

OPTIMIZACIÓN DE COSTOS LOGÍSTICOS DE COMERCIALIZADORES DE GLP EN AZUAY-ECUADOR

LOGISTICS COSTS OPTIMIZATION TO THE LPG COMMERCIALISTS IN AZUAY-ECUADOR

*Katherine Tatiana Coronel Pangol¹, Arturo Campoverde Campoverde²,
Carlos Armando Romero Galarza³, Jonnathan Andrés Jiménez Yumbra⁴*

Resumen

El presente artículo pretende resolver el problema de optimización de costos logísticos de los depósitos de distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en la provincia del Azuay, Ecuador. Maneja la hipótesis de que las distribuidoras tienen estructuras empresariales similares y de costos básicos, por lo que poseen un margen de optimización y resulta adecuada la aplicación del modelo. Se ha realizado la recolección de información de fuente primaria, y posteriormente se ha planteado un modelo de programación entera aplicado al sector analizado, para dar respuesta al problema de optimización; para la resolución se ha utilizado las herramientas de Visual Basic en Excel, lo cual permite presentar una tabla resumen con las cantidades y los costos optimizados, así como el valor de ahorro para los negocios. Entre las principales conclusiones se ha determinado una optimización de costos logísticos de aproximadamente 40 % en promedio para el sector analizado.

Palabras clave

Costos logísticos, optimización, minimización, gas licuado de petróleo (GLP), Programación entera.

Abstract

This article aims to solve the problem of optimization of logistics costs of the Liquefied Petroleum Gas (LPG) distribution tanks in the province of Azuay, Ecuador. Hypothesis is that distributors have similar business structures and basic cost structures, so they have a margin of optimization and application of the model is adequate. Collection of information from primary source has been carried out, and later an integer programming model applied to the analyzed sector has been proposed, to respond to the optimization problem. For the resolution, the Visual Basic tools in Excel have been used, which allows to present a summary table with quantities and the optimized costs, as well as the savings value for the businesses. Among the main conclusions, an optimization of logistics costs of approximately 40% on average for the analyzed sector has been determined.

Keywords

Logistic costs, optimization, minimization, Liquefied Petroleum Gas (LPG), Integer Programming

JEL:C61, L21

1 Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador (katherine.coronelp95@ucuenca.edu.ec)
2 Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador (jorge.campoverde@ucuenca.edu.ec)
3 Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador (armando.romerog@ucuenca.edu.ec)
4 Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador (jonnathan.jimenez@ucuenca.edu.ec)

Introducción

Según Jácome y King (2013), las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) son la principal fuente de dinamización de la economía nacional; sin embargo, estudios de la IDE Business School (2016), afirman que las Mipymes y pymes (pequeñas y medianas empresas), que más venden no son las que tienen los más altos niveles de rentabilidad, de esta manera, los altos costos ocasionados especialmente por la mano de obra poco calificada, y el bajo nivel de desarrollo organizacional se constituyen como uno de los principales limitantes. Con base en información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2018), en el país existen alrededor de 1 250 000 pymes dedicadas a la comercialización, de las cuáles el 90 % de estas tienen menos de 20 años, lo que determina la complejidad para estas organizaciones de conseguir sostenibilidad. En el Azuay se ubican alrededor del 10 % de pymes dedicadas a la comercialización de productos al mayoreo y al menudeo. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (2015), una de las principales limitaciones de las comercializadoras en América Latina, son los altos costos logísticos que presentan, además afirman, que las empresas que aprendan a administrar adecuadamente dichos costos presentarán ventaja competitiva en su entorno empresarial.

De los diferentes sectores empresariales uno de los menos estudiado es el de comercialización de gas licuado de petróleo (GLP) compuesto fundamentalmente por pequeños negocios que se dedican a la distribución de este producto en recorridos a domicilio y en atención desde sus locales. Según la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburo (2017), en la provincia del Azuay existen 181 negocios dedicados a la comercialización de GLP. Este tipo de negocios son Mipymes, quienes manejan estructuras empresariales sumamente débiles, no poseen registros de in-

formación, no realizan controles de calidad, no administran sus costos ni inventarios. El año base para el estudio es 2018, del cual se obtienen rubros anuales, mensuales y semanales de los componentes de costos logísticos, y homogenizándolos en la misma unidad de tiempo para trabajar con estos. Las hipótesis en las que se basa la investigación son: “los negocios que se dedican a la comercialización de GLP, mantienen estructuras empresariales similares entre ellos”; razón por la cual se puede aplicar un modelo general para todos los negocios del sector, únicamente se reemplaza el valor de las variables para cada caso; y “los depósitos de distribución de GLP en el Azuay, no maneja adecuadamente sus costos logísticos, por lo que estos pueden ser optimizables” (Coronel Pangol y Campoverde Campoverde, 2017). El objetivo general de la investigación es optimizar los costos logísticos en uno de los nodos de la cadena de comercialización de GLP en el Azuay, a través de la definición de un modelo matemático de programación lineal entera, para apoyar en la gestión de los propietarios de estos negocios. Para conseguir este objetivo inicialmente se identifican los costos logísticos determinantes del sector, basándose en la literatura revisada, a los cuales se les clasificará incluyéndolos posteriormente en el modelo, cuyos resultados servirán como base para el establecimiento de conclusiones.

