

**MODELO LINEAL DE OPTIMIZACIÓN DE TRIPULACIONES EN RUTAS DE ENTREGA
CON VARIABLES CONTINUAS: CASO EMBOTELLADORA DE GASEOSAS EN
SANTANDER**

RICARDO ANDRÉS BONILLA CASTRO

ID 000200453

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
ESCUELA DE ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN Y NEGOCIOS
BUCARAMANGA**

2020

**MODELO LINEAL DE OPTIMIZACIÓN DE TRIPULACIONES EN RUTAS DE ENTREGA
CON VARIABLES CONTINUAS: CASO EMBOTELLADORA DE GASEOSAS EN
SANTANDER**

RICARDO ANDRÉS BONILLA CASTRO

ID 000200453

Trabajo de Grado de la Maestría en Administración

Director:

Ing. Jaime Enrique Sarmiento Suárez

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

ESCUELA DE ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN Y NEGOCIOS

BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por darme la vida para ser parte de este momento especial y darle un sentido inefable mis logros obtenidos. A mi familia por darme el apoyo moral para culminar otro escalón de mi vida profesional que seguramente no será el último, por compartir tantos momentos de felicidad en esta trayectoria de camino al éxito. A NL por su compañerismo y entusiasmo durante el desarrollo de la maestría.

Ricardo Andrés Bonilla Castro

AGRADECIMIENTO

Gracias a los docentes UPB por compartir sus conocimientos y aprendizajes de sus propias vidas en pro de la búsqueda de la excelencia en sus alumnos, por retribuirle a esta sociedad Colombiana un componente humano integral, que satisface las necesidades productivas con ese carácter humano diferenciador.

Agradezco a mi empresa por brindarme los recursos, el tiempo y la posibilidad de desarrollar mis habilidades para ponerlas en práctica en el mundo real, fuera de lo teórico.

Agradecimiento especial a mi director de proyecto por su disposición y apoyo para poder culminar este trabajo de acuerdo a los objetivos planteados, siempre estuvo dispuesto a brindarme el consejo y profesionalismo necesario para apuntarle a la excelencia sobre las adversidades del camino.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	10
1.1. Planteamiento del problema y justificación	10
1.2. Objetivos	13
1.2.1. Objetivo General	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3 Antecedentes	13
2. MARCO TEORICO.....	16
2.1. Investigación de operaciones	17
2.2. Modelos de simulación	17
2.2.1. Formulación de un modelo de programación lineal (PL).....	17
2.2.2. Naturaleza de la programación lineal	18
2.2.3. Programación de la tripulación	18
2.3. Antecedentes	18
3. METODOLOGÍA.....	23
4. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES.....	27
4.1 Información preliminar	27
4.2 Variables.....	29
5. PROPOSICIÓN DEL MODELO	35
5.1. Parámetros de entrada al modelo	37
6. VALIDACIÓN DEL MODELO	42
7. RESULTADOS	44
8. CONCLUSIONES	45
9. RECOMENDACIONES.....	46
10. BIBLIOGRAFÍA.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definición del problema.....	24
Tabla 2. Caracterización de variables.....	29
Tabla 3. Compilación de datos.....	35
Tabla 4. Tiempos por tipo de cliente.....	36
Tabla 5. Puntaje variable Cajas.....	38
Tabla 6. Puntaje variable Cubos.....	39
Tabla 7. Puntaje variable Clientes.....	40
Tabla 8. Puntaje variable RoadNet.....	40
Tabla 9. Porcentajes en peso de las variables.....	41
Tabla 10. Vector resultado.....	41
Tabla 11. Relación de costos entre los modelos: propuesto y actual.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. La relación entre la solución de problemas y la toma de decisiones.....	23
Figura 2. Objetivo final.....	25
Figura 3. Variables del caso estudio.....	26
Figura 4. Estructura actual.....	27
Figura 5. Proceso de despacho.....	28
Figura 6. Clientes atendidos.....	30
Figura 7. Cajas entregadas.....	31
Figura 8. Cubos entregados.....	32
Figura 9. Visualización de ruta vía GPS.....	33
Figura 10. Mapa clientes Bucaramanga y área metropolitana por ruta.....	34
Figura 11. Decisión Greenmile.....	39
Figura 12. Simulación de asignación de ayudantes.....	42

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Modelo lineal de optimización de tripulaciones en rutas de entrega con variables continuas: caso Embotelladora de Gaseosas en Santander.

AUTOR(ES): Ricardo Andrés Bonilla Castro

PROGRAMA: Maestría en Administración

DIRECTOR(A): Jaime Enrique Sarmiento Suárez

RESUMEN

Los procesos logísticos de las empresas cada vez son más especializados y flexibles, por un lado se apunta a la eficiencia que marque la diferencia respecto a las empresas competidoras, garantizando la calidad, tiempo y atención; por otro lado a la reducción de costos, un componente importante para tener en cuenta en las cadenas de suministro cuando son tan complejas. El presente trabajo aborda un problema de distribución en la Embotelladora de Gaseosas, asociado a la optimización del personal utilizado para realizar la entrega de productos, con el objetivo de modelar bajo los requisitos de ley y al menor costo operativo la distribución. Inicialmente se caracterizan las variables de reparto incidentes en los costos propios de la operación de reparto, contemplando los valores actuales de productividad de los principales recursos para la distribución. La segunda fase del trabajo contempla la proposición de un modelo que se adapte dinámicamente a las condiciones del mercado, teniendo en cuenta los picos de volumen tanto positivos como negativos, respondiendo a la demanda sin el desmejoramiento del servicio y atención que la empresa brinda a los clientes, para ello es necesario realizar una revisión exhaustiva a los vectores resultados que avalen los escenarios del modelo y confrontarlos con la realidad para aprobarlos, para los casos negados es necesario volver a simular modificando la sensibilidad de los parámetros de entrada, se corroboran hasta que sean aprobados. La última fase corresponde al análisis del modelo propuesto con respecto al estado actual de la compañía, identificando la relación costo-beneficio de acuerdo a los resultados de las simulaciones. Se presentan los escenarios y promedios de valores económicos que la empresa puede percibir en caso de una implementación futura, así como las recomendaciones para realizar simulaciones en otros sectores de la Embotelladora de Gaseosas.

PALABRAS CLAVE:

Modelación, Optimización, Costos operativos, Variables, Distribución, Cadena de suministro

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Linear model of optimization of crews in delivery routes with continuous variables: case of Bottling of Soft Drinks in Santander

AUTHOR(S): Ricardo Andrés Bonilla Castro

FACULTY: Maestría en Administración

DIRECTOR: Jaime Enrique Sarmiento Suárez

ABSTRACT

The logistics processes of companies are becoming more specialized and flexible, on the one hand, it aims at efficiency that makes the difference with respect to competing companies, guaranteeing quality, time and attention; on the other hand, cost reduction, an important component to take into account in supply chains when they are so complex. This work addresses a distribution problem at the Soft Bottling Plant, associated with the optimization of the personnel used to deliver products, with the aim of modeling distribution under the law and at the lowest operating cost. Initially, the distribution variables incident in the costs of the distribution operation are characterized, considering the current productivity values of the main resources for distribution. The second phase of the work contemplates the proposal of a model that dynamically adapts to market conditions, taking into account both positive and negative spikes in volume, responding to demand without the deterioration of the service and attention that the company provides to For this, it is necessary to carry out an exhaustive review of the results vectors that support the scenarios of the model and confront them with reality in order to approve them. For denied cases, it is necessary to simulate again, modifying the sensitivity of the input parameters are approved. The last phase corresponds to the analysis of the proposed model with respect to the current state of the company, identifying the cost-benefit relationship according to the results of the simulations. The scenarios and averages of economic values that the company can perceive in the event of a future implementation are presented, as well as the recommendations to carry out simulations in other sectors of the Soft Bottling Plant.

KEYWORDS:

Modeling, Optimization, Operating costs, Variables, Distribution, Supply chain

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Las empresas en Colombia definen sus estrategias y políticas de acuerdo con las diferentes relaciones que se dan con las partes interesadas, situaciones que han llevado a las empresas a implementar estrategias para optimizar costos, como por ejemplo la de tercerizar los procesos no misionales y recurrir a figuras habilitadas para ello. El transporte de productos es una figura no misional usada por las empresas comercializadoras de bebidas, este proceso es llevado a cabo a través de microempresas para llevar los artículos desde las bodegas de las empresas hasta los clientes finales.

Las empresas en general buscan generar mayores ingresos mediante el crecimiento de sus ventas o mediante la optimización de sus procesos, contemplando para las empresas tercerizadas parámetros de ingresos y egresos con el fin que éstas sean rentables y perduren en el tiempo.

Las empresas comercializadoras de bebidas se enfrentan a problemas diarios, uno de los principales es la asignación del personal requerido para entregar sus productos a los clientes localizados dentro y fuera de las ciudades, siendo el volumen de ventas una variable continua que afecta directamente esta asignación. Diversos factores como: planes de marketing, cambio climático, altibajos financieros, fenómenos políticos, desastres naturales, etc., repercuten en la cantidad de unidades adquiridas por los clientes. Por estas razones, la asignación de la cantidad óptima de personal de entrega juega un papel importante para hacerlo al menor costo posible.

Con el objetivo de encontrar una asignación de personal de reparto eficiente, este proyecto busca la optimización de las tripulaciones para disminuir los costos asociados a la distribución del producto, teniendo en cuenta las principales variables que intervienen en el proceso, a través de un modelo lineal.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema y justificación

La Embotelladora de Gaseosas a través de los años ha cambiado su forma de administrar los recursos, los procesos y personas, las decisiones tomadas apuntan a la optimización, es aquí en donde los costos juegan un papel importante, entendiendo que la utilidad final puede verse directamente afectada en positivo cuando se logra disminuir esta variable de la ecuación del estado financiero. La compañía cuenta con varios aliados a nivel nacional en sus operaciones logísticas, siendo las microempresas las encargadas de distribuir el producto en cada ciudad del territorio colombiano.

La empresa se encuentra en una posición de optimización de costos en cada parte de su cadena de suministro, debido a la llegada de la ley de financiamiento impuesta por el gobierno, donde los beneficios tributarios de las zonas francas se terminaron y los impuestos pasaron a ser plurifásicos, el margen de rentabilidad se ve seriamente afectado. Por un lado, se realiza replanteamiento de la estructura administrativa, terminando el contrato a más de 300 trabajadores directos en el país y por otro lado se le solicita al personal trabajar estrictamente en los procesos misionales del negocio, aportando ideas que apunten a la reducción de costos sin afectar los procesos.

