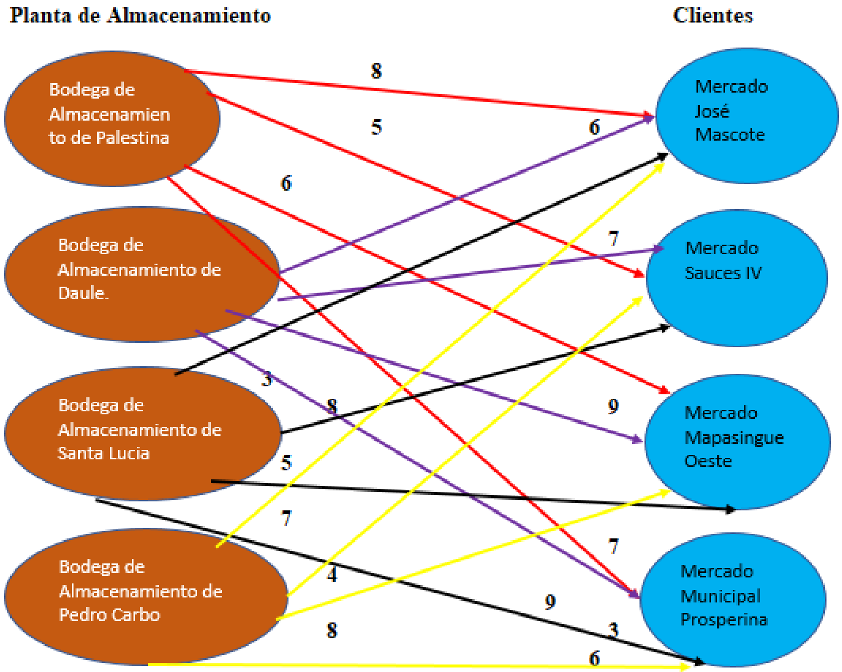

Figura 2: *Grafo de centros de distribución y clientes representado en un grafo solución y los respectivos valores de envió en dólares ($). Fuente: Elaboración autores.*

Por análisis directo, se debe minimizar el coste del abastecimiento a una serie de puntos de demanda a partir de un grupo puntos de oferta en la ciudad de Guayaquil. Donde X_i es la cantidad de quintales de arroz a enviar desde el origen *i* al destino *j*, expresado de otra manera se tiene una formulación algebraica general de un problema de programación lineal de variables continúas y se puede resolver de la siguiente manera, donde en este caso la función objetivo es la minimización del costo de transportación, por lo que se plantea el problema de la siguiente forma:

$$\underbrace{min}_{x_i} \sum_{i} c_i x_i$$

Por lo tanto, unificando lo del total recibido, de la siguiente forma:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41}$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42}$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43}$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44}$$

Es recomendable unificar lo del total enviado, de la siguiente forma:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = \sum_{j=1}^{4} X_{1j}$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = \sum_{j=1}^{4} X_{2j}$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = \sum_{j=1}^{4} X_{3j}$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = \sum_{j=1}^{4} X_{4j}$$

Por lo tanto, unificando lo del total enviado, de la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^{4} X_{1j} \quad ; \ \forall_i = 1,2,3,4$$

Para minimizar u optimizar una función lineal, denominada función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones o inecuaciones, a partir de las siguientes funciones que se detallan a continuación:

$Min\ Z$: $8x_{11} + 5x_{12} + 6x_{13} + 7x_{14} + 6x_{21} + 7x_{22} + 9x_{23} + 3x_{24} + 3x_{31} + 8x_{32} + 5x_{33} + 9x_{34} + 7x_{41} + 4x_{42} + 8x_{43} + 6x_{44}$

Min Z:

$$\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4} Cij\ Xij \qquad \text{Para indexar}$$

Variable de decisión

X_{1j} $=Cantidad\ de\ sacos\ de\ arroz\ a\ enviar\ desde\ el\ origen\ i\ al\ destino\ j$

Nodo de oferta i=1, 2, 3, 4
Nodo de demanda j=1, 2, 3, 4

Sujeto a:

