

[203004] Diseño del modelo para la planeación de capacidad operativa de la empresa GMT

Bejarano Bonilla Nicolas^{a,c} , Herrera Burgos Carlos Andres^{a,c} , Manchola Gonzalez
Javier Andres^{a,c}, Narciso Calderon Jose David

Javier Eduardo Toro Niño ^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial
^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial
^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen de diseño en Ingeniería

The rise of companies that provide logistics services in Colombia is a reflection of the increases in demand from customers who increasingly outsource their logistics operations to specialized companies. Consequently, these companies have had to reevaluate their methods of operating services in order to develop a planning that allows them to remain competitive within the market. Therefore, this work aims to implement demand forecasts, travel allocation and the use of a metaheuristic to determine the optimal number of vehicles to acquire over a three-year time horizon. This responds to the problems identified in the company "Transportes Logísticos de carga GMT S.A.S" and its financial interests, especially with regard to the acquisition of a fleet of cargo vehicles that is the most representative item in its finances.

Keywords: Capacity planning, logistics, operations planning, forecast, profitability, own fleet, outsourcing of operations

1. Justificación y planteamiento del problema

Colombia es un país en vía de desarrollo, el cual, debido al crecimiento mercantil en las últimas décadas, ha presentado un auge en las empresas logísticas de transporte. En el año 2018, los servicios de transporte y obras civiles tuvieron un aporte del 6% en el PIB nacional (Ministerio de transporte, 2018) y las empresas destinaron en promedio el 13,5% de sus ingresos a los servicios logísticos necesarios (La República, 2018). A su vez, alrededor del 40% de las empresas en Colombia tercerizan sus procesos logísticos de transporte (Vargas, citado en González 2015), lo que significa que la empresa intermediaria entre la compañía demandante del servicio y los operadores logísticos, ofrece un know-how para el desarrollo de las operaciones. (González J, 2015).

Lo anterior, permite reconocer la importancia del sector logístico de transporte en la economía nacional, y particularmente en las empresas, dado que son un factor de peso a la hora de definir los precios del consumidor. Según Tompkins Associates (citado en González 2015), un operador logístico se encarga de prestar servicios integrales de logística en la cadena de abastecimiento.

Ahora bien, la empresa "Transportes Logísticos de carga GMT S.A.S" es un operador logístico fundado en el año 2002, que provee sus servicios a empresas pilares del sector alimenticio tales como: Yupi, Alpina, Frito Lay, Quala, entre otras. La operación de la compañía se centra en ofrecer dos tipos de servicios: transporte punto a punto, que consiste en recoger; y desembarcar la mercancía entre diferentes ciudades, y la distribución urbana, en la que se reparte la carga a diferentes puntos dentro de una misma ciudad. La realización de estos

servicios se hace mediante la tercerización, donde la empresa se desenvuelve como intermediario y la flota propia, compuesta por 10 tractomulas, 2 minimulas y 1 turbo (GMT S.A.S, 2020).

El funcionamiento de la operación de la flota propia de la empresa GMT S.A.S, se realiza de la siguiente manera: i) La asignación de viajes se da bajo criterios de disponibilidad, ii) teniendo en cuenta las características de la carga y del viaje, se busca un camión libre que se adecue a los requerimientos, iii) una vez terminado el servicio, el camión está sujeto al tiempo de espera que tarde el área comercial de la compañía en buscarle un nuevo trayecto; este tiempo de espera es corto, debido al gran número de clientes con que cuenta la compañía, por lo cual, se tiene flujo constante de viajes a nivel nacional.

Cabe precisar que la flota de la compañía trabaja en las ciudades de Barranquilla, Bogotá, Buenaventura, Cali, Cartagena, Medellín, Pereira y sus alrededores. En esta operación, los vehículos tienen un mantenimiento preventivo programado cada 15 mil kilómetros, por lo cual, cuando está cercano a cumplir esta condición el vehículo debe estar disponible en Bogotá. Así mismo, cuando hay restricciones de movilidad (que afecten directamente la movilidad de vehículos de transporte pesado) impuestas por el Ministerio de Transporte, en diferentes épocas del año, debe estar disponible en la ciudad.

Adicionalmente, la empresa GMT S.A.S realiza una planeación operacional diaria, que, según la información aportada, demuestra que se han obtenido buenos resultados organizacionales, dado al crecimiento durante los años de funcionamiento. Sin embargo, se ha evidenciado que la empresa no cuenta con una planeación a un nivel más táctico, lo que implica que esta descarta el análisis del comportamiento de la demanda, lo que le permitiría realizar pronósticos a corto, mediano y largo plazo sobre su funcionamiento; además, también podría tomar decisiones estratégicas sobre el tamaño de la flota y programar los mejores conjuntos de rutas para asignar los vehículos en determinadas épocas del año, entre otros y por consiguiente mejorar sus utilidades.

Las tractomulas tienen un rol fundamental en la operación de la empresa GMT S.A.S, por cuanto componen el 76,92% de la flota propia, es el rubro que más utilidades le genera a la compañía con el 40% del total de la rentabilidad. Además, la empresa tomó la determinación de aumentar la flota propia de tractomulas, en palabras de Juan David Telléz, gerente comercial de la empresa, *“La decisión de comprar o aumentar la flota propia se da porque nos hemos dado cuenta que al tener la flota propia, el nivel de servicio aumenta de cara al cliente y los clientes fidelizan la empresa siempre y cuando cuente con una parte de la operación con flota propia”* (Tellez. J, comunicación telefónica, 2 de septiembre de 2020)

En los últimos 10 años, las tractomulas propias y de terceros han tenido un incremento en el número de despachos realizados, como se puede observar en la siguiente gráfica (Figura 1); de esta manera, se evidencia una tendencia al alza, que se ha mantenido a lo largo de los años, lo que ha permitido un promedio anual de crecimiento del 27%. Al evaluar el número de viajes realizados en el año 2010, comparados con el año 2019, se nota un aumento de 2771 viajes realizados, lo que equivale al 554 %.

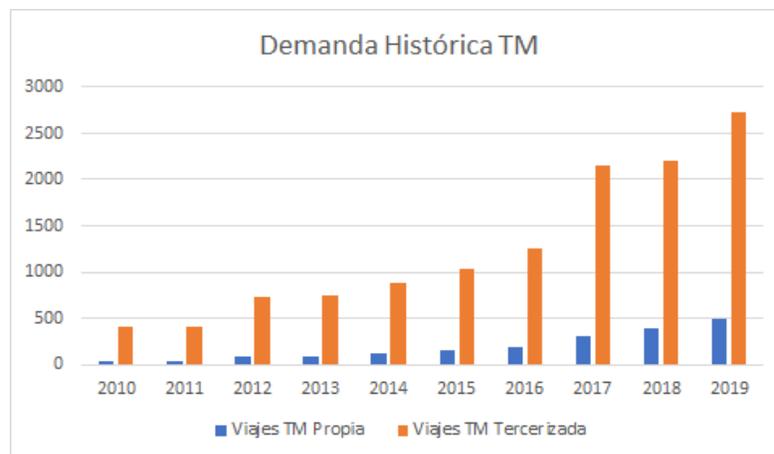


Figura 1: Operación general. Cantidad de despachos realizados en tractomula periodo 2010-2019. Fuente GMT S.A.S

En la actualidad, la compañía mantiene un alto porcentaje de tercerización en los servicios, con una participación del 81% de los viajes realizados para el año 2019. Esta situación se ve reflejada en las utilidades de la compañía, dado que, al tercerizar la empresa realiza la función de un intermediario, lo que genera una utilidad del 10% al 12% por viaje; en contraste, cuando el viaje se realiza por una tractomula de la compañía, la utilidad generada es del 35% al 40%. Esto explica por qué la compañía está interesada en adquirir una flota propia de tractomulas, sin embargo, no tiene el conocimiento sobre cómo realizar esta adquisición de manera que se mejoren las utilidades, más aún cuando el costo de estos vehículos es tan alto (aproximadamente quinientos millones de pesos para el año 2020), lo que hace que sea un procedimiento de vital importancia para la compañía.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente documento propone optimizar la planeación de capacidades de la empresa GMT S.A.S a un nivel táctico y con una proyección de tres años, para resolver las problemáticas identificadas: de un lado, la falta de un sistema de asignación de viajes basado en la demanda, lo cual dificulta distinguir el verdadero alcance de la empresa, pues actualmente la operación impide tomar decisiones estratégicas frente a las rutas o el conjunto de rutas que deben seguir los vehículos, el tamaño de la flota, entre otros. Por otro lado, se tiene la ausencia de métodos o herramientas para aumentar la adquisición de flotas propias; los últimos 8 años, la empresa ha realizado compras de nuevos vehículos bajo criterios subjetivos que no se adecuan a modelos matemáticos o de proyección financiera, en ese sentido desconocen el escenario óptimo para adquirir flotas en términos de tiempo, capacidad y costos.