Por consiguiente, surge la idea de construir un modelo de optimización en el área de distribución, alineado a los requerimientos legales para reducir los costos de la operación de reparto manteniendo un adecuado nivel de servicio al cliente, teniendo en cuenta que las ventas son variables y no responden estrictamente a variables estacionarias, el mercado puede incluso tener picos altos imprevistos respondiendo a promociones de baja envergadura.

Actualmente la cantidad de personas pertenecientes al proceso de distribución del producto es fija, no atiende las necesidades de acuerdo a las ventas, puesto que en los picos altos de volúmenes se dispone

de la misma cantidad que en los picos bajos. Existe un personal de banca de reparto dispuesto a ser usado en casos de ausentismos, pero no está ligado a la necesidad real del volumen. La compañía cuenta con camiones para transportar tres o cuatro tripulantes, donde en los estados de resultados de los microempresarios se contempla esta cantidad de personal, cuando hay volúmenes bajos de ventas, debería responder la cantidad de personal de reparto a esta reducción para apuntar al costo mínimo, cumpliendo así con los tiempos de entrega y cantidades a entregar.

Al diseñar un modelo matemático que comprenda las variables más representativas del proceso de distribución, se pretenderá optimizar la actividad de reparto, estandarizar la operación e indirectamente mejorar otros indicadores como los de seguridad, administración y calidad, es importante para la compañía evaluar diferentes alternativas, probar estos pilotos y replicarlos en los diferentes países donde hace presencia, en Colombia especialmente para mantener la calidad de vida de los empleados y asegurar la competitividad y estabilidad.

Uribe y Escalante (2014) afirman que las embotelladoras de gaseosas se enfrentan a los retos de disminuir los costos logísticos que representan aproximadamente el 14,97% de las ventas, el desfase de los tiempos de entrega, los pedidos incompletos y los daños o errores en los documentos. El Departamento Nacional de Planeación (DNP) tiene como objetivo reducir este porcentaje al 12% para el año 2030, pues trabaja en conjunto con la Presidencia de la República en estrategias para mejorar la competitividad de las empresas y del país.

Las empresas productoras, embotelladoras y comercializadoras de bebidas dedican grandes esfuerzos para optimizar sus procesos con el fin disminuir costos. Existen pocos referentes bibliográficos asociados a la solución de los problemas logísticos a los que se enfrentan las grandes empresas, pues en la forma de operar se pueden marcar las diferenciaciones que le darán a cada empresa una ventaja

competitiva en el mercado nacional o incluso internacional, en Colombia son cuatro las multinacionales trabajando con bebidas: Coca-Cola, Bavaria, Postobón y Big-Cola.

Actualmente la empresa Coca-Cola cuenta con 114 personas para la distribución del producto en el formato entrega-preventa, este formato contempla visitas por parte del prevendedor, una promesa de venta y posterior entrega del producto solicitado; del total del personal 27 son aliados y los demás son ayudantes, por restricciones viales en Bucaramanga y su área metropolitana tiene localizadas 5 bodegas, cada bodega tiene asignado un aliado y determinada cantidad de ayudantes para un total de 18 personas. Quedando así 25 aliados con camión y 89 ayudantes tripulantes.

Se atienden 9258 clientes en Bucaramanga y su área metropolitana bajo la modalidad de entrega con camión, estos clientes se atienden de lunes a sábado y con frecuencia establecida de acuerdo al volumen de compra, es decir, cada cliente debe cumplir con un índice de compra definido por ventas para ser atendido por el prevendedor determinado número de días, para un total de 12.821 visitas en promedio semanal.

La cantidad promedio de visitas a los clientes al año se mantienen, pero las ventas varían a lo largo del año por diferentes factores, las ventas responden rápidamente a las estrategias de marketing y pueden verse afectadas negativamente por agentes externos. La productividad de una persona de entrega está definida por la empresa en 100 cajas físicas por día y para que un camión sea productivo debe llevar valores superiores a las 300 cajas físicas, el límite de carga está establecido por el peso neto máximo permitido por el Ministerio de Transporte.

Existen días donde el volumen de ventas es muy bajo, pero la cantidad de clientes para atender es constante, en este caso no es posible atender más de 100 clientes por camión en un solo día, debido a la restricción de tiempo de entrega. Los concesionarios perciben sus ingresos mediante un flete fijo y un flete

variable correspondiente a las cajas entregadas. Para los días de volumen bajo los camiones salen con la tripulación completa, siendo improductivos porque el volumen de cajas es insuficiente y el valor del flete variable no compensa los egresos; nace de esta oportunidad la pregunta de investigación:

¿Es posible determinar la cantidad de personal de reparto que debería ser asignado a los camiones en la Embotelladora de Gaseosas para que sea flexible a las ventas y permita reducir los costos asociados a la operación de entrega?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Crear un modelo que permita determinar la cantidad óptima del personal de distribución necesario para la entrega de los productos de la Embotelladora de Gaseosas de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, cumpliendo con los requisitos legales, los estándares de servicio al cliente y buscando la minimización del costo de la operación.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las variables que influyen en los costos asociados al personal de reparto en la logística de distribución de los productos de la Embotelladora de Gaseosas de la ciudad de Bucaramanga.
- Proponer un modelo lineal teniendo en cuenta las principales variables logísticas que permita predecir con anterioridad las necesidades de distribución en cuanto a la cantidad de personal.
- Validar el modelo propuesto versus el modelo actual identificando la relación costo/beneficio.

1.3 Antecedentes

Este apartado comprende los antecedentes referentes al problema planteado, con una breve historia de los métodos utilizados para la solución de problemas desde que se inició con el concepto

“administración de la cadena de suministro”. Chopra y Meindl (2013) narran como se incorporó esta noción por los directores ejecutivos, de finanzas, de operaciones y de información sobre la década de los 90’s, por estos años la dinámica del entorno global hizo desaparecer a muchas organizaciones y adaptarse al cambio a los restantes. Este término se vino desarrollando desde 1960 con el conocimiento de la distribución física, enfocado en la parte saliente del sistema logístico, reconociendo las relaciones entre: transporte, requerimientos de inventario, almacenamiento, embalaje exterior, manejo de materiales y otras actividades, donde el engranaje de estos componentes del sistema definen una empresa más competitiva en el mercado global.

Mantener una cadena de suministro eficiente y efectiva requiere atender diversos problemas de acuerdo a los tipos de mercados, políticas, requerimientos de transporte, regulaciones comerciales, impuestos, etc., adicionalmente es necesario simplificar y flexibilizar en la medida los procesos, pues cada vez las empresas manejan una cantidad superior de referencias, proveedores y clientes.

El transporte cumpliendo un papel dentro de la cadena de suministro, vincula entre dos coordenadas a socios, clientes, proveedores, plantas, almacenes, tiendas, etc., a través de un medio como avión, tren, barco, camión, tubería, fibra óptica, entre otros, facilitando tiempo y lugar. El Banco Interamericano de Desarrollo (2015) afirma que el impacto económico del transporte es de gran envergadura, solo en EEUU se gastaron 760.000 millones de dólares en el año 2010, representado el 63% de los gastos en logística. En América Latina los costos logísticos representan entre 18% y 35% del valor del producto final. Por este motivo la red logística debe tenerse en cuenta durante el desarrollo de estrategias encaminadas a la reducción de costos y gastos.

Dentro de este marco en Colombia diferentes empresas se enfrentan a esta problemática, en donde los directores buscan a toda costa la optimización de los procesos, diferentes universidades han aportado mediante la aplicación de métodos:

En la Universidad Industrial de Santander, Niño (2015) desarrolló un Framework para la solución del problema de Distribución, este modelo consistió en buscar la mejor alternativa para llevar un producto desde un centro de almacenamiento al cliente, utilizando la metahurística de optimización evolutiva por enjambre de partículas. El modelo fue simulado en MATLAB teniendo en cuenta los principales parámetros del modelo definidos por el autor.

Por otra parte, Díaz y Orozco (2016), realizaron una identificación de los atributos que son relevantes al momento de seleccionar un servicio logístico de transporte y al mismo tiempo genere retención. Los temas tratados en el proyecto realizado pueden contribuir al desarrollo de este trabajo, porque vincula los principales factores percibidos por el cliente respecto al servicio logístico.

Otra contribución la hace Bazargan (2016), donde explica la gran complejidad presentada en las operaciones de las aerolíneas, con referencia a estas problemáticas muchos catedráticos e investigadores han despertado gran interés en la logística aeroportuaria. Uno de los problemas a los que se enfrentan es la asignación de la tripulación de las naves de acuerdo a las secuencias de vuelo disponibles; los costos asociados al personal incluyen salarios, beneficios y gastos, siendo los segundos costos de mayor impacto después del combustible.

Partiendo de los estudios anteriormente nombrados y a medida de profundizar en el problema a tratar, se incorporarán nuevas referencias para dar solución al caso Coca-Cola, partiendo de su estado actual: cuenta con 24 rutas cabina extendida en Bucaramanga y su área metropolitana, con tripulación fija de 4 personas, en las cuales la productividad por trabajador varía de acuerdo al volumen de forma diaria.

- La productividad por persona es 115 cajas/día tanto para las rutas cabina extendida y como sencilla.

- El 42% de los días la productividad por persona de las rutas cabina extendida es inferior a 115 cajas físicas.
- La asignación del personal se realiza cuando se implementa una reestructura, con base en factores como: número de clientes, cajas por cliente y densidad del territorio.
- El salario de un ayudante actualmente está en \$2.027.183 para Bogotá, y \$1.826.220 para el resto del país. El costo del personal de banca es de \$ 1.983.697 aproximadamente.

2. MARCO TEORICO

En esta sección se tratarán las literaturas y definiciones que enmarcan el desarrollo del problema planteado. Con respecto a la programación lineal Haeussler y Paul (2003), relatan que este concepto nace aproximadamente en 1940, con el desarrollo del método de análisis insumo producto-desarrollado por el estadounidense Wassily Leontief; siete años más adelante otro americano llamado George Stigler planteó el problema de la dieta, en donde pretendía realizar la mejor combinación de alimentos de acuerdo a las necesidades del cuerpo humano al menor costo posible. El doctor George Dantzig desarrolló el primer programa lineal en ese mismo año dando solución al problema de la dieta mediante el método simplex. A partir de 1950 se empezó a desarrollar la programación lineal y gracias al avance de la tecnología se resolvieron problemas de gran magnitud, de forma ágil y eficiente.

En este orden Bülbül (2008), aborda el método simplex, con sus inicios en el año 1950, se usa en la actualidad en diversos campos de aplicación, aunque no ha sido posible resolver variedad de problemas debido a la complejidad de las variables, así como las restricciones. Para estos casos ha sido necesario descomponer los problemas y trabajarlos por separado para llegar a una alternativa viable. No es el único método para desarrollar programas lineales, pues los algoritmos de punto interior son su principal

competencia, es aquí donde los avances tecnológicos juegan un papel importante con programas especializados.