Restricción de la oferta:

$$\sum_{j=1}^{4} X_{ij\ \leq 0} \ ; \ \forall_i = 1,2,3,4$$

Restricción de la demanda:

$$\sum_{i=1}^{4} X_{i1=D1} \quad \sum_{i=1}^{4} X_{i2=D2} \quad \sum_{i=1}^{4} X_{i3=D3} \quad \sum_{i=1}^{4} X_{i4=D4} \quad = \quad \sum_{i=1}^{4} X_{ij=Dj} \quad ; \quad \forall_j = 1,2,3,4$$

Gams (General Algebraic Modeling System)

El General Algebraic Modeling System (GAMS) es uno de los lenguajes de software, siendo este el más antiguo pero con el mayor número de usuarios, desarrollado por A. Brooke, D. Kendrick y A. Meeraus. GAMS permite definir, analizar con el fin de modelar y resolver problemas lineales, no lineales y optimización entera mixta para problemas de optimización (Castillo, García , & Alguacil, 2002).

Modelización del Problema de Transporte en la Piladora de Arroz en GAMS

```
Set
i fabricas /A,B,C,D/
j bodegas  /1,2,3,4/

parameter
O(i) Oferta
/
A 50
B 150
C 100
D 400 /
D(j) Demanda
/
1 120
2 230
3 160
4 155 /

Table c(i,j) costos de transportacion
    1   2    3   4
A   8   5    6   7
B   6   7    9   3
C   3   8    5   9
D   7   4    8   6

Positive variable
x(i,j) Cant de sacos de arroz a enviar desde el centro de almacenamiento  i hacia la bodega j
Variable
z Costo total de transportacion
```

```
Equations
FO,Oferta,Demanda;
FO.. Z=E=SUM((i,j),x(i,j)*c(i,j));
Oferta(i)..  sum((j),x(i,j))=e=O(i);
Demanda(j).. sum((i),x(i,j))=e=D(j);

Model GARCIA_PROYECTO /all/
SOlve GARCIA_PROYECTO using LP min z
Display x.l,z.l
```

Figura 3: *Ingreso del Modelo matemático en el software GAMS. Fuente: Elaboración autores.*

Variable dual

```
---- VAR x  Cant de sacos de arroz a enviar desde el centro de almacenamiento  i
            hacia la bodega j

        LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

A.1       .         .        +INF      3.000
A.2       .         .        +INF      3.000
A.3       .       50.000     +INF       .
A.4       .         .        +INF      3.000
B.1       .         .        +INF      2.000
B.2       .         .        +INF      6.000
B.3       .         .        +INF      4.000
B.4       .      150.000     +INF       .
C.1       .      100.000     +INF       .
C.2       .         .        +INF      8.000
C.3       .         .        +INF      1.000
C.4       .         .        +INF      7.000
D.1       .       55.000     +INF       .
D.2       .      230.000     +INF       .
D.3       .      110.000     +INF       .
D.4       .        5.000     +INF       .

                        LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z              -INF   3265.000     +INF       .

  z  Costo total de transportacion
```

Figura 4: *Ingreso del Modelo matemático en el software GAMS y determinación de Variable dual. Fuente: Elaboración autores.*

Parte de los resultados arrojados en GAMS es que debe haber una variable libre para representar el valor de la función objetivo. Los valores de las variables son guardados siempre, observamos que todas las variables tuvieron valores donde se cumple el de las restricciones, donde podemos se obtuvo el valor como mínimo de Z = 3265 (dólares) costo total de transportación.

Solución óptima

```
Iteration       Dual Objective            In Variable          Out Variable
     1           2760.000000                x(A.3)          Demanda(3) artif
     2           2870.000000                x(C.3)                    x(A.2)
     3           3210.000000                x(D.3)          Demanda(2) artif
     4           3210.000000                x(D.4)                    x(C.3)
     5           3265.000000                x(D.1)          Demanda(4) artif
LP status(3): infeasible
Cplex Time: 0.00sec (det. 0.02 ticks)

Model has been proven infeasible.
--- Restarting execution
--- GARCIA_PROYECTO.gms(39) 2 Mb
--- Reading solution for model GARCIA_PROYECTO
--- Executing after solve: elapsed 0:00:00.174
--- GARCIA_PROYECTO.gms(39) 3 Mb
```