El artículo presenta el siguiente esquema: en primer lugar, consta la introducción, seguida de la revisión de literatura afin al tema, posteriormente se presenta la metodología, presentación de resultados, el establecimiento de conclusiones, y se culmina con la referenciación bibliográfica.

Revisión de literatura

Mabert y Venkataramanan (1998) definen la cadena de suministro como la red de relaciones entre los proveedores y los clientes, incluidas las relaciones entre los proveedores

y sus proveedores, de esta manera consiguen un efecto de cascada inversa hasta llegar a los proveedores iniciales, el objetivo de analizar la cadena de suministro desde los proveedores iniciales es que esta se relaciona con todos los procesos de las organizaciones (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2005), por lo tanto, una adecuada administración de la cadena de suministro es una estrategia empresarial que permitirá generar ventaja competitiva. En esta red las materias primas son transformadas de tal manera que lleguen a los consumidores finales como productos terminados; por lo que gestionarla actualmente se constituye en uno de los mayores retos para los directivos, ya que al administrarlas adecuadamente se reducen costos e incluso puede incrementarse rentabilidad.

Taha (2012) indica que la programación lineal es la técnica más importante de la investigación de operaciones, a pesar de que también existen otras herramientas como la programación entera, la programación dinámica, la programación de redes y la programación no lineal; de esta manera, Krajewski, Ritzman y Malhotra (2005) definieron a la programación lineal como la técnica que resulta más útil para asignar los recursos escasos entre las diferentes demandas que compiten

por ellos; en este sentido, la cadena de suministro implica la unión de diferentes demandas que deben ser satisfechas por reducidas cantidades de recursos, por lo que las técnicas de programación son las más apropiadas.

Uno de los factores más importantes en el estudio de la cadena de suministros son los costos logísticos, que según Estrada Mejía, Restrepo de Ocampo y Ballesteros Silva (2010) son aquellos rubros en los que incurre la empresa para garantizar un adecuado nivel de servicio al cliente; para López (2014) son los rubros ocultos involucrados en el movimiento y almacenamiento de producto y/o materiales desde los proveedores, hasta los clientes; Ballou (2004) afirma que los costos logísticos constituyen uno de los rubros más importantes dentro de la organización y propone la siguiente clasificación: costos de distribución, costos de suministro físico y costos de servicio al cliente. Según la Sintec Customer and Operation Strategy (2015) en América Latina uno de los rubros más importantes de las industrias son sus costos logísticos, que han incrementado los últimos años y el reto más importante es disminuirlos para consolidar organizaciones más eficientes. Estrada Mejía et al. (2010) desagregan a los costos logísticos de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de costos logísticos

Costos de distribución	Compuesto por los costos de transporte de productos terminados, incluyen costos de entrada y salida de almacén, costos en devoluciones de inventario a la planta, costos extra por pedidos retrasados; costos de inventarios de productos terminados, incluyen el costo de los inventarios en tránsito, costos de almacenamiento tanto en puntos de venta, como en las plantas, costo de inventario obsoleto, costo de manejo de materiales; costo de procesamiento de pedidos, compuesto por los costos de procesamiento de pedidos de clientes, y de reabastecimiento de inventarios, procesamiento de pedidos retrasados; costos de administración y gastos generales, compuestos por los gastos gerenciales no asignados, depreciaciones.
Costo de suministro físico	Compuestos por el transporte de bienes de suministro, costos de inventario de bienes de suministro, costo de procesamiento de pedidos; costos de administración y gastos generales asociados al suministro físico.
Costos de servicio al cliente	Compuestos por porcentajes de entrega de almacenes en un día, porcentaje promedio en inventario, tiempo total de ciclo de pedido, entregas de pedidos atrasados y divididos, devoluciones de los clientes por daños, inventario obsoleto, errores de procesamiento de pedidos y entregas tardías.

Elaboración propia con base en Estrada Mejía et al. (2010).