2.1. Investigación de operaciones

De acuerdo con Munguía & Protti (2005) precisan la investigación de operaciones como la aplicación de métodos científicos a los diversos problemas que se presentan en la dirección y administración de grandes sistemas donde interactúan hombres, máquinas, materiales y dinero, con el fin de producir soluciones para mejorar los objetivos de las organizaciones. Cuando se habla de investigación de operaciones se debe entender el concepto de «sistema», entendido como el conjunto de elementos interdependientes, centrados en la coordinación de esfuerzos, para alcanzar un mismo objetivo. Cuando alguno de los elementos afecte de manera significativa otro componente del sistema, la organización no funcionará bien.

2.2. Modelos de simulación

La simulación se define como el proceso de diseñar un modelo a partir de un sistema real y realizar experimentos con él para el propósito de comprender el comportamiento del sistema o de evaluar varias estrategias dentro de los límites impuestos por un criterio o una serie de criterios para la operación de este sistema. La simulación de redes incluye crear una representación por computadora de la red logística y la cadena de suministro y después observar las características de costo y servicio de la red cuando varían las estructuras de costos, las restricciones y otros factores.

2.2.1. Formulación de un modelo de programación lineal (PL)

Los modelos de PL se definen como herramienta de apoyo a la toma de decisiones tanto por sus propiedades que facilitan su resolución, como así también su pertinencia a distintos problemas de naturaleza real de acuerdo con Mocholi & Garrido (1993).

2.2.2. Naturaleza de la programación lineal

Moya (2013) define la PL como una técnica de la Investigación de Operaciones más aplicada y mejor conocida. Básicamente, la PL trata de buscar la mejor forma de asignar recursos limitados a diferentes actividades competidoras. Las organizaciones disponen de diversos recursos (humanos, económicos, tecnológicos, etc.), los cuales son necesariamente limitados, debido a su naturaleza. Las formas en que se pueden distribuir y utilizar estos recursos son múltiples y diversas. Pero no todas ellas proporcionan beneficios a la organización. Sólo una o unas pocas brindarán el máximo beneficio a la organización. Son precisamente estas soluciones óptimas las que pueden encontrar las técnicas basadas en la PL.

2.2.3. Programación de la tripulación

La programación de la tripulación se define como el problema de asignar un grupo de trabajadores (Tripulación) a un conjunto de tareas (Barnhart, Cohn, Klabjan, Johnson, Vance, & Nemhauser, 2003). Los problemas presentados en la programación de la tripulación se pueden presentar en diversos sistemas de transporte como el ferroviario, buses de transporte, camiones de carga, aviación, entre otros, con el mismo objetivo de minimizar los costos operacionales.

En el caso de los camiones de carga, el proceso de la programación de la tripulación está definido como un número fijo de acuerdo a la cantidad de vehículos que se tengan para operar en un día determinado y la respectiva cantidad de clientes. Para los casos en los que el volumen de ventas se incrementa, así como las visitas, se crean rutas variables para satisfacer las necesidades de distribución y requerimientos de los clientes.

2.3. Antecedentes

A continuación, se presenta la relación de trabajos realizados que incluyen teoría aplicada al caso de estudio:

Autor	Descripción
(Hoogeboom y Dullaert, 2019)	<p>Las compañías de valores, realizan movimientos de grandes sumas de dinero a bancos, cajeros automáticos y tiendas, por razones de seguridad estas empresas deben utilizar diferentes rutas. Los gerentes de seguridad afirman que el momento de llegada al cliente o cuando el vehículo está detenido es cuando son más vulnerables. Este caso de estudio contempla alternar los tiempos de llegada a cada cliente y minimizar los costos del transporte. Este artículo presenta un modelo de enrutamiento del vehículo con diversificación del tiempo de llegada, el cual puede respaldar la toma de decisiones en diferentes entornos prácticos, como por ejemplo el transporte de bienes valiosos o rutas de patrullaje para empresas de seguridad. El modelo propone si una ruta es viable en una ventana de tiempo cuando hay múltiples ventanas de tiempo disponibles por cliente y cuando no se permite tiempo de espera.</p>
(Pérez y Hernández, 2019)	<p>Los autores presentan una solución al problema de enrutamiento de vehículos (VRP) para encontrar rutas de viaje mínimo en un conjunto de vehículos. Para este caso de estudio las rutas contienen un conjunto de clientes con demandas conocidas, cada vehículo sale y llega al mismo depósito. En el problema de enrutamiento del vehículo con las ventanas de tiempo (VRPTW), cada vehículo tiene que llegar en una ventana de tiempo específica con cada cliente y también cada vehículo tiene que regresar al depósito antes de tiempo. En este trabajo se propone el uso de una estimación del algoritmo de distribución para resolver el problema mediante la distribución de Mallows generalizada como modelo de probabilidad para describir la distribución del espacio de la solución. Las instancias de Homberger Gehring se utilizan como parámetros de entrada y de prueba para mostrar que la modificación de la distribución de Mallows generalizada mencionada es capaz de producir secuencias competitivas para el VRPTW contra alguna otra estimación de algoritmos de distribución utilizados en problemas de optimización basados en la permutación.</p>

<p>(Toffolo, Vidal, y Wauters, 2018)</p>	<p>Los autores investigaron una descomposición estructural para el problema de enrutamiento de vehículos capacitados (CVRP) basado en la asignación de vehículo a cliente y las variables de decisión de secuenciación de visitas. Se muestra una búsqueda heurística centrada en las decisiones de asignación con una elección sistemática óptima de secuencias durante cada evaluación de movimiento es prometedora, pero requiere un esfuerzo computacional prohibitivo. Por lo tanto, se introduce un espacio de búsqueda intermedio, basado en el procedimiento de programación dinámica de Balas y Simonetti, que encuentra un buen compromiso entre la intensificación y la eficiencia computacional.</p> <p>En esta investigación se propone una variedad de técnicas de aceleración para una exploración rápida: reducciones de vecindario, filtros de movimiento dinámico, estructuras de memoria y técnicas de concatenación. Por último, diseñaron una estrategia de tunelización para remodelar el espacio de búsqueda a medida que avanza el algoritmo. La combinación de estas técnicas dentro de una búsqueda local clásica, así como en la búsqueda genética híbrida unificada (UHGS) conduce a mejoras significativas en la precisión de la solución. Se encuentran nuevas mejores soluciones para casos sorprendentemente pequeños con tan solo 256 clientes. Esta investigación permite evaluar mejor el impacto respectivo de la secuencia y la optimización de la asignación, propone nuevas formas de combinar la optimización de estos dos conjuntos de decisiones y abre perspectivas de investigación prometedoras para el CVRP y sus variantes.</p>
<p>Hong, Lee, Cheong, y Lee, 2018</p>	<p>En esta investigación los autores revisaron un problema de optimización para una empresa de envíos que proporciona un servicio de entrega bajo demanda en el que sus clientes visitan un lugar específico llamado centro de entrega (por ejemplo, una tienda de conveniencia o un casillero de Amazon) para recoger sus artículos por sí mismos, en lugar de Entrega de los productos comprados en línea a los clientes directamente. En este problema, seleccionaron centros de entrega accesibles para todos los clientes y determinamos la ruta</p>

	<p>de entrega óptima que minimiza los costos proporcionales a la distancia recorrida por el vehículo de entrega, el tiempo de entrega y los costos. Esta es una extensión del problema de los vendedores ambulantes con una restricción de ventana de tiempo, que determina simultáneamente las ubicaciones de los centros de entrega para la recolección del cliente y la ruta de entrega. Para resolver este problema y mejorar la práctica gerencial, se propuso un modelo de programación matemática y un algoritmo de solución eficiente de dos fases basado en una heurística de colonias de hormigas que se adapte mejor a la realidad. Al abordar los problemas de optimización de entrega a pedido, las compañías de envío pueden garantizar la satisfacción del cliente al tiempo que reducen costos de envío.</p>
<p>(Huang, Blazquez, Huang, Paredes, y Latorre, 2019)</p>	<p>Esta investigación muestra el problema del enrutamiento del vehículo alimentador (FVRP), es una nueva variante del problema del enrutamiento del vehículo (VRP), en el que cada cliente recibe el servicio de un vehículo grande (camión) o pequeño (motocicleta). En este tipo particular de entrega, los camiones y las motocicletas deben salir del depósito, visitar a los clientes y eventualmente regresar al depósito. Durante el proceso de entrega, las motocicletas viajan a las ubicaciones de los camiones para recargar. El algoritmo de optimización de colonias de hormigas (ACO) se emplea para resolver el problema con el objetivo de determinar el número de sub-flotas de despacho y las rutas óptimas para minimizar el costo total (ruta fija y costos de viaje). Se generan tres conjuntos de datos de referencia para examinar el rendimiento de la FVPR. Para fines de comparación, todas las instancias se ejecutaron enviando solo camiones como en el VRP tradicional y una heurística jerárquica de cuatro etapas. Además, ACO se compara con soluciones óptimas para casos pequeños. Los resultados indican que el algoritmo ACO propuesto produce soluciones prometedoras particularmente para grandes instancias dentro de un marco de tiempo razonable y de manera eficiente.</p>

<p>(An, Fang, Li, y Nie, 2017)</p>	<p>Este trabajo muestra la aplicabilidad de ecuaciones para linealizar productos discretos (ELDP), al proporcionar una nueva linealización para manejar términos no lineales más complicados que involucran variables continuas tanto discretas como limitadas. Se propone formalmente una clase general de problemas de programación representables para una gama mucho más amplia de aplicaciones de ingeniería. También, al explotar la característica logarítmica incorporada en la estructura discreta, presentamos un modelo de reformulación lineal mejorado que requiere la mitad de un orden de menos ecuaciones que el ELDP original. Los experimentos computacionales en varios problemas de diseño de ingeniería apoyan la eficiencia computacional superior de la reformulación de linealización propuesta para resolver problemas de optimización de ingeniería con variables continuas discretas y limitadas.</p>
<p>(Gaur, Mudgal, y Ranjan, 2018)</p>	<p>En este artículo se proporcionan algoritmos de aproximación aleatorios para VRP acumulativos estocásticos para las entregas divididas y no divididas.</p> <p>El problema de enrutamiento métrico del vehículo acumulado con demandas estocásticas (Cu-VRPSD). Los resultados extienden a la función objetivo de costo acumulativo para gráficos que obedecen a la desigualdad del triángulo. Estos resultados extienden los resultados para demandas estocásticas. Se prueba que un algoritmo aleatorio tiene una relación de aproximación de $\max\{1 + 1.5\alpha, 3\}$ para la entrega dividida Cu-VRPSD donde α es la relación de aproximación métrica. Para el caso de entrega sin dividir, establecemos un límite de 6 en la relación de aproximación. Para la entrega dividida en árboles, damos un límite de 3. Para las entregas no divididas en árboles, damos un límite de 4. Para los casos en el plano euclidiano, los resultados implican una aproximación de 3 para la entrega dividida y 4 aproximaciones para la entrega no dividida. Una pregunta natural es reducir los límites de máximo $\{1 + 1.5\alpha, 3\}$ y 6 para la entrega dividida y la entrega no dividida Cu-VRPSD, respectivamente.</p>

Fuente: Elaboración propia

3. METODOLOGÍA

Este trabajo es desarrollado mediante una investigación cuantitativa basada en el análisis y estudio de los datos suministrados por la Embotelladora de Gaseosas. Asimismo, se van a tener como base otros trabajos con parámetros similares, realizados en diferentes partes del mundo, como por ejemplo el trabajo desarrollado Hong, Lee, Cheong, y Lee (2018), donde ahondaron en la metodología “colonia de hormigas” en una empresa de envíos y teniendo como resultado un algoritmo que permite optimizar el proceso de distribución.