Figura 5: *Ingreso del Modelo matemático en el software GAMS y determinación de la solución óptima. Fuente: Elaboración autores.*

La solución óptima para los inconvenientes que se presentan en la empresa por su mala distribución es desde la planta de almacenamiento en el cantón Santa Lucia y Pedro Carbo al transportarse al mercado de José Mascote, donde se distribuirá entre 55 y 100 quintales de arroz. Desde el centro de almacenamiento desde el cantón Pedro Carbo al mercado Sauces IV, mercado Mapasingue Oeste y mercado municipal Prosperina se distribuirá 230, 110 y 5 quintales de arroz respectivamente. Desde el centro de almacenamiento del cantón Palestina y Daule se distribuirá al mercado Mapasingue Oeste y mercado municipal Prosperina una cantidad de 50 y 150 quintales de arroz respectivamente, con un total de $ 3265 dólares por costo de transportación en vehículos de 2,5 toneladas.

Se realizó un estudio de la problemática de transporte actual de la compañía con sus clientes y se determinó el total de los costos desde la planta de almacenamiento en distintos cantones de la provincia del Guayas. Evidentemente se resolvió el problema de transporte con la información necesaria proporcionada por la piladora de arroz, donde se menciona los costos unitarios de transporte de todos los orígenes a todos los destinos, así también como el total de la oferta y la demanda de los clientes.

El diseño de un modelo matemático se desarrolló, estableciendose las variables de decision y restricciones para ingresar en el software GAMS y poder determinar la distribución optima y el correcto abastecimiento.

```
----     39 VARIABLE x.L  Cant de sacos de arroz a enviar desde el centro de alm
                          acenamiento  i hacia la bodega j

            1           2           3           4

A                              50.000
B                                         150.000
C     100.000
D      55.000     230.000     110.000       5.000


----     39 VARIABLE z.L                =     3265.000  Costo total de transp
                                                        ortacion
```

Figura 6: *Ingreso del modelo matemático en el software GAMS y determinación de la solución óptima. Fuente: Elaboración autores.*

Se determinó la correcta distribución del abastecimiento con los principales clientes determinando la solución optima con el costo del transporte $ 3265 al reducirlo al costo de transportación que se manejaba de manera mensual. Al implementar el modelo matemático que se utilizó en el software GAMS para minimizar los costos de transportación con más y diferentes clientes de la piladora de arroz. Es necesario utilizar un software como GAMS para generar mayores beneficios económicos con la optimización de recursos dentro de la empresa. Es pertinente la disminución del costo del transporte para cada cliente o generar nuevas opciones de ruteo vehicular, por tal motivo en la actualidad la eficiencia económica de sus actividades se debe hacer frente a un mercado competitivo, donde se busca la satisfacción del cliente. Para ello, las empresas deben constar con personal idóneo en el área de estudio de la optimización (Pedrosa J. , 2017).

CONCLUSIONES

Este documento presenta la revisión de un modelo de optimización lineal clásico para el problema de transporte con ruteo de vehículos mediante el diseño de un modelo matemático y este problema se codifica en GAMS. Se presenta formalmente con sus respectivas características en el apartado de modelado de programación lineal entera mixta. Sean i los centros de distribución y j los clientes en la ciudad de Guayaquil. Se ha puesto especial cuidado en presentar de forma clara, concisa del código. El contenido de este código resulta prácticamente auto explicativo además el resultado de la ejecución del modelo de transporte se tomó en cuenta que cada centro de distribución y cliente, también se determinó una solución óptima con respecto al valor de transportar la demanda del producto a sus clientes que era de $ 4572 con respecto al costo de transporte actualmente que es de $ 3265 por el total del recorrido y satisfacer a cada cliente de la empresa de manera mensual en la ciudad de Guayaquil entre cada centro de distribución *i* y cada cliente *j*, donde se satisface la demanda de cada cliente al mínimo coste.