Con respecto al análisis de costos logísticos se han realizado algunos trabajos, entre los que destacan, el de Kaldiyarov, Kantureev, Abdykalieva, Syzdykbaeva y Baltabayeva (2018), quienes realizan un trabajo para optimizar costos logísticos en productores agrícolas en zonas rurales en la provincia de Kazakhstan. Por otra parte, Sabando, Yonfá, Morán y Pereira (2018) realizan una propuesta metodológica de optimización y planificación de recursos económicos para una empresa comercializadora líder en su rama ubicada en Ecuador. En Colombia, Greiff y Rivera (2018) realizan un análisis para optimizar los costos en las transacciones en la Bolsa de Valores de Colombia aplican un modelo de programación entera, en el mismo país, Rojas, Valencia y Cuartas (2017) realizan una minimización de costos en una empresa del sector público colombiano, consiguiendo incrementar los niveles de eficiencia de esta. Albayrak y Özdemir (2018) analizan la optimización de costos logísticos en empresas constructoras, en donde también realizan un proceso de optimización de tiempos, la que se traduce en costos inferiores, para lo cual utilizan un algoritmo híbrido de optimización. Tal como se puede apreciar, en esta revisión de literatura, existen varios campos en los cuales es posible aplicar principios de optimización de costos en distintos sectores.

Por otra parte, con respecto a los estudios en GLP, según los reportes de Petroecuador (2019), durante los últimos 40 años, el incremento de comercialización de GLP ha sido alrededor del 105 %; por otra parte, la World LPG Association (2016) los usos más comunes a nivel mundial de GLP son: doméstico con un 44 %; industria 38 %; transporte 9 %; refinería 8 %, entre otros; sin embargo, esta situación cambia en América Latina, especialmente en Ecuador, por ejemplo, en el Azuay, la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrfica, afirma que el sector doméstico consume un 85,6 %, el sector industrial

consume el 14,3 %, el sector agroindustrial tiene una representación casi nula con un 0,1 %, y en el segmento vehicular no se utiliza GLP en esta provincia.

Con respecto a los estudios realizados sobre GLP en la provincia del Azuay en los últimos años; se puede destacar los realizados por Barrera (2012); Briones (2011); Cambisaca (2015); Gonzáles (2012); Mancheno (2016); Polo (2014) quienes investigan desde diferentes ópticas la situación del GLP, especialmente, desde un enfoque técnico. Briones (2011) propone una estimación del costo de comercialización de los cilindros de GLP en Austrogas; Barrera (2012) analiza la posibilidad de utilizar el GLP como combustible alternativo; Gonzáles (2012) hace un estudio de factibilidad para la implementación de un punto de suministro de GLP, en una estación de servicio de combustible; Polo (2014), evalúa el subsidio al GLP en Ecuador; Cambisaca (2015) desarrolla un sistema de costos para Austrogas para la comercialización de GLP y Mancheno (2016) hace referencia a los efectos del GLP en la salud respiratoria de los trabajadores; otros estudios, especialmente tesis de grado analizan únicamente los costos de funcionamiento de Austrogas, la comercializadora de GLP más representativa en el Azuay; por otra parte, existen varios estudios con respecto a logística, pero ninguno de ellos se aplica específicamente al sector de comercialización de GLP; por lo que realizar un estudio en este tema constituye una línea base y probablemente un primer acercamiento a la situación real de la comercialización del GLP, desde los pequeños distribuidores y centros de acopio.

A nivel latinoamericano, Adarme, Fontilla y Arango (2011), desarrollaron modelos logísticos para el transporte en Colombia, aplicado a la comercialización de racimos de fruto fresco de palma, en donde afirman que los costos de transporte son los que generan ineficiencia en este sector, especialmen-

te en las pequeñas y medianas empresas, para lo cual utiliza entre otros métodos programación lineal, promedios móviles, programación entera. Dávila y Ramirez (2011) plantean modelos matemáticos para la optimización de cadenas de suministro, consideran cupos de compra y períodos de pago; en esta investigación, utilizan modelos determinísticos y programación lineal para plantear y resolver el modelo. Díaz-Batista y Pérez-Armayor (2012) analizan la optimización de inventarios conjuntos proveedor-comprador obteniendo un beneficio para la cadena en general que si lo hubiesen hecho por separado. Guerrero (2012) diseña un modelo de minimización de costos basado en estrategias de optimización para analizar el comportamiento de los costos logísticos; con la utilización de un modelado de Monte Carlo se obtiene un margen de utilidad antes de impuestos maximizada. Pérez Kaligari y Guerrero Rueda (2015) consideran las decisiones de ruteo de vehículos con inventario en una cadena de suministro con un depósito y múltiples minoristas, se establecen restricciones de capacidad y producción, con lo cual se plantea una formulación matemática basada en programación lineal entera mixta lo que permite optimizar los costos generados en la cadena.