Este proyecto va a ser desarrollado a través de la metodología propuesta por: Anderson, Sweeney y Williams (2004) para dar cumplimiento a los objetivos específicos expuestos y a su vez respondiendo a la pregunta de investigación mediante el marco conceptual del modelo de optimización con múltiples variables, los resultados del estudio serán contrastados con los valores actuales.

Figura 1. La relación entre la solución de problemas y la toma de decisiones.



Fuente: Anderson, Sweeney y Williams (2004).

Fase I. Definir el problema: Se hace recopilación de la mayor cantidad de información correspondiente a la distribución de producto de la empresa Coca-Cola en Bucaramanga, así como la teoría existente en la literatura y bases de datos que apunten al desarrollo del proyecto.

En esta fase se presenta la definición del problema, para el desarrollo se llevará a cabo la relación presentada en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición del problema.

¿QUÉ ES NECESARIO HACER?	¿CÓMO SE PUEDE LLEVAR A CABO?
ESTUDIAR EL PROBLEMA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Buscar información: recoger datos e indicadores del problema. ➤ Comparar con situación similares: en otras instituciones, universidades, departamentos, etc. ➤ Organizar toda la información de la que dispone. ➤ Analizar la información. ➤ Sintetizarla. ➤ Redactar un informe sintético.

Fuente: Elaboración propia

Fase II. Identificar las alternativas.

Esta fase creativa busca soluciones mediante la generación de ideas, una vez se tiene acotado el problema de distribución de la empresa, apuntando al resultado mostrado en la Figura 2. Se tiene en Bucaramanga y su área metropolitana diferentes áreas con distintas características de población, pues varían no solo sus tendencias de consumo de los productos de la Embotelladora, sino también la demografía. La identificación de las alternativas debe tener en cuenta estos parámetros de entrada y demás variables continuas para encontrar los valores óptimos de trabajo.

Figura 2. Objetivo final.



Fuente: Elaboración propia

Fase III. Determinar los criterios. A partir de la información seleccionada se determinaron las variables que repercuten en los costos asociados al personal de entrega, se tienen en cuenta aquellos datos que conducen a la función objetivo, es decir, el modelo solamente mantiene la información confiable.

Fase IV. Construcción del modelo. Se realizará un algoritmo de programación lineal con variables continuas para definir diariamente un pronóstico de la cantidad de personal de reparto que debe ser asignado a cada camión. Este algoritmo debe procesar la información en el menor tiempo posible una vez alimentado con la información de ventas del próximo día.

Para valorar las alternativas convenientemente tenemos una serie de criterios:

- Beneficios objetivos estimados ¿qué ganamos?
- Probabilidad de éxito estimada ¿qué probabilidad tenemos de lograrlo?
- ¿Depende de nosotros ponerlo en marcha o no? (dependencia interna o externa)
- Medios necesarios (personas, materiales, etc.)
- Tiempo estimado de puesta en marcha.

- Costos asociados ¿qué riesgos vamos a correr? En cualquier caso, ante un problema importante, si terminamos la valoración de alternativas sin encontrar alguna que sea realmente satisfactoria, no podemos abandonar el problema por ello. Cuanto más importantes son los problemas, más difícil resulta encontrar soluciones viables y eficaces. ¿Qué hacer si después de la valoración de alternativas no encontramos soluciones adecuadas?:

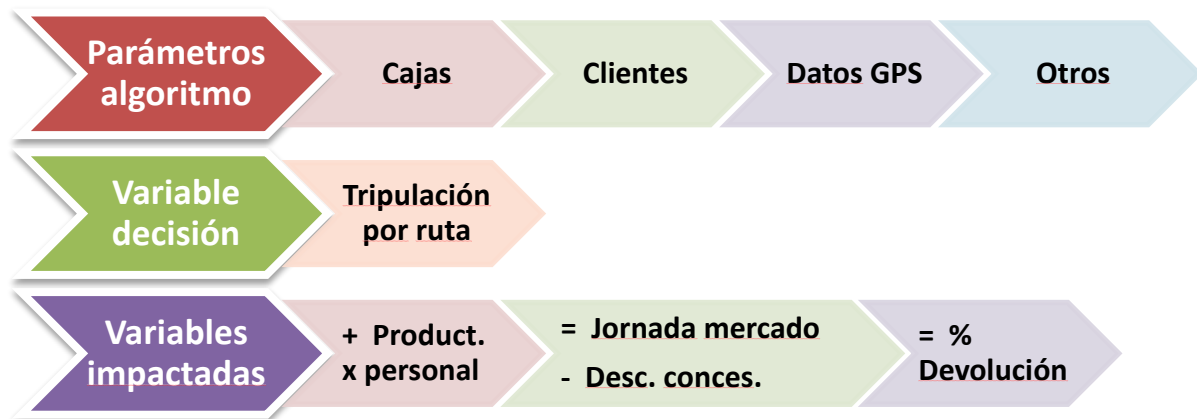
- Volver a intentar la generación de ideas usando métodos complementarios.

- Revisar el proceso de análisis del problema.

Fase V. Solución del modelo.

Se identificarán los casos excepcionales de acuerdo a posibles restricciones externas, temas como el orden público, restricción vehicular y difícil acceso pueden inferir en la necesidad de llevar los cuatro tripulantes por ruta de entrega.

Figura 3. Variables del caso estudio.



Fuente: Elaboración propia

4. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

4.1 Información preliminar

En la Figura 4 se presenta la composición de la flota del caso estudio, existen 4 tipos de vehículos: mototrailer extendido, cabina extendida, cabina sencilla y NPR. El mototrailer extendido se compone de una moto de reparto y un camión de 10 compartimientos de cabina doble, estos camiones están diseñados para cargar en promedio 500 Cajas Físicas (CF) y atender 115 clientes por día con una tripulación de 4 personas (dos conductores y dos ayudantes cajeros). El camión cabina extendida se compone de un camión de 10 compartimientos con cabina doble para albergar a 4 tripulantes (un conductor y 3 ayudantes), está proyectado para llevar 500 CF y 110 clientes por día. El camión cabina sencilla tiene 10 compartimientos, lleva 3 tripulantes (un conductor y dos ayudantes) para cargar en promedio 400 CF y visitar 80 clientes.

Figura 4. Estructura actual.

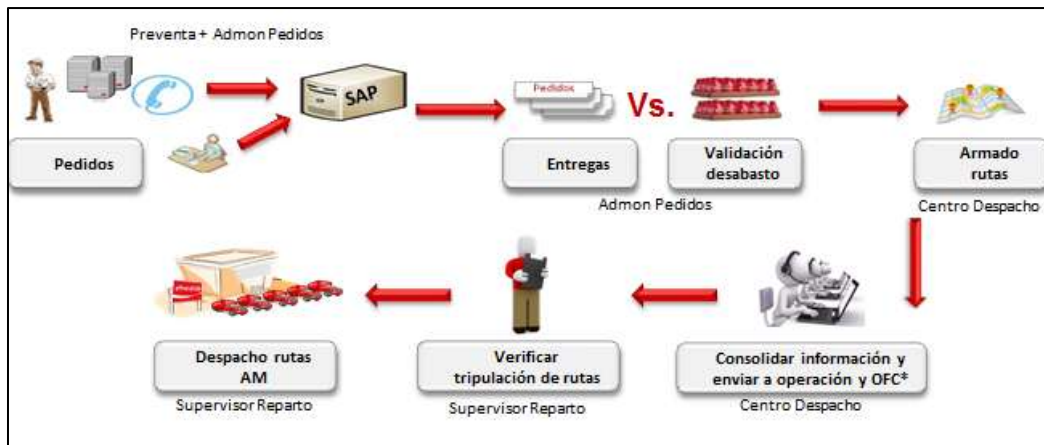


Fuente: Elaboración propia

El Head-Count (HC) es la cantidad de personas que participan en el proceso de distribución, este se ajusta únicamente ante implementación de reestructuras y los factores incidentes son: número de clientes, cajas por cliente y densidad del territorio.

El proceso de despacho mostrado en la Figura 5 inicia con la preventa del producto, existen 50 prevendedores realizando la visita cliente a cliente con la promesa de entrega para el siguiente día. Los pedidos tomados se graban en las máquinas Hand-Held (HH) y esta información se baja al sistema de información SAP una vez terminada la labor. El área de administración de pedidos y operaciones validan los productos existentes a despachar. Una vez se tiene esta información se procesan los pedidos en el Centro de Despacho en las oficinas de Bogotá, en donde se realiza el ruteo y balanceo de los pedidos en los camiones. Una vez establecidas las rutas se envía a Bucaramanga la información para imprimir la papelería y el supervisor de reparto aprueba la salida de los camiones para realizar las respectivas entregas a los clientes.

Figura 5. Proceso de despacho.



Fuente: Elaboración propia

4.2 Variables

Las variables presentes en el proceso logístico de este proyecto se describen en la Tabla 2, a pesar de existir una gran magnitud de variables que repercuten en el costo de distribución se seleccionaron los más representativos y de los cuales se puede extraer la información de bases de datos y programas de la compañía. El tipo de variables se muestran de tipo: continua y discreta, en donde es necesario dejar todas a tipo continuas para el tratamiento de datos en la hoja de cálculo apuntando a tener resultados más precisos. La columna «Fuente» indica de donde se extrae la información, puede ser de: un archivo de base de datos, un programa especializado o un documento diario de ventas de la empresa. En la columna «Relación» se presentan las conexiones existentes entre las variables.