En consecuencia, se ha planteado la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo realizar una planeación de las capacidades que incorpore un modelo de pronósticos y programación de los viajes, con el fin de encontrar el balance óptimo de la flota que maximice las utilidades de la empresa GMT?

2. Antecedentes

Dentro de la literatura se encuentran diversos métodos especializados sobre la planeación de capacidades; sin embargo, para abordar el problema identificado solo son adecuados dos de ellos: “Vehicle Routing Problem” (VRP) que da solución al enrutamiento de vehículos, comúnmente usados en aplicaciones de la vida real (Jiang. J, Ming. NG, Poh. K, Teo. K, 2013) y “Demand Planning” (DP) que se define como un proceso de estimación basado en los datos del pasado, que se combinan sistemáticamente en forma predeterminada para hacer una estimación del futuro (Adam y Elbert citado en Macías G, 2007).

El VRP, hace referencia al problema que comienza en un almacén o bodega central, el cual cuenta con una flota de vehículos que debe atender a un conjunto de clientes dispersos en una zona geográfica (Hernandez. Y, 2016). Este método aplica tanto para flotas heterogéneas como para homogéneas, la diferencia entre ellas radica en la primera, contempla características como la capacidad de carga y el tiempo de los viajes de manera diferente entre dos destinos, y la segunda maneja características iguales (Huang. H, Yang. C, Tang. H, 2012). Por lo tanto, será útil aplicarlo al problema identificado de la empresa GMT SAS, en tanto esta maneja una flota homogénea, debido a que, al ser el mismo tipo de vehículo (tractomula) se puede considerar que manejan la misma capacidad de carga y tiempo de viaje.

En la última década, una de las aproximaciones más usadas para resolver el dimensionamiento de la flota ha sido la metaheurística, puesto que esta ha obtenido resultados significativos en la solución de estos problemas (Costa. Y, Castaño. N, 2015). Según Melian. B, Moreno. J, Vega. M, la metaheurística “*son estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento.*”, por lo cual, para un mejor acercamiento a la combinación de rutas óptimas, se considera importante implementar una metaheurística que permita mejorar el resultado del VRP.

Se han encontrado diversos casos de estudio que guardan características similares a la problemática planteada, por ejemplo: en un caso de estudio se buscaba determinar el tamaño de la flota para un centro de

distribución, esto fue posible mediante la implementación de un algoritmo genético (GA) combinado con las técnicas de recortes de inventario. Dentro de las condiciones del problema, se tiene que se necesita de múltiples vehículos para atender la demanda de un cliente, pero un vehículo solo puede atender a un cliente y posteriormente debe regresar al depósito.

El GA se divide en tres momentos: en un primer momento, se genera la caracterización de los genes que se entiende por la permutación de n-viajes hasta que se cumple el tiempo de trabajo permitido por vehículo, este proceso se repite hasta satisfacer la demanda de los clientes. En un segundo momento, se realiza una selección aleatoria de dos genes, la probabilidad de un gen de ser escogido depende del número de vehículos requeridos en la solución; y en un tercer momento, se reproducen estos genes para la creación de una siguiente generación. Al finalizar este proceso, mediante la técnica de recorte de inventario, se seleccionan los mejores patrones, obteniendo así una solución con el 14,68% de mejora en comparación con el resultado obtenido solamente aplicando el GA. (Huang. S, Yang.T, Tang, C , 2012)

En otro caso de estudio se utiliza la metaheurística de búsqueda tabú (TS) para encontrar la composición de flota, es decir, el número de vehículos y el plan correspondiente de ruteo que minimice el costo total. En el desarrollo general de la solución del problema se decide en primer lugar escoger factores de: comparación, mayor distanciamiento recorrido y mayor capacidad de carga; y al tenerlos claramente definidos se comienza a iterar en una primera fase, en donde, según el estado en que se encuentre el tipo de vehículo (transferible, cambio, lista de espera) se acomoda dentro de una ruta viable. En la segunda fase, se itera la asignación de rutas mediante los métodos de multitransferencia y división para definir finalmente el tipo de ruteo que tendrán cada uno de los camiones. Una vez hecho el plan de ruteo, se hacen distintas simulaciones con el número de camiones necesarios para el cumplimiento de la demanda y mantenimiento del nivel de servicio. (Jiang. J, Ming. K, Leng. K, Meng. K, 2014)

Por otro lado, los enfoques de complejidad computacional, partiendo de la simulación y la optimización, también logran un buen acercamiento al dimensionamiento de la flota. En el caso de la compañía “Almacenes Universales S.A., Sucursal Villa Clara”, se utilizó la complejidad computacional, por medio de la optimización de escenarios, para obtener el número óptimo de vehículos a utilizar en la empresa. Con este fin, se realizó un estudio para conocer el tiempo real de desplazamiento entre ciudades, entrevistando a distintos conductores y obteniendo las distribuciones de cada una de las rutas. La información anterior y un análisis de la cantidad de vehículos que la empresa está en capacidad de mantener, conllevó a que el modelo contemplara la adquisición de cinco a ocho camiones. A cada uno de los vehículos se le realiza una simulación de 100 días con 100 réplicas, para obtener el costo promedio y su desviación de cada una. Finalmente, se selecciona una flota de siete camiones, que da como resultado el menor costo promedio. (Costas. M, Castaño. N, 2015)

Es pertinente mencionar que cada uno de los casos señalados están enfocados en la búsqueda de soluciones para el aumento del nivel de servicio y la determinación del tamaño de flota. Se resalta el uso de las metaheurísticas como los algoritmos genéticos (GA) y la búsqueda tabú (TS) para la aproximación de problemas de optimización en las últimas décadas (Chiang. T, Hsu. W, 2013). Además, estos métodos de aproximación han logrado resultados positivos dentro de diversos casos de estudio (Algarin. D, Cotes. A, Mendoza. C, 2018).

El segundo método para dar solución a la planeación de capacidades es el pronóstico de demandas, el cual, según Erossa, (citado en Contreras. A, Zuñiga. C, Martínéz. J y Sánchez. D): *“El objetivo de un pronóstico es posibilitar las decisiones sobre el futuro y proporcionar una estimación de riesgo involucrando la decisión.”*; lo que permite evidenciar la relevancia de realizar pronósticos; por ello, se ahondará en los tipos de pronósticos, utilizados en la literatura especializada, que más se asemejan a las características del problema identificado.

Según Ballou (citado en Juárez. A, Zúñiga. C, Martínez. J, Sanchez. D, 2016), los diferentes metodos de pronostico se pueden definir como:

1. Cualitativos: Utilizan el juicio, la intuición, las encuestas o técnicas comparativas para comparar estimados cuantitativos sobre el futuro.
2. Proyección histórica: Los modelos de series de tiempo pueden predecir valores futuros a partir de datos históricos, por medio de la búsqueda de un patrón en la variable de interés para predecir el comportamiento de la misma.
3. Causales: Estos procesos están relacionados con una o más variables independientes que describirán el comportamiento entre las mismas variables y sus valores futuros. Una vez que se han identificado dichas variables se construye un modelo estadístico para pronosticar la variable de interés.