Metodología

La presente investigación es aplicada, descriptiva y de campo, se utilizan variables de tipo cualitativo y cuantitativo. Se utiliza el método lógico-deductivo, al aplicar modelos matemáticos planteados como base para la optimización de costos, y el método hipotético-deductivo para contrastar las preguntas de investigación mediante una prueba empírica a través de encuestas, y la aplicación de modelos. La población está compuesta por 181 depósitos de distribución ubicados en el Azuay; se realizó un censo a

toda la población pues el número de observaciones así lo amerita. La metodología para el levantamiento de información es la metodología IIRSA (Análisis del Potencial de Integración Productiva y Desarrollo de Servicios Logísticos de Valor Agregado de Proyectos) que se basa en el planteamiento y posterior ejecución de la recolección de información (Barceló y Barcia, 2009). La siguiente parte consiste en el análisis de la información recolectada para lo que se utilizaron modelos matemáticos, que permitieron la determinación de una cantidad óptima de inventario que se debe manejar en los centros de acopio y depósitos de distribución, a través de programación lineal para posteriormente establecer los costos mínimos a los que se llegará tras la aplicación del modelo.

Estructura costos logísticos

Para la estructura de los costos logísticos, se toma como base la clasificación presentada por Ballou (2004), que se describe con mayor nivel de detalle en Estrada Mejia et al. (2010), y que se compone de: costos de distribución, costos de suministros físicos y costos de servicio al cliente. Es necesario realizar ciertas puntualizaciones: el rubro de costos de suministro físico, no se consideró como una cuenta independiente en esta investigación, debido a que generalmente no se los reconoce por los propietarios, no se puede obtener información sobre los mismos, siendo considerados dentro de los costos de almacenamiento y manejo de los productos, ya que ayudan de manera directa en estas dos actividades; los costos de servicio al cliente, tampoco se han podido calcular, debido a que la disponibilidad de productos en todos los negocios es del 100 %, por otra parte, en lo relacionado a los costos por devoluciones, se considera dentro del rubro de costos de distribución; con respecto a los gastos administrativos y gerenciales, no se

han considerado, ya que al estudiar negocios pequeños como los depósitos de distribución de GLP, no se cuenta con personal específico para la realización de actividades administrativas, y tampoco se cuenta con directivos. Los costos de distribución corresponden al rubro que se ha desglosado con mayor nivel de detalle, y se ha compuesto básicamente de: costos de transporte, costos de inventario; costos de procesamiento de pedidos, y costos administrativos y gerenciales.

Los costos de transporte se han desglosado en: Costo de entrada al almacén, Costo de salida del almacén y Costo de devoluciones del cliente al depósito de distribución. Los costos de entrada y salida al almacén están compuestos por: Costo de matrícula, costo por combustible; costo por cambio de neumáticos; costo por cambio de aceite; costo de mantenimiento general del vehículo; costo extra por eventualidades; costo de depreciación para los vehículos propios; costo de remuneraciones a personal encargado del transporte de productos; costo por alquiler del vehículo. El costo de devoluciones del cliente al depósito de distribución es asumido por el proveedor cuando se realizan entregas a domicilio, en el caso de que no se realicen entregas a domicilio el costo lo asume el cliente. Por otra parte, el costo de devoluciones al proveedor por parte del depósito de distribución es asumido por el depósito de distribución.

Los costos de inventario están compuestos de la siguiente manera: costo de almacenamiento de materiales y costos de manejo de materiales conformado exclusivamente por las remuneraciones de las personas encargadas del manejo de los productos. Los costos de procesamiento de pedidos están conformados por los costos de infraestructura en la cual se realiza el pedido, y por los del personal que se encarga de realizar los pedidos.

Variables

Se considera un producto (GLP) que es distribuido por un conjunto $D = \{1, 2, \dots, n\}$ de distribuidores, de manera que sea Ci_0, Ct_0 y Cp_0 el costo unitario de mantener el inventario por el proveedor por unidad de tiempo, el costo unitario de transporte del proveedor y el costo unitario de procesamiento de pedidos, respectivamente, expresaremos como Ci_d, Ct_d y Cp_d el costo de mantener los inventarios, de transporte y de procesamiento de pedidos por cada depósito de distribución $d \in D$. Cada uno de estos costos formarán el costo unitario de producto $Cu_d = \{Ci_d; Ct_d; Cp_d\}$, que serán multiplicados por la cantidad $Q_d = \{q1_d, q2_d, q3_d, q4_d\}$ para formar el costo total, véase ecuación 1. A cada uno de los costos se los ha ponderado por las cantidades que se manejan en los depósitos de distribución, de manera que $q1_0$ es la cantidad a recibir en los depósitos de distribución, $q2_0$ es la cantidad a almacenar en los depósitos de distribución, $q3_0$ es la cantidad a solicitar en los depósitos de distribución y $q4_0$ es la cantidad que sale de los depósitos de distribución, de manera que expresaremos como $q1_d, q2_d, q3_d$ y $q4_d$ a las cantidades de recepción, almacenamiento, pedido y salida de cada uno de los depósitos de distribución, se considera $d \in D$. De esta manera, la cantidad a recibir estaría afectada por los costos de transporte y de manejo de productos; la cantidad a almacenar por el costo de inventarios, la cantidad a pedir por el costo de procesamiento de productos y la cantidad a salir del almacén por los costos de transporte y de inventario, según se muestra en la ecuación 2, el cual es el objetivo de optimización del presente artículo.