Tabla 2. Caracterización de variables

Variable	Descripción	Tipo	Fuente	Relación
Cientes	Personas naturales o jurídicas que realicen pedidos	Continua	Maestro	Independiente
Cajas	Número de unidades físicas	Continua	Cargue diario	Dependiente de clientes
Cubos	Volumen de las cajas pedidas	Continua	Cargue diario	Dependiente de cajas
GPS	Ubicación de los clientes	Discreta	Plataforma AZ-Lógica	Dependiente de clientes
Bitácora	Horas de salida y llegada a la planta de las rutas	Continua	SAP	Independiente
Roadnet	Tiempos arrojados por la aplicación Road-Net enterprice.	Continua	Plataforma	Independiente
Greenmile	Itinerarios proporcionados por los entregadores de los camiones	Continua	Maestro	Dependiente de clientes

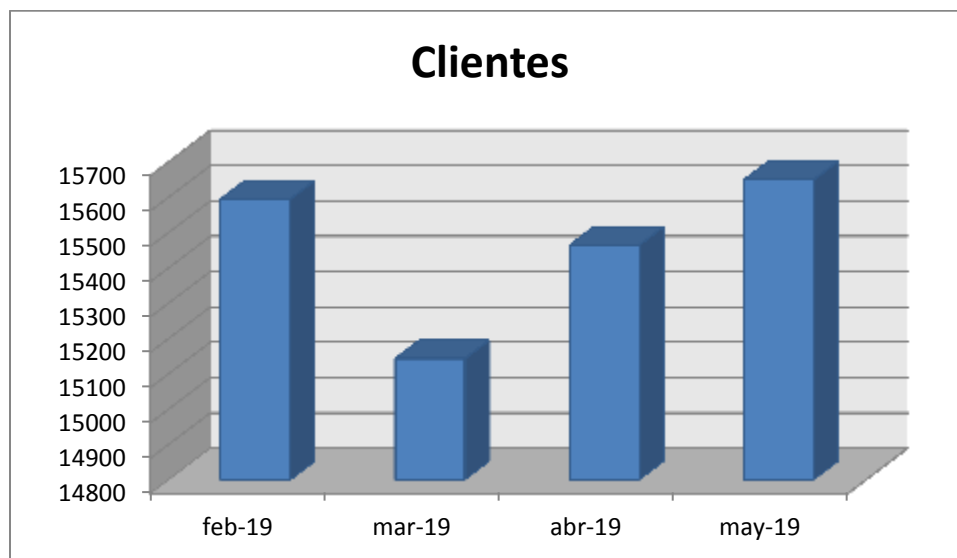
Fuente: Elaboración propia

Cientes: la variable clientes está definida como una persona natural o jurídica creada en una base de datos de la empresa, dispuesta a realizar la compra de productos por valor superior a los \$30.000 un día determinado. La Embotelladora de Santander atiende entre 15.000 y 16.000 pedidos por mes, estas demandas pertenecen a los clientes que son visitados por prevendedores o llamados por televendedores,

con promesa de entrega del producto de 24 horas hábiles posteriores a su atención. Esta cantidad de pedidos varía de acuerdo al comportamiento de compra de los clientes como se muestra en la Figura 6, esta variable puede tomar valores de 1 a 1200 por día, el modelo debe tomar estos valores para asignar la respectiva tripulación.

Se atienden 9258 clientes en Bucaramanga y su área metropolitana bajo la modalidad de entrega con camión, estos clientes se atienden de lunes a sábado y con frecuencia establecida de acuerdo al volumen de compra, es decir, cada cliente debe cumplir con un índice de compra definido por ventas para ser atendido por el proveedor determinado número de días, para un total de 12.821 visitas en promedio semanal.

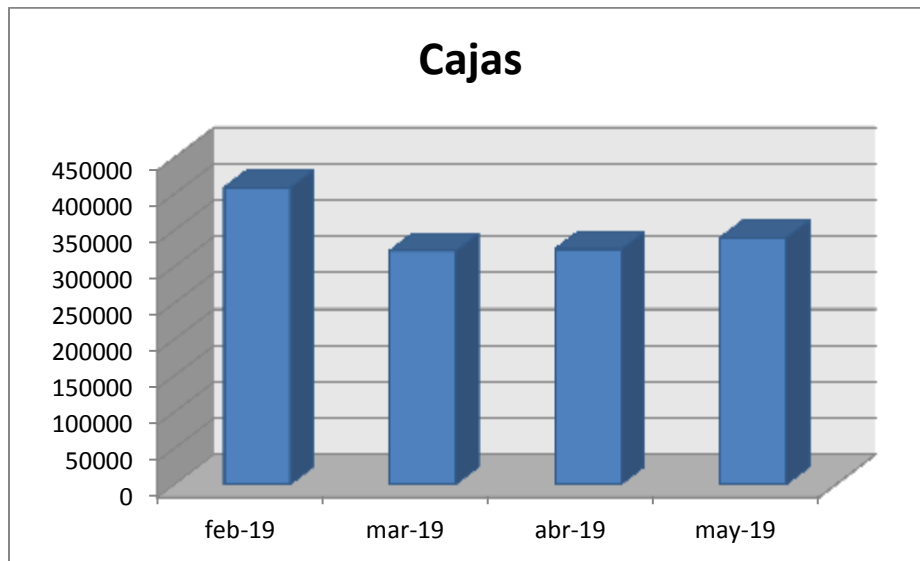
Figura 6. Clientes atendidos.



Fuente: Elaboración propia, fundamentado en datos de entregas realizadas por la Embotelladora.

Cajas: Las cajas físicas son una de las variables que dependen de los clientes, estas varían de acuerdo a la cantidad de unidades solicitadas, esta variable puede tomar valores de 0 a infinito, dado que un camión puede regresar a la planta y recargar la cantidad de veces que sea necesario para cumplir con la entrega. En promedio se entregan 350.000 cajas por mes.

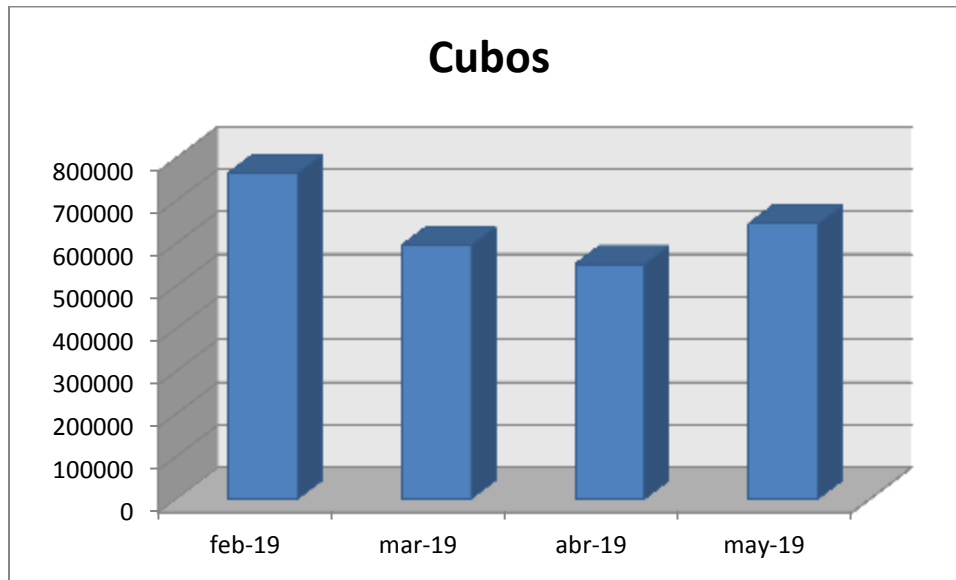
Figura 7. Cajas entregadas.



Fuente: Elaboración propia

Cubos: «un cubo» está definido por la unidad patrón correspondiente a una caja de 8.000 cm³, cada producto tiene un cubicaje diferente de acuerdo a su volumen, por ejemplo: una caja del producto que contiene 12 botellas de 1,25 Lt, ocupa un volumen de 2,5 cubos. Los cubos son una variable dependiente de las cajas pedidas, aunque cada camión puede transportar 1000 cubos, tampoco presenta restricción en el modelo, debido a la misma condición de cajas, al realizar el retorno a la distribuidora para recargar la cantidad requerida por los clientes.

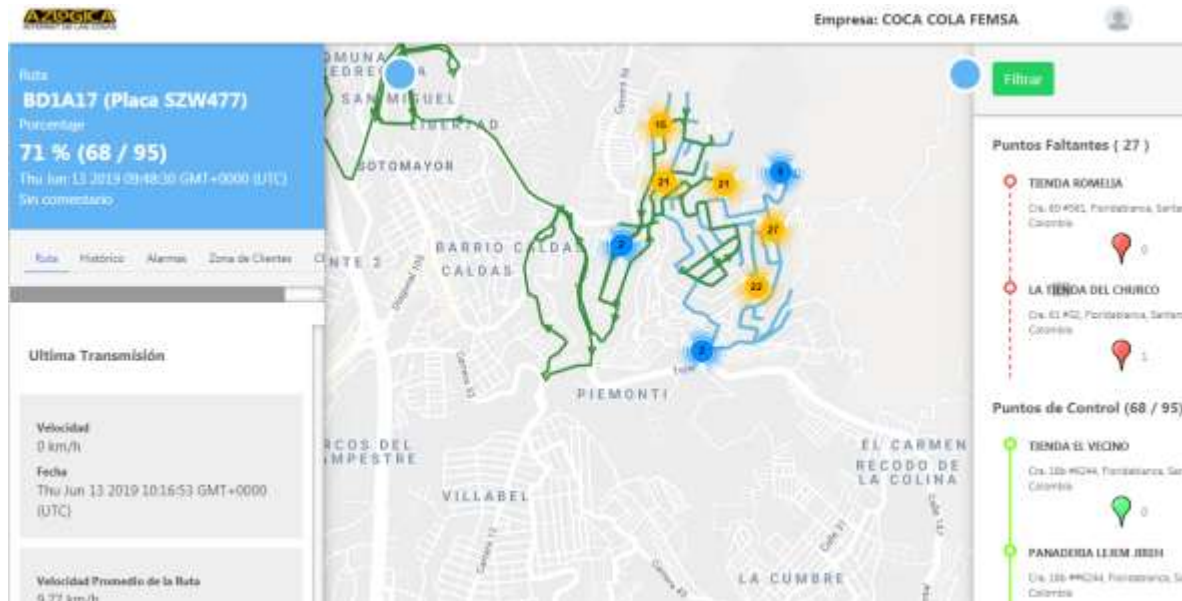
Figura 8. Cubos entregados.