Un caso de estudio revisado, consistió en el análisis de la demanda de una compañía de almacenamiento y distribución de alimentos perecederos, en la cual se usó el método del patrón histórico, que se compone de la utilización de modelos matemáticos sobre series de tiempos. Dentro de estos modelos se destacan: promedios móviles, promedios móviles ponderados, suavización exponencial y suavización exponencial ajustada. Cada modelo fue comparado dentro de un periodo de tiempo, como se puede ver la tabla 1, para lograr resultados definitivos se calculó la desviación media absoluta (DMA) y la desviación del pronóstico (ST). (Juárez. A, Zúñiga. C, Martínez. J, Sanchez. D, 2016)

Técnica	Semana 53	Error		Semana 54	Error		Semana 55	Error	
	Ingresos (kg)	DMA	ST	Ingresos (kg)	DMA	ST	Ingresos (kg)	DMA	ST
P.M	15,7	17,2	1.3	5,6	16,7	1.3	11,3	16,5	1.4
P.M.P	11,5	17,1	0.97	9,364	16,78	0.9	9,960	16,4	1.01
S.E	18,7	15,4	4.04	18,721	15,14	4.1	18,721	14,8	4.2
S.E.A	81,6	20,1	18.6	83,550	19,75	18.	85,528	19,38	19.3

Tabla 1. Fuente: Juárez. A, Zúñiga. C, Martínez. J, Sanchez. D, 2016. Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos, México

En conclusión, para dar solución al problema identificado se propone un modelo que inicialmente implemente pronósticos de la demanda a partir los métodos de proyección histórico, los cuales se puede ajustar a al comportamiento de la demanda, teniendo en cuenta las diferentes tendencias y/o estacionalidades que presenten, que finalmente logra obtener buenas medidas de desempeño como DMT y ST (Juárez. A, Zúñiga. C, Martínez. J, Sanchez. D, 2016). Posteriormente, se planea un modelo de asignación de viajes que pueda determinar la mejor combinación de rutas por medio de una heurística de elaboración propia adecuada a las condiciones del problema. Finalmente, se piensa aplicar una metaheurística, puesto que estas han obtenido resultados significativos en la solución de estos problemas. (Costa. Y, Castaño. N , 2015)

3.Objetivos

Diseñar un modelo de planeación de capacidades en la empresa GMT, con el fin de planear y cuantificar la operación de la flota propia y tercerizada en un horizonte de tiempo de tres años, que incremente las utilidades, sea capaz de suplir la demanda y mejore la capacidad de respuesta de la compañía.

Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad de viajes intermunicipales para tractomulas, requeridos diariamente, mediante una herramienta de pronósticos de la demanda.

- Desarrollar un modelo de asignación de viajes que pueda analizar diferentes trayectos y determinar la mejor combinación de rutas.
- Diseñar una metaheurística basada en el modelo de asignación de viajes, que permita identificar un plan de abastecimiento.
- Medir el impacto económico y del nivel de servicio de la solución propuesta mediante la simulación de diferentes escenarios de demanda.

4. Metodología y resultados.

4.1. Estimar la cantidad de viajes intermunicipales para tractomulas requeridos diariamente mediante una herramienta de pronósticos de la demanda.

4.1.1. Metodología

4.1.1.1. Levantamiento y análisis de la información

Para lograr una acertada planeación de capacidades es imperativo contar con un modelo de pronóstico de la demanda que sea capaz de guiar a la empresa sobre cuáles son los próximos posibles escenarios de demanda por suplir.

Inicialmente, se solicitó un historial de los viajes prestados por la compañía durante al menos los cinco últimos años, con los componentes principales como origen, destino, vehículo que cubrió la ruta, rentabilidad de la ruta, entre otros; sin embargo, la información que fue suministrada por parte de la empresa GMT, solamente corresponde a la operación de los años 2019 y 2020, debido a que esta misma sufrió un cambio dentro del sistema de facturación y toda la información anterior a estos años está incompleta, por lo cual, no es viable trabajar con datos de años posteriores al nivel de detalle solicitado.

Al identificar que la base de datos de dos años es insuficiente para pronosticar tres años, se solicitó la información de años anteriores (2016, 2017 y 2018). En el momento que la empresa suministra dicha información, da cuenta que el nivel de detalle se reduce a la cantidad de viajes realizados en el año, sin especificar origen, destino, costo del viaje, y otras características claves para el desarrollo de los pronósticos. Teniendo en cuenta la relación 3 a 2 (tener mínimo 3 periodos de demanda histórica para pronosticar 2), resulta insuficiente pronosticar 3 años a partir la demanda histórica de 2019 y 2020, por lo cual se procede a llevar la cantidad de viajes de los años 2016, 2017, y 2018 al nivel de detalle requerido, manteniendo una tendencia similar de las estaciones de los años 2019 y 2020.

Para validar el tratamiento de datos de los años 2016, 2017 y 2018 se utiliza el método Delphi, el cual consiste en recolectar juicios de expertos de forma sistemática sobre los resultados de un problema; no obstante, es complejo de resolver, debido a que no existe evidencia suficiente para respaldar los procedimientos aplicados para obtener la solución. Posteriormente, los juicios de los expertos se combinan con recursos estadísticos que constituyen un acuerdo general sobre los resultados presentados. (García. M, Suarez. M. 2013).

Método Delphi

Para llevar a cabo la implementación del método, se comunicó la intención al jefe operativo logístico de la empresa GMT, Juan David Tellez, que convocó a un panel de expertos para conocer el comportamiento histórico de la demanda y contarán con más de 5 años de experiencia en el área logística. El formulario implementado y las técnicas estadísticas usadas fueron propuestas y llevadas a cabo por los estudiantes.

Fase preparatoria

En esta primera fase, el jefe de operaciones logísticas selecciona el panel de expertos, los cuales son los encargados de emitir su juicio de valor frente a la propuesta presentada. Una vez se tiene conformado el grupo de expertos correspondiente, se prosigue a diseñar el formulario de respuesta que permitirá cuantificar las respuestas y obtener un resultado representativo. Adicionalmente, los parámetros a tener en cuenta estadísticamente, para aprobar el procedimiento, son la media muestral y la varianza, las cuales por cada pregunta debe ser: mayor o igual a 7 para la media y menor o igual a 1 para la varianza, en la ronda final. Teniendo todos los componentes definidos se procede a la fase II o de consulta.

Fase de consulta

En esta segunda fase, el panel de expertos y los estudiantes se reunieron con el fin de explicar el desarrollo de la actividad y el orden que se llevaría a cabo. Se realizaron 3 rondas en las que los expertos daban una calificación cuantitativa a las preguntas del cuestionario. En la siguiente ronda, se les entrega nuevamente el cuestionario, junto con la calificación que dio en la ronda anterior y el análisis estadístico grupal de la ronda anterior. El fin de las iteraciones o de las rondas, es disminuir la dispersión de las respuestas y delimitar la opinión consensuada.

Fase de consenso

La fase final consiste en elaborar un informe con los resultados del último consenso y la descripción detallada de los resultados de cada ronda; adicionalmente, se debe agregar de forma detallada cómo se construyeron cada una de las 3 fases para que quede la totalidad del método Delphi registrada. ([ver Anexo 1](#))

4.1.1.2 Depuración de datos

Posteriormente a la aplicación del método, dentro de la depuración de los datos, se redujeron las rutas, debido a que la cantidad de conexiones encontradas dificultan el problema y no le agregan valor a la solución del mismo; por lo cual, se acoplaron los orígenes y los destinos que no fueran ciudades principales a la ciudad principal más cercana dentro de un radio máximo de 100 kilómetros, con el fin de simplificar la operación. Esta tarea permitió reducir de 37 a 15 orígenes y de 91 destinos a 28. Es importante destacar que dos destinos se asignaron a una ciudad principal a más de 100 km, sin embargo, aquellos son ocasionales en la empresa, con frecuencia de dos viajes al año.

Tras evidenciar que no todos los orígenes van a todos los destinos, se realizó una depuración de las rutas que consistió en diseñar una matriz por cada origen, en la cual se observaron los destinos a los que realmente se viaja. La construcción de esta matriz se realizó mediante una sumatoria de la cantidad de viajes que se realizan a lo largo de los cinco años; si la sumatoria daba (0) se eliminaba el destino. ([ver Anexo 2](#))

Finalmente, con el fin de escoger las rutas que le representen más rubros a la empresa, se realizó un Pareto global de la totalidad de las rutas realizadas por la empresa, en el cual se seleccionaron el 18% de las rutas que representan el 90% de la operación anual de la empresa. Este procedimiento redujo el diseño a 3 orígenes, 9 destinos y en consecuencia la construcción de 14 rutas ([ver Anexo 3](#))

4.1.1.3 Técnicas de pronóstico

Para diseñar el modelo de pronósticos se usa el software R Studio, que mediante una serie de tiempo, con el historial de viajes mensuales realizados, permite construir el modelo acorde a la serie para generar unos pronósticos confiables. En primera instancia, se obtiene un lambda mediante el análisis de probabilidad relativa (Box-Cox) que a partir de su resultado se usa la respectiva fórmula (1) y se estabilizan las varianzas.

$$Y_i^{(\lambda)} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x * X_{ji} + \varepsilon \quad (1)$$

donde:

$$\frac{y_i^\lambda - 1}{\lambda} \quad \text{si } \lambda \neq 0$$

$$\text{Log}(y_i) \quad \text{si } = 0$$

En segunda instancia, se evalúa la relación que tiene cada dato con el histórico más reciente mediante la verificación de las raíces unitarias con la prueba de Dickey - Fuller para obtener el p-valor de la relación entre los pasados más cercanos. De acuerdo a este valor, se le aplica la cantidad de diferenciaciones necesarias para eliminar el ruido blanco de la muestra, con el fin de descartar la tendencia. Posteriormente, se realiza una diferenciación estacional con el objetivo de excluir la relación entre los conjuntos de meses mediante una evaluación donde se comprueba el número de diferenciaciones necesarias hasta que ya no lo sean.