Modelo matemático

$$CTI_d = \sum_{d=1}^n Cu_d Q_d \quad \forall d \in D \quad (1)$$

$$CTI_d = (Ct_d q1_d) + (Ci_d q1_d) + (Ci_d q2_d) + (Cp_d q3_d) + (Ct_d q4_d) + (Ci_d q4_d) \quad (2)$$

El objetivo principal del modelo es la optimización de los costos logísticos, de

acuerdo a lo que se expresa en las ecuaciones 3, 4 y 5, así:

$$Z = \min CTI_d \quad (3)$$

$$\text{Min } Z = \sum_{d \in D} (Cu_d q_d) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{ct \in Cu} \sum_{q1 \in Q} (Ct_d q1_d) + \sum_{ci \in Cu} \sum_{q1 \in Q} (Ci_d q1_d) + \sum_{ci \in Cu} \sum_{q2 \in Q} (Ci_d q2_d) + \sum_{cp \in Cu} \sum_{q3 \in Q} (Cp_d q3_d) \\ & + \sum_{ct \in Cu} \sum_{q4 \in Q} (Ct_d q4_d) + \sum_{ci \in Cu} \sum_{q2 \in Q} (Ci_d q2_d) \end{aligned} \quad (5)$$

Cabe realizar algunas consideraciones, existe un solo proveedor.

Es necesario incluir información adicional que permita establecer ciertas restricciones, dada la naturaleza del negocio. Existe un solo proveedor en la región, el cual establece una restricción tanto mínima como máxima de pedido, a cada uno de los depósitos de distribución, las cuáles serán expresadas como lmi_d y lma_d respectivamente; la restricción dependerá del historial comercial de cada depósito $d \in D$, también es necesario conocer el número de días que labora cada depósito de distribución en atención al público, ya sea en atención en el punto de venta, así como recorrido a domicilio expresado por t_d , $t \in T$, cabe recalcar que $T = \{1, 2, \dots, 7\}$. Para quienes realizan ventas a domicilio es necesario determinar la cantidad de unidades que entregan a domicilio por semana Vn_d . El número de

pedidos semanales de cada depósito de distribución será expresado por Np_d . Una de las restricciones más importantes, es la de capacidad total de almacenamiento de cada depósito de distribución, expresado por Ct_d , y la capacidad mínima Cm_d , pues existen distribuidores, quienes por política empresarial deciden aprovechar gran parte de su espacio y exigen que su capacidad en la mayoría de los casos sea ocupada al menos en un 50 %. Finalmente, la cantidad de producto demandado semanalmente será la suma entre las ventas realizadas en el punto de venta y las entregas a domicilio y será expresado como Ds_d y la cantidad diaria se expresará como Dd_d .

Conocida esta nomenclatura las restricciones aplicables al modelo, indican que la cantidad a solicitar debe respetar las restricciones máximas y mínimas establecidas por el distribuidor, según puede verse en 6 y

7. La cantidad que salga del almacén para las ventas a domicilio diaria multiplicado por el número de días de trabajo, deberán permitir el abastecimiento adecuado para las ventas a domicilio, según se expresa en 8. Las cantidades que ingresan al almacén, sumadas a las de almacenamiento de cada depósito de distribución deben superar la cantidad que sale para la distribución a domicilio, según se indica en 9. La cantidad de almacenamiento debe respetar tanto la capacidad mínima como máxima de almacenamiento según se puede ver en 10 y 11, en 14 se indica que la cantidad

$$q3_d \geq lmi_d \quad \forall d \in D \quad (6)$$

$$q3_d \leq lma_d \quad \forall d \in D \quad (7)$$

$$q4_d t_d \geq Vn_d \quad \forall d \in D, \forall t \in T \quad (8)$$

$$q2_d + q1_d \geq q4_d \quad \forall d \in D \quad (9)$$

$$q2_d \geq Cm_d \quad \forall d \in D \quad (10)$$

$$q2_d \leq Ct_d \quad \forall d \in D \quad (11)$$

$$q3_d Np_d + q2_d \geq Ds_d \quad \forall d \in D \quad (12)$$

$$q2_d \geq Dd_d \quad \forall d \in D \quad (13)$$

$$q1_d \leq Ct_d \quad \forall d \in D \quad (14)$$

$$q1_d = q3_d \quad \forall d \in D \quad (15)$$

$$q1_d, q2_d, q3_d, q4_d \geq 0 \quad \forall d \in D \quad (16)$$

$$q1_d, q2_d, q3_d, q4_d \in Z \quad (17)$$

Resultados

Se han analizado 146 depósitos de distribución en 14 de los 15 cantones de la provincia del Azuay, a los que se ha podido acceder; la mayoría de los depósitos de distribución se sitúan en el cantón Cuenca, con un 75,3 %; es decir, 110 depósitos; el 6,5 % está en el