Fuente: Elaboración propia

GPS: La variable GPS hace referencia a la distancia entre clientes y las posiciones de paradas de los camiones, esta variable tendrá valores entre 10 m y 25 km. Esta variable depende de los clientes que realicen pedido, así el modelo tendrá en cuenta la posición del cliente para tomar las coordenadas y asociarlo a la parada más cercana y asignarlo a determinado camión.

Figura 9. Visualización de ruta vía GPS.

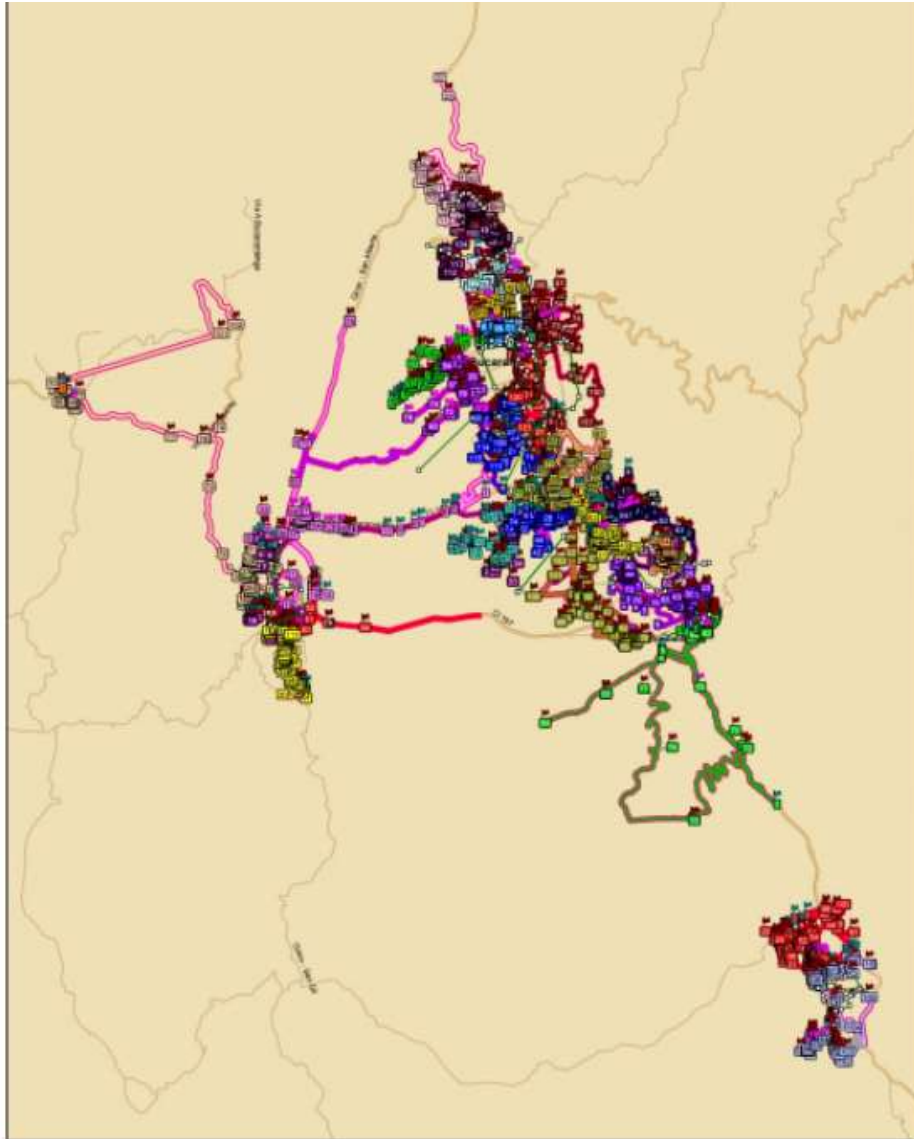


Fuente: Elaboración propia

Bitácora: Los datos de la bitácora pertenecen al histórico de los tiempos realizados por los camiones en el mercado, es decir, desde que abandonan el centro de distribución hasta retornar por última vez a este. Estos valores se deben tener en cuenta para no sobrepasar la jornada de entrega de 12 horas, siendo este su límite máximo.

RoadNet: La variable RoadNet arroja un estimado de tiempos de control por cliente. Se considera variable independiente y su función es controlar el modelo con aproximaciones en tiempos de atención por cliente. Puede tomar valores desde 1 minuto hasta 10 horas, a medida que el modelo madure, esta variable se dejará de tener en cuenta, para llegar a una mejor proximidad con los datos arrojados por el GPS de los vehículos.

Figura 10. Mapa clientes Bucaramanga y área metropolitana por ruta.



Fuente: Elaboración propia

Greenmile: La variable GreenMile se creará para tener en cuenta horarios específicos de entrega de los pedidos de los clientes, debido a su complejidad se tendrán ventanas de atención solo de dos tipos: en la mañana AM con un valor de 0 y en la tarde PM con un valor de 1.

El algoritmo procesa la información de las variables cajas, cubos, clientes, y RoadNet como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Compilación de datos.

RUTA	CAJAS	CUBOS	PARADAS	ROADNET
BD1A01	$\sum Y_{1i}$	$\sum W_{1i}$	$\sum X_{1i}$	$\sum Y_{1i} * t_{1i}$
BD1A02	$\sum Y_{2i}$	$\sum W_{2i}$	$\sum X_{2i}$	$\sum Y_{2i} * t_{2i}$
...				
BD1A25	$\sum Y_{25i}$	$\sum W_{25i}$	$\sum X_{25i}$	$\sum Y_{25i} * t_{25i}$

Fuente: Elaboración propia

5. PROPOSICIÓN DEL MODELO

La construcción del modelo es la fase crítica del proyecto, debido a la complejidad de los datos es necesario el uso de una hoja de cálculo para procesar en un algoritmo los datos de las variables continuas que determinan la cantidad óptima de personal, para la realización del modelo fue necesaria la compilación, revisión y aceptación de los valores a procesar, a continuación, se presentan los pasos desarrollados:

Inicialmente se validó la base de datos de los clientes determinando los existentes, excluyendo los clientes cerrados o que en la actualidad no realizan compra de los productos de la Embotelladora (pueden ser potenciales futuros, pero están trabajando con la competencia). Con base en los 16.340 clientes en Bucaramanga y su área metropolitana se da inicio a la alimentación de datos.

Se dispone un total de 25 rutas numeradas desde la BD1A01 hasta la BD1A25, el valor de las cajas corresponde a la sumatoria de las cajas de los pedidos solicitados y asignados a cierta ruta. Los cubos corresponden a la sumatoria del volumen de las cajas. Las paradas son la sumatoria de clientes que lleva la ruta. Para el cálculo de la variable RoadNet se contempla que a cada cliente se le asigna un tiempo variable de atención por caja de acuerdo a su tipo de canal como se muestra en la Tabla 4. Estos valores

están definidos por estudios previos de métodos y tiempos en la operación de reparto. Al multiplicar el tiempo por las cajas solicitadas por el cliente se encuentra el valor de la variable RoadNet.

Tabla 4. Tiempos por tipo de cliente

TIPO DE CLIENTE	TIEMPO DE ATENCIÓN [t] (MIN)
BAR / DISCOTECA	1
TIENDA DE BARRIO	1
PANADERIA Y CAFETERIA	1
RESTAURANTE POPULAR	1
KIOSKO	1
CINES	2
FRUTERIA / HELADERIA	1
RESTAURANTE FORMAL	2
PORTERIA	1
INSTITUCIONES Y OFICINAS	2
MINIMERCADOS	3
HOSPEDAJE	1
OTRO ENTRETENIMIENTO Y RECREACIÓN	2
CLUBES SOCIALES Y DEPORTIVOS	2
COMIDAS RAPIDAS	1
REST COMIDA CASUAL KA	1
MAYORISTA	3
ENTIDADES GUBERNAMENTALES	3
SUPERETE	1
TIENDA VENTANA	1
LICORERIA / CIGARRERIA	1
ASADERO	2
COLEGIOS	2
PAPELERÍA	1
DROGUERIA	1
OTROS EDUCATIVOS	2
CARNICERÍA Y/O SALSAMENTARÍA	1
SALUD O DEPORTE	1
REST COMIDA RAPIDA KA	1
GASOLINERAS	1
PUESTO O CARRO DE COMIDA CALLEJERO	1
LAVADERO DE CARRO Y/ SERVICIO AUTOMOTRIZ	2
ENTIDADES DE SALUD	3

CABINAS TELEFÓNICAS Y/O DE INTERNET	1
DISTRIBUIDOR MIXTO	1
PELUQUERÍA	1
DROGUERÍA HM	1
CASINOS INDUSTRIALES	2
DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO	3
HELADERÍAS KA	2
CLIENTE VENDEDOR	1
CAFETERÍAS KA	2
GIMNASIOS	2
HOSPEDAJE KA	3
PANADERÍA KA	1
COLEGIO PRIMARIA	2
SUPERMERCADO	3

Fuente: Elaboración propia

5.1. Parámetros de entrada al modelo

La función objetivo de este proyecto determina el costo mínimo de la operación de reparto de acuerdo al personal necesario para operar sin afectar los indicadores de servicio a los clientes, para este cálculo se realiza la sumatoria del costo del personal utilizado en las rutas de entrega, multiplicado por el factor de ponderación de las variables.

Para la realización del modelo lineal, se utilizaron valores numéricos para la clasificación de las 6 variables cuantitativas, estas fueron definidas a partir de su repercusión e impacto en la función objetivo a optimizar:

$$v = \min \sum_{j \in J} c_j \lambda_j$$

Definido por:

$$\sum_{j \in J} a_j \lambda_j \geq b$$

$$\lambda_j \geq 0, j \in J$$

En donde:

c: son los costos asociados

λ : factor de ponderación de las variables: clientes, cajas, cubos, GPS, bitácora, roadnet y Green Mile.

Los cálculos para determinar el vector resultado se determinan bajo una ponderación que se le da a cada variable dentro del modelo, esta ponderación se asigna en valores de: 10 si es alta, medio de 5 y 0 si es baja. Para cada variable es necesario tener conocimiento y experticia para asignar estos valores, teniendo en cuenta que de acuerdo a las pruebas pueden ser modificados si el vector resultado no es aprobado. Seguido se presentan las tablas 5, 6, 7 y 8 de acuerdo a los límites planteados con sus respectivas puntuaciones.

Si la variable CAJAS tiene un valor mayor a 250 su resultado será de 10; si la variable es inferior a 200, el valor será de 0 y si está entre 200 y 250, la puntuación será de 5.