En tercera instancia, al obtener una serie de tiempo sin estacionalidad ni estacionariedad, se generan los gráficos ACF (Gráfica de autocorrelación) y PACF (Gráfica de autocorrelación parcial); los cuales, según el número de barras significantes, se obtendrá el valor autorregresivo (AR) y la media móvil (MA), teniendo en cuenta la diferenciación estacional y las raíces unitarias obtenidas anteriormente. Acorde a los valores encontrados, se genera el modelo SARIMA con la estructura (AR,d,MA) (P,D,P) y se comprueba que los coeficientes obtenidos sean significativos. ([ver Anexo 4](#))

En cuarta instancia, con el fin de verificar el modelo propuesto, se comprueba gráficamente que los residuales se encuentran dentro de los límites de los gráficos ACF y PACF; adicionalmente, se prueba la inexistencia de autocorrelación entre los residuales comprobando el p-valor mayor a 0.05. ([ver Anexo 5](#))

En una última instancia, se verifica el comportamiento del pronóstico mediante la gráfica CUSUM las cuales son utilizadas para detectar los cambios de comportamiento (leve, moderado, brusco) en la media del proceso. (Lourdes de la fuente, Gutierre y Olguin, p 46). Finalmente, se define la ventana de prueba entre enero de 2016 hasta diciembre de 2018, y el año 2019 como ventana de ajuste, para generar pronósticos del año 2019 que se compara con los datos reales con el fin de obtener el error porcentual absoluto medio (MAPE). Una vez se obtenga un error aceptable, con el uso de toda la serie, se realizan los pronósticos hasta diciembre del año 2023 para cada una de las rutas establecidas anteriormente. Se valida tanto que el pronóstico está en los límites de comportamiento, así como la prueba de pronóstico muestra resultados acertados. ([ver Anexo 6](#))

4.1.2. Resultados

Para cada ruta seleccionada del Pareto global, se realizó el tratamiento mencionado anteriormente, con el fin de estimar de manera precisa el pronóstico correspondiente a cada una. Dentro del análisis de cada modelo de pronóstico, se evaluó el error MAPE. Los modelos de pronóstico, responden de manera positiva a este análisis arrojando el 90% de los modelos por debajo del valor deseado (30%) y tan solo 2 rutas por encima de dicho valor con un MAPE de 35.1% y 35.5%. ([ver anexo 7](#))

Ruta		Modelo	Error
Origen	Destino		
Bogotá	Alrededores	(2,1,6)(0,1,0)(12)	9.98
Buenaventura	Bogotá	(2,2,3)(0,1,0)(12)	9.33
Bogotá	Buenaventura	(2,1,3)(1,0,0)(12)	11.05
Bogotá	Cartagena	(2,2,4)(0,1,0)(12)	20.1
Bogotá	Cali	(2,1,2)(0,1,0)(12)	14.39
Bogotá	Medellín	(1,1,3)(0,1,0)(12)	19.91
Bogotá	Ibagué	(1,1,1)(0,1,0)(12)	13.82
Cartagena	Bogotá	(4,2,6)(0,1,0)(12)	26.46
Bogotá	Barranquilla	(2,1,3)(0,1,0)(12)	7.27
Bogotá	Neiva	(2,2,1)(0,1,0)(12)	35.09
Cartagena	Medellín	(1,1,1)(0,1,0)(12)	12.86
Buenaventura	Cali	(1,1,3)(0,1,0)(12)	15.04
Medellín	Bogotá	(3,1,2)(0,1,0)(12)	13.26
Bogotá	Manizales	(4,1,3)(0,1,0)(12)	35.53

Tabla 2: Modelos de pronóstico por ruta. Fuente: elaboración propia

Sin embargo, los pronósticos arrojados reflejan un comportamiento mensual de los viajes entre cada punto origen-destino. Por lo cual, es necesario la transformación de la frecuencia de mensual a diario a través de una macro de excel, la cual, genera aleatoriamente, dentro de los días del mes, la cantidad de viajes pronosticada por el modelo, manteniendo el número de viajes mensuales. Esto se llevó a cabo, debido a que se comprobó que dentro de cada mes no se mantiene una tendencia definida sobre el número de viajes por día y semana. ([ver anexo 8](#))

4.2. Desarrollar un modelo de asignación de viajes que pueda analizar diferentes trayectos y determinar la mejor combinación de rutas.

4.2.1 Metodología

4.2.1.1. Recolección de la información, definición de parámetros y planteamiento de modelo matemático

La asignación de los viajes por parte de la empresa, requieren de una correcta estructuración de los parámetros del problema; los cuales, establecen la base para la formulación del modelo. Dentro de la estructuración de los parámetros, se define un formato de presentación de datos donde se incluyen los costos fijos (peajes, pago al conductor), costos variables (gasolina, viáticos), las distancias por ruta, entre otros.

Posteriormente, se definieron en orden los conjuntos, parámetros, variables y función objetivo teniendo en cuenta la información proporcionada por la empresa y los requerimientos que se consideran necesarios para el problema. Los conjuntos definidos son:

Conjuntos:

I: Orígenes

J: Destinos

T: Días

L: Tractomulas propias

M: Meses

Los orígenes (I) y destinos (J) representan todas las ciudades posibles en las que se puede realizar un viaje. El conjunto (T) representa todos los días en donde se puede programar una llegada o salida de vehículos a cierta ciudad. Finalmente, el conjunto (L) representa las tractomulas de la empresa a disposición para la programación de rutas y el conjunto (M), los meses recorridos dentro del horizonte de tiempo.

Parámetros:

- *CSeguros*: Costo mensual de soat, seguros e impuestos por vehículo.
- *CostosFAdmin*: Costos mensuales que incurre la empresa por el pago de impuestos y permisos de circulación.
- *Cterceros_{ij}*: Tarifa que se paga a un tercero por ir del origen *i* al destino *j*.
- *CostoN*: Salario mensual de un conductor.
- *Cviaje_{ij}*: Costo de gasolina, peajes, viáticos y mantenimiento de ir del origen *i* al destino *j* con carga.
- *DistKM_{ij}*: Distancia en km entre el origen *i* al destino *j*.
- *Tviaje_{ij}*: Duración en días entre el origen *i* al destino *j*.
- *ConexionB_{ij}*: {1 = si del origen *i* se viaja al destino *j*; 0 = dlc}
- *Dem_{ijt}*: Demanda en número de viajes del origen *i* al destino *j* el día *t*
- *Tarifa_{ij}*: Tarifa que se le cobra al cliente por ir del origen *i* al destino *j*
- *CostoOperativo*: Porcentaje de la rentabilidad mensual que se destina para gastos de operación.
- *CostVH*: Valor de un vehículo.
- *Dep*: Depreciación mensual de los camiones.
- *InterésM*: Interés mensual que se paga por vehículo financiado.
- *Couta*: Valor de la cuota mensual.
- *Saldos_m*: Saldo que se tiene con la entidad bancaria después de haber transcurrido *m* meses.
- *LiquidezMin*: Stock monetario mínimo para la compra de un vehículo.
- *DiaInicialH*: Primer día del horizonte de tiempo.
- *DiaFinalH*: Último día del horizonte de tiempo.

Variables:

- *ViajesP_{ijtl}*: {(1) Si el viaje del origen *i* al destino *j* el día *t* es realizado por el vehículo *l*; (0) D. L. C}
- *BCompra_{ml}*: {(1) Si se puede comprar el vehículo *l* en el mes *m*; (0) D. L. C}
- *FlujoCE_m*: Flujo de caja de la empresa en el mes *m*.
- *Mante_{tl}*: {(1) Si el vehículo *l* tiene un mantenimiento en el día *t*; (0) D. L. C}
- *Meses_l*: Cantidad de meses que lleva en la empresa el vehículo *l* desde el inicio del horizonte de tiempo.

- $Camiones_m$: Número de vehículos que tiene la empresa en el mes m .
- $Rentabilidad_m$: Rentabilidad que lleva la empresa en el mes m .