Durante la revisión de la literatura se encontraron propuestas muy interesantes para modelar y resolver diferentes versiones de los problemas de ruteo. Se modificó un grupo de modelos para problemas del transporte. La contribución principal de este trabajo se presenta simplificando y agregando restricciones, cambiando dominios que no se contemplan en otros modelos y que benefician su desempeño. El diseño del modelo matemático e ingreso del código en GAMS arrojan resultados coherentes y óptimos.

REFERENCIAS

Alvarez Hernandez, R. J. (2015). Diseño de un plan estratégico para la empresa Trasnportes Alvarez Sierra 2013-2018. Obtenido de http://dspace.uceva.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/446/Tesis%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castillo, E., García , R., & Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de modelos de programación matemática en Ingenieria y ciencia.* Obtenido de https://laboratoriomatematicas.uniandes.edu.co/metodos/contenido/contenido/formulacion.pdf

Cepeda, G., & San Lucas, M. (2012). *Diseño e implementación de una heurística para el problema de ruteo vehicular con Recolección y entrega de mercaderia (vrppd).* Guayaquil. Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/100858/D-CD102673.pdf

Escobar, J. (2012). *Un Algoritmo metaheuristico basado en recocido simulado con espacio de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad.* Medellin. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v11n21/v11n21a12.pdf

Guasmayan, F. A. (2014). Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo utilizando un algoritmo genético modificado. Obtenido de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4562/5196G917.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guillen, J., & Valdivieso, G. (2017). *Rediseño del Proceso de Ruteo y Programación de Vehículos en una Empresa de Manufactura.* Guayaquil. Obtenido de http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41617

Hernandez, J., & García, M. (2003). *Modelo de solución al problema de transporte de múltiples productos con multiatributo.* Caracas. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jose_Hernandez_Ramirez/publication/277265026_Modelo_de_solucion_al_problema_de_transporte_de_multiples_productos_con_multiatributo/links/556f14c208aec226830a4f6a/Modelo-de-solucion-al-problema-de-transporte-de-multiple

Kara, I., & Bektas, T. (2006). *Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221705003188

Modelo de Transporte. (2000). *Modelo de transporte.* Obtenido de http://gc.initelabs.com/recursos/files/r157r/w13110w/MateNegocios_unidad%205.pdf

Ortiz, C. (2000). *Optimización y modelos para la gestión.* Santiago de Chile. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44703660/Optimizacion_y_Modelos_para_la_gestio__S._Varas_G.__C._Ortiz_Z.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DOptimizacion_y_Modelos_para_la_gestio_S..pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X

Ortúzar, j. d. (2012). *Modelos de Demanda de transporte.* Santiago de Chile. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9e1TDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=problema+de+transporte+modelo+matematico+&ots=lzFN7kUXQu&sig=Y_xGCqYdswbAmPnToPQGGU5hozs#v=onepage&q=problema%20de%20transporte%20modelo%20matematico&f=false

Pedrosa, J. (2017). *El modelo del problema del transporte. Aplicación practica a una red logística.* Obtenido de https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002527.pdf

Pedrosa, J. (2017). *El modelo del transporte aplicación prácticas a una red logística.* Logroño. Obtenido de https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002527.pdf

Prado, C., & Ramirez, C. (2017). *Diseño de rutas de Distribución de productos de consumo masivo para cadenas comerciales.* Guayaquil. Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/99453/D-CD102604.pdf

Ramos , A., & Vitoriano , B. (2010). *Modelos Matematicos de Optimización.* Madrid. Obtenido de https://www.iit.comillas.edu/aramos/presentaciones/t_mmo_M.pdf

Salazar, B. (2016). *Programación Lineal*. Obtenido de https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/programaci%C3%B3n-lineal/

Vigo. (2002). *Monographs and discrete mathematics and applications. En P. T. D.Vigo, The vehicle routing problem.* Bolonia, Italia. Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/101929/D-CD88549.pdf

Viteri, G., & Zambrano, C. (2016). *Comercialización de arroz en Ecuador: Análisis de la evolución de precios en el eslabón.* Guayaquil. Obtenido de http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_V9_N2_2Viteri%20y%20Zambrano.pdf