que ingresa al almacén también debe respetar la capacidad máxima de almacenamiento. La ecuación 12 indica que la cantidad pedida por el número de pedidos más la cantidad almacenada debe superar la cantidad de demanda semanal. La cantidad de almacenamiento debe garantizar la demanda diaria, según se expresa en 13. Las cantidades de pedido, como la de ingreso al almacén deben ser similares, según indica 15, todas las cantidades deben ser positiva, como lo indica 16 y todas las cantidades deben ser números enteros, según se expresa en 17.

cantón Santa Isabel, el 4,8 % en Gualaceo, y el resto se distribuye en los otros cantones.

La tabla 2 presenta el cálculo de los costos semanales unitarios de los depósitos de distribución, se presenta solamente una muestra de los costos, por cuestiones de espacio, no obstante, se indica el costo total unitario más alto y el más bajo de todos los

centros analizados. Se puede identificar que el rubro que infla los costos siempre es el costo de transporte, mientras que el costo de procesamiento de pedidos por unidad es mínimo.

El valor mínimo en costos de transporte es USD 0,06, y el máximo USD 1,84, este

rubro es el más elevado. El costo unitario más elevado es de USD 2,31, lo que supera incluso el valor oficial de las bombonas de GLP, y corresponde a un depósito de distribución ubicado en el cantón Cuenca, en la parroquia Molleturo.

Tabla 2. Cálculo de costos semanales unitarios

No. Dep Dist	Costo transporte unitario USD	Costo inventario semanal unitario USD	Costo procesamiento de pedidos semanal unitario USD	Costo total unitario USD
	Ct_d	Ci_d	Cp_d	Cu_d
1	0,20	0,15	0,0048	0,3554
2	0,06	0,04	0,0017	0,1023
3	0,46	0,08	0,0006	0,5406
4	0,85	0,22	0,0058	1,0759
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
93	1,84	0,45	0,0126	2,3061
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
143	0,24	0,29	0,0045	0,5349
144	0,94	0,20	0,0029	1,1410
145	0,50	0,38	0,0101	0,8864
146	1,40	0,28	0,0029	1,6810

Elaboración propia basada en la encuesta aplicada a los propietarios de depósitos de distribución.

La aplicación del modelo de optimización se lo realizó en Excel, a través de la herramienta Visual Basic, para obtener los cálculos correspondientes, los cuales se presentan en la tabla 3, en donde, también se presenta una comparativa entre los costos actuales y los costos optimizados, posteriormente se presenta una columna del

valor de optimización, es decir el valor de ahorro que haría cada uno de los depósitos de distribución. Dado que los valores de la última columna se encuentran en paréntesis, indican que estos son negativos, es decir, efectivamente se ha conseguido la optimización de los costos logísticos de los centros de distribución.

Tabla 3. Comparativa de costos actuales y costos optimizados

Costos actuales						Costos optimizados					Diferencia costos
No. Dep Dist	Cantidad que ingresa al almacen	Cantidad almacenada	Cantidad de pedido	Cantidad salida del almacen	Costo total actual	Cantidad que ingresa al almacen	Cantidad optimizada almacenada	Cantidad optimizada pedido	Cantidad optimizada salida almacen	Costo total optimización	Diferencia entre costo actual y costo optimizado
						q1	q2	q3	q4		
1	175	230	175	-	269,98	148	82	148	-	126,68	(143,30)
2	900	800	900	-	298,92	793	497	793	-	212,75	(86,17)
3	1200	630	1200	240	1033,30	820	584	820	232	804,78	(228,52)
4	210	180	210	168	640,25	212	108	212	165	545,17	(95,08)
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
143	240	194	240	144	290,33	208	120	208	130	230,70	(59,63)
144	144	127	144	-	228,21	127	89	127	-	169,97	(58,24)
145	140	130	140	112	734,12	116	65	116	111	470,33	(263,79)
146	125	141	125	-	607,77	106	64	106	-	346,51	(261,26)

Elaboración propia con base en la encuesta aplicada a los propietarios de depósitos de distribución.

La tabla 3 indica claramente que los depósitos de distribución pueden optimizar sus costos logísticos, con el objetivo de incrementar su rentabilidad. Los valores de ahorro que pueden observarse son semanales; debido al giro del negocio, pueden ser considerados significativos.