Función Objetivo

$$Max z: FOIngresosGeneradosViajes - FOCostoViajes - FONomina - FOGastosAdministrativos - FODepreciaciónIntereses - FOOperacional$$

- FOIngresosGeneradosViajes= La suma de los ingresos generados por los servicios realizados con la flota propia y terceros.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} (ViajesP_{ijtl} + Tarifa_{ij}) + (1 - ViajesP_{ijtl} + Tarifa_{ij})$$

- FOCostoViajes= La suma de los costos obtenidos por los viajes realizados en flota propia y tercera, teniendo en cuenta el costo que se genera por día *standby*.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} (ViajesP_{ijtl} * Cviaje_{ij}) + (1 - ViajesP_{ijtl} * Cterceros_{ij})$$

- FONomina= El valor de la nómina correspondiente a los pagos a conductores.

$$\sum_{l \in L} (Meses_l * CostoN)$$

- FOGastosAdministrativos= La suma de los gastos que la empresa incurre por seguros y gastos administrativos fijos.

$$\sum_{m \in M} (Camiones_m * CSeguros * CostoFAdmin)$$

- FODepreciaciónIntereses= Pago de intereses y depreciación incurridos por la empresa dentro del horizonte de tiempo.

$$\sum_{l \in L \text{ para los camiones nuevos}} (Meses_l * Dep * InterésM) * (BCompra_{ml}) + (Meses_l * Dep) * (1 - BCompra_{ml})$$

- FOOperacional= Costo mensual en el que incurre la empresa para mantener la operación.

$$\sum_{m \in M; m > 1} ((Rentabilidad_m - Rentabilidad_{m-1}) * CostoOperativo)$$

$$\sum_{m \in M; m=1} (\text{Rentabilidad}_m * \text{CostoOperativo})$$

Restricciones

- Es posible comprar un camión cuando el flujo de caja de la compañía supera el stock de operación.
- Es posible comprar un camión cuando el endeudamiento actual más el valor a financiar no superan la capacidad de endeudamiento.
- Solo se compra un camión cuando la rentabilidad al final del horizonte con (n + 1) camiones, es mayor a la rentabilidad al final del horizonte con (n) camiones.
- Solo se evalúa la compra de camiones al inicio de cada mes.
- Al final de cada mes se deben pagar los diferentes gastos mensuales.
- Cuando la posible compra de un camión supera la capacidad de endeudamiento, se utiliza la diferencia entre el flujo de caja y el stock de operación, para disminuir el endeudamiento.
- Los camiones se deprecian en 12 años.
- Para los camiones nuevos el interés del préstamo se distribuirá durante los 12 años.
- En caso de que el tiempo de operación de una ruta (en días) sea superior a 0.65, se asignará viaje para el siguiente día.
- El destino del camión (L) para la ruta n, debe ser el mismo origen para la ruta n+1 del camión (L).
- Se selecciona la ruta que genere mayor utilidad por día de las posibles rutas para el camión, cada vez que se encuentre disponible en Bogotá.
- El total de la demanda debe ser suplido por viajes realizados con camiones de flota propia y tercera.
- Cada ruta debe comenzar y terminar en Bogotá.
- No deben haber rutas que contengan más de siete destinos.
- Un camión sólo puede tener un viaje activo.
- Una vez el camión (L) está próximo a recorrer 15.000 km y no le permiten hacer más rutas.
- Una vez el camión (L) está próximo a recorrer 80.000 km y no le permiten hacer más rutas.
- Una vez el camión (L) está próximo a recorrer 20.000 km y no le permiten hacer más rutas.
- El mantenimiento de un camión ocupa un día de operación y se realiza en Bogotá.
- Cuando el camión se encuentre realizando cualquier mantenimiento, se debe comprobar si algún otro mantenimiento está próximo a ocurrir (500 o menos kilómetros) para realizarlo simultáneamente.
- A cada camión se le asignará un conductor, por lo que la cantidad de camiones debe ser la misma a la cantidad de conductores.

Posteriormente, se diseña un código con cada uno de los componentes mencionados anteriormente. La lógica de programación que se usa es: dividir cada acción del código en una subrutina por aparte y manejar las variables más importantes para los resultados como variables globales. En este sentido, el código siempre itera dentro de una subrutina que va llamando a las demás.

En términos generales, el programa debe ir recorriendo en orden cada uno de los días del horizonte de tiempo (01 de enero de 2021 a 31 de diciembre de 2023) y dentro de cada día debe recorrer cada uno de los camiones disponibles para posteriormente asignarle una ruta a los que se encuentren en Bogotá. La creación de una ruta se hace con base en la tabla de pronósticos de demanda y la búsqueda entre los destinos (*j*) desde el origen (*i*) donde se encuentra el camión; una vez se encuentra conexión (es decir, existe una demanda entre dichas ciudades) se genera dicho vínculo. Este proceso, lo hará repetidamente hasta que se encuentra como destino final Bogotá ([ver Anexo 9](#)). Es importante destacar, que para asignar la mejor ruta, se calculó la utilidad por día de viaje, y la mejor se le asigna al camión disponible. Las rutas que no son cubiertas por la flota propia son atendidas a través de un tercero. Toda la lógica del código sigue un hilo conductor en orden, como se describió anteriormente. ([ver Anexo 10](#) y [Anexo 10.1](#))

Cada una de las rutas (sea propia o tercera) genera una utilidad que se va acumulando dentro de cada mes, y al finalizar este, se analiza si se cumplen las siguiente condiciones para la compra de camiones:

- Contar con un flujo de caja superior al Stock mínimo de operación, esto debido a que es necesario contar con este dinero para cubrir con los costos y gastos de la empresa .
- No haber superado el rango de endeudamiento con el banco. En el caso en que supere la capacidad de endeudamiento, se utiliza la diferencia entre el flujo de caja y el stock de operación, para disminuir el endeudamiento.
- Se realiza una simulación hasta el final del horizonte tiempo comparando la rentabilidad de la empresa con n y con n+1 camiones, esto con el fin de comprar cuando se tenga un incremento de la rentabilidad al final del horizonte de tiempo.

Una vez se realiza la compra, se inicializan los parámetros para que de esta manera el camión pueda operar a partir del siguiente día. Este proceso se va repitiendo a lo largo del horizonte de tiempo, dando como resultado las fechas de compra para los camiones y la rentabilidad total obtenida.

4.1.2. Resultados

El modelo de asignación de viajes establecido analiza una combinación de rutas que cumplen con todas las restricciones planteadas anteriormente y establece un plan de acción para los siguientes tres años de operación. Dentro de este plan, se encuentra la compra de activos y la selección de las rutas escogidas para cada uno de los camiones propios de la empresa. ([ver anexo 11](#))

Como resultado de la planificación de viajes, se destaca la compra de seis camiones para los periodos 12, 16, 17, 26, 31 y 34, obteniendo una rentabilidad de \$5.891.800.399 COP, este aumento representa una mejora del 1% con respecto a un número estático de diez camiones en el horizonte de planeación. Asimismo, en la figura 2 se observa la diferencia en el comportamiento mensual de la rentabilidad entre mantener la cantidad de camiones y realizar el plan de compra que propone el modelo. La diferencia acumulada en los tres años de planeación es de \$58.177.445 COP.

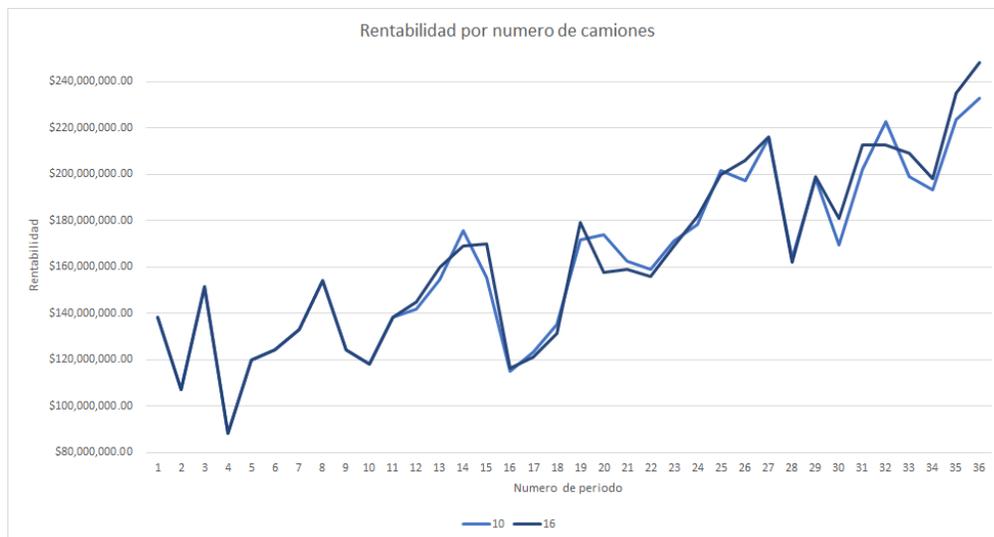


Figura 2: Comportamiento de la rentabilidad en el tiempo con diferentes cantidades de camiones. **Fuente:** Elaboración propia

Para concluir, se realiza un cuadro resumen del programa en donde se muestran la cantidad de camiones comprados en sus periodos correspondientes. Esto se realiza con el fin de analizar los resultados que arroja el modelo escogiendo la fecha de compra de cada camión. La salida de estos resultados refleja la máxima cantidad de camiones que maximizan la rentabilidad, por lo cual los resultados de la heurística serán reprocesados con una metaheurística que mejore la solución, organizando las fechas de compra de forma estratégica.