Tabla 5. Puntaje variable Cajas

RUTA	CAJAS	PUNTUACIÓN		
		$\sum Y_{1i} > 250 \Rightarrow 10$	$\sum Y_{1i} < 200 \Rightarrow 0$	$250 > \sum Y_{1i} > 200 \Rightarrow 5$
BD1A01	$\sum Y_{1i}$			
BD1A02	$\sum Y_{2i}$			
...				
BD1A25	$\sum Y_{25i}$			

Fuente: Elaboración propia

Las variables CUBOS y CLIENTES se trabajaron bajo la misma formulación, cambiando los límites de acuerdo a parámetros establecidos por conocimiento de la labor. En la Tabla 6 y Tabla 7 se presentan los límites utilizados para estas dos variables. Estas pueden ser modificadas a futuro de acuerdo a la sensibilidad y pruebas realizadas in situ.

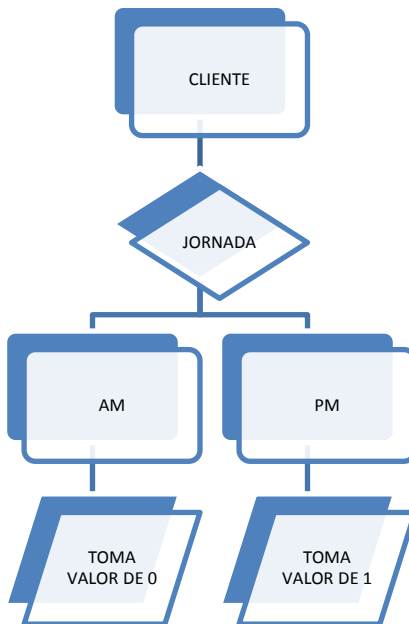
Tabla 6. Puntaje variable Cubos

RUTA	CUBOS	PUNTUACIÓN		
BD1A01	$\sum W_{1i}$	$\sum W_{1i} > 450 \Rightarrow 10$	$\sum W_{1i} < 400 \Rightarrow 0$	$450 > \sum W_{1i} > 400 \Rightarrow 5$
BD1A02	$\sum W_{2i}$			
...				
BD1A25	$\sum W_{25i}$			

Fuente: Elaboración propia

La variable GREENMILE es introducida dentro de la variable CLIENTES, su funcionamiento consiste en identificar si el cliente es atendido en horas de la jornada AM o PM, esto quiere decir que si el cliente es atendido en la mañana tomará un valor de cero (0), en caso de ser un cliente atendido en horas de la tarde, la variable tomará el valor de uno (1). Para el modelo se suma el resultado a la variable CLIENTES de acuerdo al resultado de decisión como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Decisión Greenmile



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, al sumar las variables se incrementará el resultado de la variable CLIENTES en una unidad cuando el cliente manifiesta su horario de atención en horas de la tarde.

Tabla 7. Puntaje variable Clientes

RUTA	CLIENTES	PUNTUACIÓN		
		BD1A01	$\sum X_{1i}$	$\sum X_{1i} > 110 \Rightarrow 10$
BD1A02	$\sum X_{2i}$			
...				
BD1A25	$\sum X_{25i}$			

Fuente: Elaboración propia

La variable RoadNet es calculada a partir del producto entre la variable CAJAS y el tiempo estándar definido en la Tabla 4. Por lo tanto, la variable RoadNet es dependiente de la variable Cajas y la explicación hace referencia a la diferencia de entregar un pedido de acuerdo al nivel de servicio que la empresa le quiere brindar a los clientes.

Las variables BITACORA y GPS son incluidas dentro de la variable RoadNet, para GPS como un tiempo adicional dependiendo de la ubicación geográfica del cliente, proporcional al radial de ubicación del cliente respecto a la parada del camión, es decir, a mayor distancia del punto de inicio del servicio, el tiempo de desplazamiento del personal de entrega se incrementará.

Para BITÁCORA causará un incremento de tiempo dependiendo del impacto en la jornada que ha tenido a través de los históricos de las jornadas mercado de cada ruta.

El tiempo total se calcula a partir de la sumatoria del tiempo de atención de la Tabla 4, adicionando el tiempo de bitácora y el tiempo de GPS:

$$t_{zi} = \text{tiempo de atención}_{zi} + \text{tiempo bitácora}_{zi} + \text{tiempo GPS}_{zi}$$

Tabla 8. Puntaje variable RoadNet

RUTA	ROADNET	PUNTUACIÓN		
		BD1A01	$\sum Y_{1i} * t_{1i}$	$\sum X_{1i} > 400 \Rightarrow 10$
BD1A02	$\sum Y_{2i} * t_{2i}$			

...				
BD1A25	$\sum Y_{25i} * t_{25i}$			

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la elaboración de la puntuación de las variables se procede con el cálculo del vector resultado, para encontrarlo se asignan los porcentajes de acuerdo a la percepción de importancia de cada variable como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Porcentajes en peso de las variables.

Variables	Porcentaje
Cajas	30%
Cubos	20%
Clientes	25%
RoadNet	25%

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la sumatoria de las variables por ruta aplicando los porcentajes de la Tabla 9 obteniendo resultados de 0 a 10, si el resultado es superior a 5 es necesario asignarle tripulante a la ruta tomando el valor binario "1", si es inferior tomará el valor de "0". El valor 5 puede ser susceptible a cambios de acuerdo al comportamiento de la asignación y revisión de jornadas de mercado de los camiones en ruta. En la Tabla 10 se presenta un ejemplo de este vector resultado.

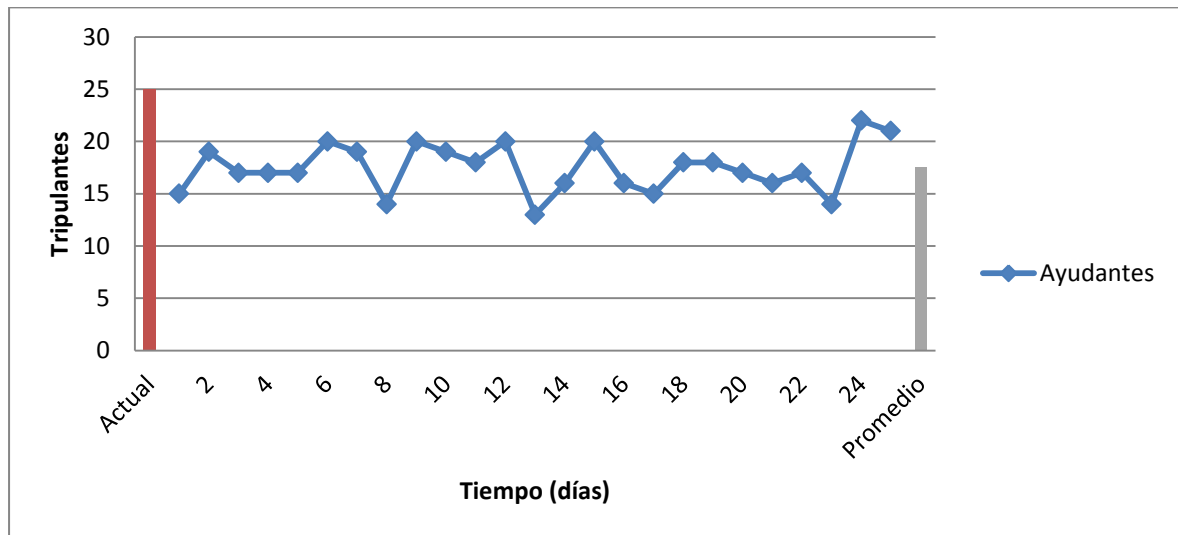
Tabla 10. Vector resultado

Rutas	BD1A01	BD1A02	BD1A03	BD1A04	BD1An	BD1An+1	BD1A...	BD1A...	BD1A25
Resultado	1	0	1	1	0	1	0	1	1

Fuente: Elaboración propia

Se realiza una simulación de los armados de las rutas de un mes para verificar el comportamiento del modelo.

Figura 12. Simulación de asignación de ayudantes



Fuente: Elaboración propia

6. VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación del modelo propuesto versus el modelo actual se realiza a partir de una comparación entre los resultados de las simulaciones diarias en un mes seleccionado específicamente por los picos de demanda distorsionados e inusuales. En principio se encuentra que el día de menor volumen el algoritmo realiza una asignación de 13 ayudantes, para el día de mayor volumen el algoritmo arroja 22 ayudantes en las distintas rutas de entrega preventiva. Esto quiere decir de entrada que hay un ahorro en costo de personal de distribución de 3 ayudantes por día. En la Tabla 11 se muestran los costos incurridos en ayudantes. El costo diario de un ayudante de banca es de \$76.269, mientras que el ayudante fijo está en \$70.239, la diferencia se da por el costo de oportunidad de la estabilidad laboral. El ahorro promedio mensual estimado es de \$10'481.854, determinado por la diferencia de utilizar 25 ayudantes fijos del modelo actual a 17,52 ayudantes en promedio diario.

Tabla 11. Relación de costos entre los modelos: propuesto y actual

Día	Asignación variable	Asignación Actual	Costo de la asignación variable	Costo Actual
1	15	25	\$ 1.144.441	\$ 1.755.981
2	19	25	\$ 1.449.625	\$ 1.755.981
3	17	25	\$ 1.297.033	\$ 1.755.981
4	17	25	\$ 1.297.033	\$ 1.755.981
5	17	25	\$ 1.297.033	\$ 1.755.981
6	20	25	\$ 1.525.921	\$ 1.755.981
7	19	25	\$ 1.449.625	\$ 1.755.981
8	14	25	\$ 1.068.145	\$ 1.755.981
9	20	25	\$ 1.525.921	\$ 1.755.981
10	19	25	\$ 1.449.625	\$ 1.755.981
11	18	25	\$ 1.373.329	\$ 1.755.981
12	20	25	\$ 1.525.921	\$ 1.755.981
13	13	25	\$ 991.849	\$ 1.755.981
14	16	25	\$ 1.220.737	\$ 1.755.981
15	20	25	\$ 1.525.921	\$ 1.755.981
16	16	25	\$ 1.220.737	\$ 1.755.981
17	15	25	\$ 1.144.441	\$ 1.755.981
18	18	25	\$ 1.373.329	\$ 1.755.981
19	18	25	\$ 1.373.329	\$ 1.755.981
20	17	25	\$ 1.297.033	\$ 1.755.981
21	16	25	\$ 1.220.737	\$ 1.755.981
22	17	25	\$ 1.297.033	\$ 1.755.981
23	14	25	\$ 1.068.145	\$ 1.755.981
24	22	25	\$ 1.678.513	\$ 1.755.981
25	21	25	\$ 1.602.217	\$ 1.755.981
		Total	\$ 33.417.665	\$ 43.899.519

Fuente: Elaboración propia

7. RESULTADOS

El resultado de este proyecto determina un modelo aplicado con múltiples variables para la empresa Embotelladora de Gaseosas en Bucaramanga y su área metropolitana, que sirve para tomar decisiones con antelación, referentes a la cantidad óptima de personal, permitiendo disminuir los costos asociados a la distribución del producto, mejorando los indicadores de reparto planteados a nivel nacional.