Conclusiones

La distribución de GLP genera un fuerte impacto en la sociedad, dado que este producto constituye un servicio básico en el quehacer diario de muchos ciudadanos, especialmente de aquellos que viven o laboran en zonas urbanas, en donde varias actividades se las realizan con base en la utilización de GLP, principalmente, el consumo para cocción de alimentos, aseo personal, entre otros; por lo que una adecuada distribución de este producto a cada hogar o negocio de la provincia es primordial. Considerando la alta demanda

del GLP resulta imperante una gestión logística adecuada, para que, en el empeño de brindar un mejor servicio, no se incurra en costos ocasionalmente innecesarios.

El principal objetivo de esta investigación pretendió optimizar costos logísticos a través del planteamiento de un modelo matemático de programación lineal entera, aplicable al sector de comercialización de GLP en la provincia del Azuay, una vez analizados los resultados se ha podido evidenciar el cumplimiento del objetivo, pues a más de determinar el modelo se lo ha aplicado con la información de 146 depósitos de distribución. En todos los casos se ha podido determinar que hay valores por optimizar, en algunos casos estos son mínimos, pero todos los casos presentan resultados optimizados.

Se han confirmado además las hipótesis planteadas inicialmente, que los depósitos son similares entre sí, dadas sus estructuras empresariales, cantidades de abastecimien-

to y venta, personal, entre otros, por lo que se puede trabajar un mismo modelo para todos, por otra parte, la segunda hipótesis afirmaba que los depósitos de distribución tienen costos optimizables, lo que se ha corroborado con la aplicación del modelo.

Se determinó que en el sector de comercialización de GLP existen solo tres rubros que componen los costos logísticos: costos de transporte, costos de inventarios, y costos de procesamiento de pedidos, los mismos que han sido desglosados. Los costos que afectan en mayor medida son los costos de transporte y los costos de inventario, en este último tiene un papel fundamental el rubro por mano de obra, y mantenimiento del local (servicios básicos), que normalmente no es considerado cuando el propietario y su familia laboran en el negocio, o cuando el local en el que se labora es propio.

Con base en los resultados que se presentan en la tabla 3 se ha determinado que con el modelo de optimización planteado para todos los negocios, el sector en general presentaría una reducción de costos de aproximadamente 40 %, es decir que los costos optimizados representan únicamente un 60 % de los costos actuales. Este proceso de optimización se lo plantea con las circunstancias normales de los depósitos de distribución, es decir que no se consideran rubros por reinversión ni adecuación de negocios, entre otros.

Una de las principales limitaciones de la investigación, fue la falta de información brindada por parte de los propietarios de los depósitos de distribución, pues la mayoría lleva un registro de sus costos mentalmente, lo que dificulta la fiabilidad de la información. Por otra parte, no se pudo realizar un análisis de la evolución de los costos logísticos, pues no se dispone de información histórica en muchos de los negocios.

Como una de las sugerencias o estrategias para este sector es trabajar bajo la modalidad de clústeres en los cuales pue-

dan agruparse comercializadores de zonas cercanas o con cantidades similares quienes no poseen vehículos propios de abastecimiento y contratar un vehículo que retire los productos de todos los miembros del clúster, de manera que la capacidad de los vehículos sea óptima y los costos puedan dividirse entre más personas.

Referencias

- Adarme Jaimes, W., Fontilla Díaz, C. y Arango Serma, M. (2011). Modelos logísticos para la optimización del transporte de racimos de fruto de palma de aceite en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 21, 89-114. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v21n1/v21n1a06.pdf>
- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. (2015). *Boletín Estadístico Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero 2015*. Recuperado de http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/boletin-estadistico/ESTADÍSTICAS-ARCH-2015_2016-07-15_Para-publicar.pdf
- Albayrak, G. y Özdemir, I. (2018). Multimodal optimization for time-cost trade-off in construction projects using a novel hybrid method based on FA and PSO. *Revista De La Construcción* 17(2): 304-318. doi:10.7764/RDLC.17.2.304
- Ballou, R. H. (2004). Logística Administración de la cadena de suministro. In *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference* (5.ª ed., vol. 2). <https://doi.org/10.1017/CB09781107415324.004>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Costos logísticos | Observatorio Regional de Logística*. Recuperado de <http://logistics-portal.iadb.org/node/2019>
- Barceló, M. y Barcia, R. (2009). *Análisis del Potencial de Integración Productiva y Desarrollo de Servicios Logísticos de Valor Agregado de Proyectos IIRSA (IPRlg) Guía Metodológica Revisada*. 1-30.
- Barrera, M. (2012). *Estudio del Sistema GLP como Combustible alternativo de uso en vehículos automotrices*. Universidad del Azuay.