N° Camiones	Rentabilidad acumulada	Periodos acumulativos
10	\$1.396.802.602	1 - 11
11	\$2.040.686.851	12 -15
12	\$2.157.076.523	16
13	\$3.611.944.918	17 - 25
14	\$4.576.059.261	26 - 30
15	\$5.210.319.201	31 - 33
16	\$5.891.800.399	34-36

Tabla 3: Resultados de rentabilidad acumulada con las cantidades de camiones en los periodos correspondientes. **Fuente:** Elaboración propia

Finalmente, para medir el valor agregado que da el modelo de asignación de viajes, se contrasta el método propuesto de asignación contra el método de asignación de la empresa en un intervalo de demanda del año 2019, con el fin de comparar la rentabilidad que la empresa generó en dicho intervalo y compararla con la rentabilidad que hubiera generado con la implementación del modelo aca propuesto. Los resultados se muestran en la tabla 4:

Mes	Modelo propuesto	Modelo actual de la empresa
1	\$ 43,071,607.86	\$ 36,812,885.71
2	\$ 55,940,301.47	\$ 28,330,017.45
3	\$ 60,141,331.91	\$ 30,637,652.11
4	\$ 28,656,381.22	\$ 14,512,538.52
5	\$ 92,207,106.57	\$ 46,696,726.14
6	\$ 100,163,363.40	\$ 75,726,037.55
7	\$ 54,752,462.77	\$ 27,728,456.68
8	\$ 103,317,235.00	\$ 52,323,262.36
9	\$ 92,773,332.55	\$ 66,983,481.69
10	\$ 102,565,084.30	\$ 86,942,348.39
11	\$ 71,139,929.62	\$ 61,027,611.48
12	\$ 85,373,551.68	\$ 68,235,988.10
Total	\$ 890,101,688.35	\$ 595,957,006.09

Tabla 4: Comparación de la rentabilidad del método propuesto vs el método de la empresa. **Fuente:** elaboración propia

En conclusión, el método propuesto de asignación de viajes logra una mejora del 32% con respecto a la forma como opera actualmente la empresa (criterios de asignación por disponibilidad inmediata), logrando fortalecer la metodología que será entregada a la empresa para un cambio en su gestión operativa. Es importante recalcar que, usando el método de asignación propuesto, todos los meses del intervalo de tiempo evaluado fueron superiores en la rentabilidad en contrapunto con la metodología de la empresa. (ver [Anexo 11.1](#) y [Anexo 11.2](#))

4.3. Diseñar una metaheurística basada en el modelo de asignación de viajes que permita identificar un plan de abastecimiento.

4.3.1. Metodología

Para el desarrollo de una mejor solución, se parte del resultado arrojado por la heurística, el cual dado su estructura, facilita la implementación de la búsqueda Tabú mediante una mejor acomodación en las fechas de compra. En el proceso, no se contempla la variación en el número de camiones, debido a que la heurística considera el máximo a adquirir manteniendo un incremento en la rentabilidad de la empresa.

En el método propuesto, no se contemplan los cambios en las fechas de compra que se encuentren dentro de los primeros doce períodos, esto debido a que la adquisición de un camión durante este tiempo equivale a un decremento en la rentabilidad. Adicionalmente, se prueban tres listas tabú de diferentes tamaños cercanos a la raíz del número de períodos del horizonte de tiempo, y se selecciona la que da como resultado una mejor rentabilidad total.

Finalmente, se contemplan dos criterios, los cuales son la búsqueda reactiva y la aspiración por objetivos. En el primer criterio, se considera la variación de la lista tabú dependiendo del tipo de cambio, siendo el primer tipo una postergación de la fecha de compra y el segundo un adelanto en la misma; ahora, como se busca que perduren los cambios del tipo dos, se decide que estos se bloqueen por el doble del tamaño de la lista tabú con el fin de que la solución encontrada promueva la compra temprana de camiones. El segundo criterio, permite incluir a consideración los cambios tabú siempre y cuando estos sean mayores a la mejor solución encontrada.

4.3.2. Resultados

Como principal salida, se identifica el cambio en la adquisición de los seis camiones en los periodos **12**, **17**, **26**, **29**, **31** y **35**, los cuales mejoran la función objetivo con respecto a la heurística en un 0.6%, y en un 1.6% con respecto a la operación con una cantidad fija de 10 camiones, obteniendo así una rentabilidad de \$ 5,928,205,834 COP. Para tener una mejor visualización del comportamiento de la rentabilidad en el horizonte de tiempo, se construyó la figura 3, donde se muestra la variación de la rentabilidad en los 36 meses evaluados. Los puntos sobre la línea de rentabilidad, evidencian los periodos en los que se adquiere un camión adicional.

Ahora bien, a pesar de que la mejora en la función objetivo es muy baja, es destacable considerar la correcta adquisición de activos en camiones propios, los cuales representan un incremento en el patrimonio de la empresa y una considerable mejora en el nivel del servicio dentro de las rutas asignadas. ([ver anexo 11](#))



Figura 3: Variación de la rentabilidad en el tiempo. **Fuente:** elaboración propia

Asimismo, al establecer un plan de asignación de viajes, se nota una reducción considerable en el porcentaje de tercerización que maneja la empresa. Este porcentaje, no es solo consecuencia de la cantidad de camiones adquiridos, sino de una correcta planificación de la operación en pro de atender mayor demanda. En años anteriores, la empresa registra un porcentaje de tercerización cercano al 90%; sin embargo, con la planificación se logró reducir al 61% con 10 camiones propios y una reducción progresiva con cada compra hasta llegar al punto de equilibrio de 16 camiones y 56% de la demanda cubierta por terceros. Es importante destacar que no solo se mejora el indicador de cobertura de demanda con flota propia, sino también se ve reflejado un crecimiento en las utilidades de la empresa dado que dentro de los parámetros, las rutas que se cubren con flota propia arrojan mayores utilidades que aquellas que se tercerizan.

Número de Camiones	Porcentaje de Tercerización
10	61,1%
11	59,3%
12	57,6%
13	56,8%
14	56,3%
15	55,7%
16	55,5%

Tabla 5: comportamiento de terceros en la planeación del modelo. **Fuente:** elaboración propia

4.4. Medir el impacto económico y del nivel de servicio de la solución propuesta mediante la simulación de diferentes escenarios de demanda.

4.4.1 Metodología

Los diferentes escenarios de demanda, son construidos a partir de los errores del modelo de pronósticos planteado anteriormente. El cálculo de los errores se obtiene a partir de la diferencia entre los datos pronosticados y la demanda real obtenida en la base de datos de la empresa. Este resultado, será manejado como el ruido de cada periodo de pronósticos, dicho ruido fue analizado bajo el supuesto de pronósticos donde los errores siguen una distribución normal con media muestral cero y desviación estándar calculada a través de la raíz del error cuadrático medio de cada modelo.

Seguido, se aplicaron técnicas de simulación de eventos continuos, los cuales identificaran el ruido a partir de un número aleatorio y los parámetros de la distribución de cada ruta. Este ruido se sumó a los pronósticos propuestos en el primer objetivo específico, para finalmente obtener un escenario de demanda. Este procedimiento permitió evaluar: si la rentabilidad de la solución propuesta es mejor que la rentabilidad si no se compran camiones, el porcentaje de tercerización y el número de rutas cubiertas.

Ahora bien, con el fin de asumir normalidad en los indicadores, se realizó una prueba piloto con 30 réplicas para posteriormente aplicar técnicas estadísticas que definan el número de réplicas necesarias para obtener un error de $\pm 2\%$ en el indicador de solución propuesta vs la metodología que usa la empresa.