Si el modelo se implementa:

- La compañía percibirá una reducción en los costos correspondientes al personal de distribución.
- Se contará con una base de datos para seguir mejorando el proceso de asignación de ayudantes a las rutas de entrega-preventa.
- Se mantendrán constantes los indicadores de devolución de reparto, partiendo de la excelencia que presenta Santander a nivel nacional.
- Se conservarán los valores promedio de las jornadas del mercado.
- Se incrementarán las productividades por persona, independientemente del volumen de ventas.

8. CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta un modelo lineal de optimización de tripulaciones en rutas de entrega con variables continuas para la Embotelladora de Gaseosas en Bucaramanga y su área Metropolitana. El modelo está fundamentado en las variables incidentes de los principales costos en la operación de entrega. Debido a la complejidad del problema por la cantidad de datos que procesa el algoritmo es necesario hacer uso de hojas de cálculo y así obtener resultados en menos de dos minutos.

Para el caso de la Embotelladora de Gaseosas se identificaron las variables incidentes en los costos logísticos de distribución: cajas, cubos, clientes, bitácora, GPS, Roadnet y greenmile.

Se propuso un modelo lineal que atiende las necesidades de distribución de acuerdo a la cantidad de personal necesario para realizar la entrega.

Se validó el modelo propuesto versus el modelo actual a partir de una comparación entre los resultados de las simulaciones diarias teniendo resultados positivos en la relación costo/beneficio.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Llevar a cabo proyectos que atiendan necesidades cada vez más específicas de los clientes, para satisfacer sus requerimientos y así contribuir con el mejoramiento del nivel de servicio.
- ✓ Establecer un sistema de costeo que permita contabilizar los valores en cada etapa del proceso logístico, con el fin de tener referencia sobre las decisiones tomadas.
- ✓ Se recomienda implementar nuevos indicadores de gestión logística acordes al comportamiento de compra de los clientes, para adaptarse con agilidad a los cambios repentinos y plantear nuevas estrategias apuntándole al mejoramiento continuo.
- ✓ Para la fase inicial de implementación se recomienda tener dos personas adicionales en la banca como holgura, así asegurando la entrega de todos los pedidos.
- ✓ Se recomienda contratar personas con ciertas capacidades en la labor de reparto, pues los resultados iniciales dependerán del trabajo en equipo en las rutas de entrega.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Ahi, P., & Searcy, C. (2014). A stochastic approach for sustainability analysis under the green economics paradigm. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 1743-1753.
- Ahmadi, J., & Asad, N. (2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*, 582-587.
- Aksen, D., & Altinkemer, K. (2008). A location-routing problem for the conversion to the “click-and-mortar” retailing: the static case. *European Journal of Operational Research*, 554-575.
- Al-Zahrani, B., & Sagor, H. (2014). The Poisson-Lomax distribution. *Revista Colombiana de Estadística*, 225-245.
- Ambrosino, D., & Grazia, M. (2005). Distribution network design: new problems and related models. *European Journal of Operational Research*, 610-624.
- An, Q., Fang, S.-C., Li, H.-L., & Nie, T. (2017). Enhanced linear reformulation for engineering optimization models with discrete and bounded continuous variables. *Applied Mathematical Modelling*, 140-157.
- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2004). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: Cengage Learning.
- Antún, J. (2013). *Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos*. Inter-American Development Bank.
- Anwar, M., & Bibi, A. (2018). The Half-Logistic Generalized Weibull Distribution. *Journal Probability and Statistics*, 127-140.
- Ballou, R. (2004). Logística, Administración de la Cadena de Suministros. *Logística, Administración de la Cadena de Suministros*, 219-234.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). Índice de gastos logísticos. *División de Transporte*.
- Barnhart, C., Cohn, A., Klabjan, D., Johnson, E., Vance, P., & Nemhauser, G. (2003). *Handbook of transportation science*. Boston: Springer.
- Bazargan, M. (2016). *Airline operations and scheduling*. Londres: Routledge.
- Bolat, A., Denzig, B., & Audemir, A. (2013). Crew piring optimization based on hybrid approaches. *Computers and Industrial Engineering*, 87-96.
- Bülbül, A. S. (2008). *A survey on multi trip vehicle routing problem*. Turkiye: VI International Logistics and Supply Chain Congress.
- Caja, Á. (2018). *Cómo hacer de la cadena de suministro un centro de valor*. Barcelona: MARGE Books.
- Carter, C., & Rogers, D. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 360-387.

- Cholette, S., & Venkat, K. (2009). The energy and carbon intensity of wine distribution: a study of logistical options for delivering wine to consumers. *Journal of Cleaner Production*, 1401–1413.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación de México S.A.de C.V.
- Cordeiro, g., Alizadeh, M., & Marinho, P. (2016). The type I half-logistic family of distributions. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 707–728.
- Cuatrecasas, L. (2012). *Logística. Gestión de la cadena de suministros: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Madrid: Díaz de Santos.
- Dekker, R., & D, V. (2003). Return handling options and order quantities for single period products. *European Journal of Operational Research*, 38-52.
- Escalante, J., & Uribe, R. (2014). *Costos logísticos*. Bogotá: ECOE.
- Escobar, J., & Linfati, R. (2012). Un algoritmo metaheurístico basado en recocido simulado con espacio de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad. *Universidad de Medellín*, 139-150.
- Gaur, D., Mudgal, A., & Ranjan, R. (2018). Improved approximation algorithms for cumulative VRP with. *Discrete Applied Mathematics*.
- Gettah, S., Ganesan, P., & Vanathi, P. (2010). A Hybrid Particle Swarm Optimization with Genetic Operators for Vehicle Routing Problem. *Journal of Advances in Information Technology*, 181-188.
- Ghorbani, A., & Akbari, M. (2016). A hybrid imperialist competitive-simulated annealing algorithm for a multisource multi-product location-routing-inventory problem. *Computers & Industrial Engineering*, 116-127.
- Guerrero, W., Prodhon, C., Velasco, N., & Amaya, C. (2013). Hybrid heuristic for the inventory location routing problem with deterministic demand. *International Journal of Production Economics*, 359-370.
- Guinée, J. (2001). Handbook on life cycle assessment—operational guide to the ISO standards. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 255.
- Haeussler, E., & Paul, R. (2003). *Matemáticas para administración y economía*. México D.C.: Pearson Education.
- Hernández, L. (2017). *Técnicas para ahorrar costos logísticos*. Barcelona: MARGE BOOKS.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México .D.F: McGraw-hill /interamericana editores.
- Hiassat, A., Diabat, A., & Rahwan, I. (2017). A genetic algorithm approach for location- inventory- routing problem with perishable products . *Journal of Manufacturing Systems*, 93-103.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Investigación de operaciones*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Hong, J., Lee, M., Cheong, T., & Lee, H. (2018). Routing for an on-demand logistics service. *Transportation Research Part C*.

- Hoogeboom, M., & Dullaert, W. (2019). Vehicle routing with arrival time diversification. *European Journal of Operational Research*, 93-107.
- Huang, Y., Blazquez, C., Huang, S., Paredes, G., & Latorre, G. (2019). Solving the Feeder Vehicle Routing Problem using ant colony optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 520-535.
- Hughes, N., Shahi, C., & Pulkki, R. (2014). A Review of the Wood Pellet Value Chain, Modern Value/Supply Chain Management Approaches, and Value/Supply Chain Models. *Journal of Renewable Energy*, 155-169.
- Jacobsen, S., & Madsen, O. (1990). A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. *European of Operational Research*, 378-387.
- Jayaraman, V., Patterson, A., & Rolland, E. (2003). The design of reverse distribution networks: models and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 128-149.
- Karunaratne, A., Chi, H., Min, S., & Sorooshian, S. (2012). Supply chain strategy. *International Journal of Innovative Ideas*, 7-15.
- Krishnarani, S. (2016). On a Power Transformation of Half-Logistic Distribution. *Journal of Probability and Statistics*, 92-102.
- Kus, C. (2007). A new lifetime distribution. *Computational Statistics & Data Analysis*, 4497-4509.
- Li, Y., Guo, L., Wang, L., & Fu, J. (2013). A hybrid genetic simulated annealing algorithm for the location inventory routing problem considering returns under E-supply chain environment. *The scientific world*, 484-499.
- Lozano, J. (2003). *Cómo y Dónde Optimizar Los Costes Logísticos: En el Sistema Integral de Operaciones y en Las Diferentes áreas de Actividad Logística*. Madrid: FC Editorial.
- Mocholi, M., & Garrido, R. (1993). *Decisiones de Optimización*. Madrid: Tebar Flores.
- Moya, M. (2003). *Investigación de operaciones*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Munguía, L., & Protti, M. (2005). *Investigación de operaciones*. Costa Rica: EUNED.
- Niño, E. (2015). *Un Framework para la solución del problema de distribución*. Bucaramanga.
- Orozco, F., & Díaz, J. (2016). *Identificación de atributos diferenciadores en la contratación de servicios logísticos para el fortalecimiento del transporte de carga terrestre*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Pérez, R., & Hernández, A. (2019). A hybrid estimation of distribution algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 75-96.
- Poli, R., Kennedy, J., & Blackwell, T. (2007). Particle swarm optimization: An overview. *Swarm Intelligence*, 33-57.
- Puenayán, E., Londoño, J., Escobar, J., & Linfati, R. (2015). Un algoritmo basado en búsqueda tabú granular para la solución. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 81-98.
- Soonpracha, K., Mungwattana, A., & Janssesns, G. (2014). Heterogeneous VR review and conceptual framework. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Vol II.

- Tang, J., Ji, S., & Jiang, L. (2016). The design of a sustainable location - routing - inventory model considering consumer environmental behavior . *Sustainability* , 211-231.
- Tayyar, S., Roy, D., & Ghaderi, S. (2013). Economic, environmental and social responsible supply chain design using differential evolution multi objective algorithm. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1617–1621.
- Tikjha, W., Lapierre, E., & Sitthiwirattam, T. (2017). The stable equilibrium of a system of piecewise linear difference equations. *Advances in Difference Equations*.
- Toffolo, T., Vidal, T., & Wauters, T. (2018). Heuristics for vehicle routing problems: Sequence or set optimization? *Computers and Operations Research*, 118-131.
- Uribe, R., & Escalante, J. (2014). *Costos logísticos*. Colombia: ECOE.
- Wang, F., Lai, X., & Shi, N. (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*, 262-269.
- Zaka, A., & Akhter, A. (2013). Methods for estimating the parameters of the power function distribution. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 213–224.