- Briones, M. G. (2011). *Estimación del costo de comercialización de los cilindros de GLP en la CEM Austrogas* (Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://cdjbu.ucecuena.edu.ec/ebooks/tcon513.pdf>
- Cambisaca, D. (2015). *Sistema de Gestión de Costos para empresas Comercializadoras de Gas Licuado de Petróleo de la Ptovincia del Azuay. Caso Austrogas* (Universidad del Azuay). Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5122/1/11555.pdf>
- Coronel Pangol, K. T. y Campoverde Campoverde, J. A. (2017). *Aplicación de modelos matemáticos para la Optimización de Costos Logísticos dentro de la cadena de suministro en el sector de comercialización del gas licuado de petróleo en la provincia del Azuay, año 2016* (Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucecuena.edu.ec/handle/123456789/28299>
- Dávila Vélez, J. G. y Ramírez Otero, L. F. (2011). Modelo matemático para la optimización de una cadena de suministro global con consideraciones de cupos de compra y periodos de pago. *Departamento de Operaciones y Sistemas, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia.*, 6, 6–21.
- Díaz-Batista, J. A. y Pérez-Armayor, D. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro Inventory levels optimization in a supply chain. *Ingeniería Industrial*, XXXIII(2): 126-132.
- Estrada Mejía, S., Restrepo de Ocampo, L. y Ballesteros Silva, P. P. (2010). Analysis of Cost Logistics in the Supply Chain Management. *Scientia et Technica*, 45(45): 7.
- Greiff, S. y Rivera, J. C. (2018). Investment portfolio optimization with transaction costs through a multiobjective genetic algorithm: An applied case to the colombian stock exchange. *Estudios Gerenciales* 34(146): 74-87. doi:10.18046/j.estger.2018.146.2812
- Gonzáles, W. (2012). *Estudio para la Implementación de un punto de suministro de Gas Licuado de Petróleo en una Estación de Servicio* (Universidad del Azuay). Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1445/1/09613.pdf>
- Guerrero, N. (2012). Estrategia para la minimización de costos logísticos: aplicaciones en una empresa piloto.
- IDE Business School. (2016). *Análisis y Ranking de PyMES*. Recuperado de <http://investiga.ide.edu.ec/index.php/revista-febrero-2006/736-analisis-y-ranking-de-pymes>
- INEC. (2015). Catálogo Central de Datos. Retrieved September 7, 2017, from <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog>
- Jácome, H. y King, K. (2013). Estudios industriales de la micro, pequeña y mediana empresa. In *FLACSO, Sede Ecuador*. Recuperado de http://www.industrias.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/08/ESTUDIOS_INDUSTRIALES_MIPYMES.pdf
- Kaldiyarov, D. A., Kantureev, M. T., Abdykalieva, Z. S., Syzdykbaeva, N. B. y Baltabayeva, A. (2018). Optimization of production costs of agricultural cooperatives as a factor in the formation of a stable food supply system. *Espacios*, 39(39)
- Krajewski, L., Ritzman, L. y Malhotra, M. (2005). Administración de operaciones. In *Administración de operaciones* (8.ª ed.). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642009000500001>
- López, M. A. (2014). *Estructura de Costos Logísticos*.
- Mabert, V. A. y Venkataramanan, M. A. (1998). *Special Research Focus on Supply Chain Linkages : Challenges for Design and Management in the 21st Century**. 29(3).
- Mancheno, E. (2016). *Efectos del Gas Licuado de Petróleo sobre la función respiratoria de los trabajadores de una Planta de almacenamiento y envasado de la Provincia del Azuay. Caso Compañía de Economía Mixta Austrogas*. Universidad del Azuay.
- Ordoñez, S. y Reinoso, S. (2009). *Diseño de un Sistema de Costos dirigido hacia las Empresas Comercializadoras de Gas Licuado de Petróleo en el Ecuador: Estrategia empresarial para toma de decisiones gerenciales*. Universidad de Cuenca.
- Pérez Kaligari, E. y Guerrero Rueda, W. (2015). OPTIMIZATION METHODS FOR THE INVEN-

- TORY ROUTING PROBLEM. *Ingeniería Industrial*, 14(3), 31-49.
- Petroecuador. (2013). *40 Años construyendo el desarrollo del País 1972-2012*.
- Polo, M. V. (2014). *Evaluación del subsidio al Gas Licuado de Petróleo en el Ecuador*. Universidad de Cuenca.
- Rojas, M. D. L., Valencia, M. E. C. y Cuartas, D. P. (2017). Rational cost optimization. [Optimización racional de costos] *Espacios* 38(39): 47-103.
- Sabando-Vera, D., Yonfá-Medrandá, M., Morán Briones, R. y Pereira Robles, A. (2018). Methodological proposal for the planning and optimization of the area of retail store cashiers. *Espacios* 39(18)
- Sintec Customer and Operation Strategy. (2015). *Transporte, el verdadero reto en latinoamérica y colombia*.
- Taha, H. (2012). Investigación de operaciones - Modelo de transbordo. In *Investigación de Operaciones*. <https://doi.org/10.1017/CB09781107415324.004>
- World LPG Association. (2016). *World LPG Association Annual Report 2016*.