4.4.2. Resultados

En primera instancia, se realizó la prueba piloto con 30 escenarios de demanda con el fin de hallar el número necesario para lograr el error propuesto anteriormente. En la tabla 6 se muestran los resultados de la prueba piloto.

n	30
Proporción	93.3%
Error	8.9%
Lim inf	84.4%
Lim sup	102.2%
Amplitud	17.9%
n necesario	1000
Sig	1.96

Tabla 6: Resultados prueba piloto. **Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a los resultados de la prueba piloto, se consideraron 1000 escenarios de demanda, generados a partir de la metodología propuesta. En la tabla 7 se muestran los resultados estadísticos de la simulación final.

n	1000
Promedio	0.86
error	2.18%
Lim inf	83.42%
Lim sup	87.78%
Amplitud	4.35%
Confianza	0.95
Sig	1.959963985

Tabla 7: Resultados estadísticos de la simulación. Fuente: elaboración propia

Dentro de los resultados obtenidos, se identifica que la solución propuesta genera mayor rentabilidad que la operación actual de la empresa entre 83% y 87% de las veces, con un promedio de \$5,764,208,293 COP; asimismo, el nivel de servicio de la empresa se aumenta entre 710 y 720 rutas que logran cubrir con flota propia, lo que puede ser un factor importante, en un escenario en el cual la oferta de terceros sea muy baja y por ende no se cumpla el supuesto de tercerización ilimitada que se propone en un principio. ([ver anexo 12](#)).

Finalmente, se realizó un análisis de riesgo y sensibilidad, el cual consistió en identificar para los dos escenarios posibles: i) cuando es mejor operar con la flota de la empresa y ii) cuando es mejor operar con la cantidad propuesta de camiones. Esto permite concluir si efectivamente las utilidades de la empresa en el 86% de los casos (donde es mejor operar con 16 camiones) es realmente significativa en comparación con el 14% de los casos restantes (donde es mejor operar solo con 10 camiones). Los resultados se muestran en la tabla 7.

N° de camiones	16	10
n	856	144
Promedio de mejora en la utilidad	\$ 38,190,867	\$ 14,508,092
error	\$ 22,547,932	\$ 11,816,738
Lim inf	\$ 15,642,934	\$ 2,691,354
Lim sup	\$ 60,738,799	\$ 26,324,829
Amplitud	\$ 45,095,865	\$ 23,633,475
Confianza	0.95	0.95
Sig	1.959963985	1.959963985

Tabla 7: Análisis de riesgo y sensibilidad de la utilidad en ambos escenarios. Fuente: elaboración propia

En conclusión, no solamente en el 86% de los escenarios posibles de demanda la utilidad es más alta, sino que además; en promedio la utilidad en la que se deben usar 16 camiones es mayor por \$24.000.000 COP, lo

cual refuerza el plan de abastecimiento de 6 camiones propuesto anteriormente para el horizonte de tiempo de evaluación.

5. Componente de Diseño en ingeniería.

5.1. Declaración de Diseño

Diseño del modelo para la planeación de capacidad operativa de la empresa GMT.

5.2. Proceso de Diseño

El proceso de diseño que se llevó a cabo, se divide en 8 grandes actividades que fueron escogidos plenamente por los integrantes del trabajo; estas son: (1) solicitar toda la información sobre la operación a la empresa (tanto demanda como parámetros); (2) análisis y depuración de toda la información brindada por la empresa; (3) diseñar y aplicar modelos de pronósticos mediante el software R; (4) definición de los conjuntos, parámetros, variables y restricciones del problema; (5) plantear los diagramas de flujo de la heurística; (6) diseñar una metaheurística basada en el método Tabú; (7) simular diferentes escenarios de demanda; (8) medir el impacto de la solución planteada.

En la primera actividad, se diseñaron formatos de recolección de información con el fin de obtener datos más específicos de la operación de la empresa, que facilitarán el diseño de la planeación planteada. En la segunda actividad, se limpió la base de datos de todos los posibles datos atípicos que pudieran presentarse; asimismo, se restringió el problema analizando los orígenes y destinos que tienen un mayor impacto en la empresa (aquellos con más demanda) con el fin de enfocar la planeación en las rutas más relevantes. En la tercera actividad, se aplicaron técnicas de tratamiento de datos que permitieron identificar el modelo de pronóstico más apropiado para cada una de las rutas; posteriormente, se aplicaron pruebas para la reducción de la incertidumbre y para comprobar el error del pronóstico. En la cuarta actividad, se definieron apropiadamente cada uno de los componentes matemáticos y de programación del problema, considerando todas las restricciones planteadas por la empresa y diseñando las variables de respuesta que permitan dar solución al problema planteado.

Posteriormente, después de haber desarrollado actividades enfocadas en el diseño de la solución, en la quinta actividad se define el componente lógico de la heurística, el cual es el encargado de dar solución a la asignación de viajes, así como la compra y/o venta de camiones. En la sexta actividad, se mejora la solución inicial a partir de la iteración mostrada por la heurística; lo anterior, se realiza a través del método búsqueda tabú, el cual para el caso de estudio, consiste en iterar la asignación de las fechas de compra de camiones hasta encontrar una respuesta que pueda mejorar la solución planteada en la heurística. En la séptima actividad, se presentan diferentes escenarios de demanda a través de técnicas de aleatorización que estén dentro del intervalo de confianza mostrado en R para cada ruta. Finalmente, se realiza una evaluación de desempeño de la planeación propuesta en contraposición con los modelos de simulación planteados en la actividad siete.



Figura 3: Cronología del proceso de diseño. Fuente: Elaboración propia

5.3.Requerimientos de desempeño

El modelo fue diseñado en su totalidad en Excel con la ayuda de la herramienta de programación Microsoft Visual Basic para Aplicaciones, la cual trabaja un lenguaje de macros. El modelo, fue desarrollado con base en la información suministrada por la empresa, la cual se acordó manejar de manera completamente confidencial y solo para fines académicos. Es importante mencionar que la base de todo el modelo siempre fue la información suministrada por la empresa, la cual se presume que es información de calidad y precisa sobre la operación de GMT. El modelo arroja indicadores claves como:

- Planeación de la capacidad para la operación
- Utilidad de mes discriminadas por el tipo de flota
- Pronósticos de demanda

5.4.Pruebas de rendimiento

Durante el desarrollo del modelo se realizaron constantemente validaciones con las directivas del área de logística de la empresa. Estas validaciones se realizaron tanto para metodologías escogidas (caso método Delphi) así como para la salida de resultados del modelo de planeación operativa. Asimismo, las reuniones constantes con el director de trabajo de grado aumentaron la confiabilidad de los procesos escogidos para el desarrollo del modelo. Posteriormente, para el código se realizaron las depuraciones y evaluaciones necesarias, tomando como punto de referencia el tiempo de procesamiento del código, el cual no podía ser excesivo.

5.5.Restricciones

- Restricción de presupuesto: la solución propuesta, no supera la capacidad de endeudamiento de la empresa. Se buscaron diferentes opciones de financiamiento como lo es la buena definición del presupuesto de inversión, la implementación de un leasing sobre los vehículos adquiridos, plataformas de apalancamiento como Reponer S.A y aplicar para alivios del gobierno.
- Restricción de políticas empresariales para la asignación de viajes completos que impliquen el retorno al punto de partida por parte del vehículo: Para minimizar esta restricción, se buscó ajustar los tiempos de viaje entre operación municipal para que pueda retornar al punto de partida en menos tiempo.
- Restricción de tiempo y presencialidad para el desarrollo del trabajo de grado: El modelo propuesto no se ve afectado por la limitación del tiempo establecido por la universidad y la presencialidad dado la coyuntura actual, esto dado que se buscaron espacios de reunión con fines académicos
- Restricción de acceso a información: La empresa no fue escéptica al momento de entregar información sensible sobre su operación, ya que se usaron diferentes herramientas académicas que garantizan la confidencialidad de la información

5.6.Cumplimiento del estándar

La Norma ISO 10015, se relaciona con el diseño propuesto debido a que el diseño proporciona una guía para ayudar a las organizaciones en el uso de estrategias de mejora continua en los procesos, conectando las necesidades de la empresa con las operaciones del día a día y a los objetivos estratégicos. De acuerdo con la norma internacional (ISO, 2001), es factible proporcionar apoyo al mejoramiento continuo de una empresa al estudiar las necesidades relacionadas con la competencia laboral.

6.Limitaciones, conclusiones y recomendaciones.

Para la aplicación de técnicas de tratamientos de datos y de modelos de pronósticos, primero se escogieron las rutas que representan el 90% de la demanda histórica, lo cual permitió la construcción entre 3 orígenes con 9 posibles destinos, obteniendo un total de 14 rutas principales para la empresa. Frente a los resultados de los modelos de pronósticos, se encontró que la empresa presenta una tendencia de aumento en el horizonte de tiempo de estudio, los cuales puede aumentar hasta 80% en rutas como Bogotá y sus alrededores, y Bogotá con ciudades portuarias como Cartagena y Barranquilla. Además, con los modelos de pronósticos de las

diferentes rutas propuestas, se evidencia que el 90% de estos cumplen con un MAPE inferior al 30%, lo cual es una buena señal de que dichos modelos están contruidos con solidez estadística y se pueden considerar modelos de pronóstico confiables. Asimismo, es importante destacar que para ciertas rutas, se identificaron datos del año 2020 que presentan datos atípicos extremadamente bajos (consecuencia de la crisis sanitaria covid-19), los cuales no se tuvieron en cuenta para la construcción del respectivo modelo por su inminente afectación directa en los datos pronosticados.

El modelo de asignación de viajes, permite establecer un plan de acción para la empresa lo que permite identificar la mayor cantidad de camiones a adquirir (en este caso 6) para maximizar la rentabilidad acumulada. El poder establecer este plan, permitió a la empresa poder abarcar mayor demanda de rutas a lo largo de cada uno de los años, dejando como punto de inflexión la falta de planeación con la que se asignan las rutas actualmente en GMT. Más que una crítica, el modelo brinda una solución estructurada sobre cómo debe organizarse la empresa para invertir en su flota propia y por consiguiente, en la compra de activos a largo plazo. La solución de la heurística, la cual dejaba a libre elección la fecha de compra, buscaba la máxima cantidad de camiones a comprar logrando mejorar la rentabilidad total en 1% con respecto a una simulación en la cual solo operan 10 camiones propios y un aumento del 32% en comparación con la metodología actual de la empresa de asignación de viajes a los camiones propios y terceros. El porcentaje de aumento de operar con 6 camiones mas no es muy relevante, pero es necesario tener en cuenta que al adquirir un camión se debe asumir mensualmente los costos de interés y depreciación los cuales afectan directamente la rentabilidad total y por ende el resultado del modelo; sin embargo, el aumento de los activos en un 60% y del 32% al implementar la metodología de asignación propuesta debe ser entendido como una decisión que para un futuro cercano es viable desde un ámbito económico y empresarial. El incremento de la rentabilidad total y la mejora de la planeación operacional, son cambios muy positivos que expone como resultado la aplicación del modelo dentro de un contexto real que cumple con las restricciones propuestas por la empresa.

La aplicación de la metaheurística sobre el modelo, propone una reorganización en las fechas de compra de los camiones, obteniendo con estas un incremento en la rentabilidad total. Cambiar estos parámetros permite buscar una solución más rentable dentro de un conjunto de combinaciones que el modelo no consideró inicialmente y que finalmente termina encontrando las fechas más idóneas para la compra de los seis camiones. Esta herramienta mejora en 0.6% la heurística y en 1,6% el modelo con los 10 camiones iniciales, dejando claro el progreso considerable que supone para la empresa el implementar un plan de abastecimiento basado en esta metaheurística. En un contexto general, la metaheurística termina complementando el modelo inicial añadiendo profundidad al momento de escoger las fechas de compra de los camiones.

La medición del impacto económico y el nivel de servicio, son indicadores claves a la hora de evaluar la viabilidad de la solución propuesta para la empresa. Se construyen réplicas con variaciones en las demandas pronosticadas y se someten a dos escenarios: el primero, en donde se compran progresivamente seis camiones, y el segundo, donde no se realizan compras; dentro de esta comparación se mejora la rentabilidad en un 90% de las simulaciones y a la vez, mantener los porcentajes de tercerización más bajos en el 100% de los casos. La viabilidad del modelo y los resultados arrojados, muestran una clara mejora en todos los rubros comparados y justifican la viabilidad de un plan de capacidades a largo plazo para la empresa GMT.

Se recomienda a la empresa la implementación de mejores sistemas de información, ya que para la construcción de modelos de pronóstico resultó bastante complicado para ellos brindarnos la información histórica de los viajes realizados en los últimos 10 años. De igual forma, se recomienda a la empresa la implementación del modelo de pronóstico que se les será entregado; con esta herramienta, la empresa será capaz de conocer de manera aproximada la demanda que tendrá en futuros periodos y así planificar de forma más detallada toda la operación, ya que actualmente, el desorden administrativo les representa viajes sin carga y un alto porcentaje de tercerización de la demanda. El modelo de compra aca propuesto, se entrega como sugerencia de un plan de abastecimiento de flota, el cual maximiza la utilidad de la empresa, reduce los tiempos muertos y minimiza el porcentaje de tercerización de demanda.

7.Glosario

Se encuentran consignadas a continuación las definiciones más relevantes dentro del trabajo de grado sustentadas con base en referencias científicas.

know-how. El término Know How se refiere a que la empresa ha acumulado una gran experiencia en cómo realizar cierta tarea, lo que garantiza que esta se llevará a cabo sin problemas. Naturalmente, el uso de la palabra no es privativo del ámbito informático; se incluye aquí por ser en este muy frecuente.

Planeación estratégica. Proceso continuo basado en el conocimiento más amplio del posible futuro considerando que se emplea para tomar decisiones en el presente, sobre las cuales implican riesgos a futuro.

Tercerización. Es una práctica llevada a cabo por una empresa cuando contrata a otra firma para prestar un servicio que en principio debería ser brindado por ella misma. Este proceso se realiza con el fin de reducir costos de operación.

Flota propia. Conjunto de vehículos destinados a transportar mercancías o personas y que dependen económicamente de la misma empresa.

Pronóstico de la demanda. Se define como el arte y la ciencia para predecir la demanda futura para un bien, componente o servicio en particular, con base en datos históricos, estimaciones de mercadeo e información promocional, mediante la aplicación de diversas técnicas de previsión.

Series de tiempo. Se denomina como un modo estructural de representar valores que luego son extendidos al futuro por un método de pronóstico. Este pronóstico se realiza normalmente para optimizar distintas áreas.

Planeación de capacidades. Dentro del ámbito de la aplicación de los proyectos consiste en la realización de un análisis sobre los recursos necesarios en un periodo específico de tiempo, con la ayuda de diferentes métodos de programación.

Simulación. Repetir o duplicar los comportamientos de un sistema real, mediante la imitación del comportamiento de las variables para poder predecir la evolución de este comportamiento.

Plan de operaciones. Cuando se hace referencia a las operaciones dentro de una empresa, se hace alusión a todos los procedimientos y acciones que ayudan a la empresa a cumplir su finalidad y lograr resultados esperados

8. Anexos

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de archivo	Enlace	Relevancia documento
1	Método Delphi	Propio	Excel	https://bit.ly/3AhMtdm	3
2	Tratamiento datos históricos	Propio	Excel	https://bit.ly/364ETFm	4
3	Pareto global	Propio	PDF	https://bit.ly/3h5OcuU	2
4	Gráficos Pcf	Propio	PDF	https://bit.ly/2UOOBcl	1
5	Residuales de PACF	Propio	PDF	https://bit.ly/3yahXQV	1
6	Cusum y prueba	Propio	PDF	https://bit.ly/2UbmELC	1
7	Pronósticos	Propio	R studio	https://cutt.ly/ZmmVndl	4
8	Resultados pronósticos diarios	Propio	Excel	https://bit.ly/3hhriQ6	3
9	Conexión rutas	Propio	PDF	https://bit.ly/3jt9K6a	4
10	Diagrama de flujo	Propio	PDF	https://bit.ly/35ZInc	5
10.1	Pseudocódigo	Propio	Texto	https://cutt.ly/WQxFOik	3

11	Heurística, metaheurística	Propio	Excel	https://bit.ly/3hxOHVR	5
11.1	Metodo empresa demanda 2019 - Viajes	Propio	Excel	https://bit.ly/3C522pM	5
11.2	Heurística Demanda 2019	Propio	Excel	https://bit.ly/3yptgFg	5
12	Resultados simulación	Propio	Excel	https://bit.ly/3dFOsXs	5

9.Referencias

Antero. J, Arango. D, Gutierrez. L, Ledesma. F, Lotero. G, Vanessa. L. (2018). Simulación discreta aplicada al ruteo intraurbano. Revista Ingeniería Industrial,2.

Arango. M, Ruiz. S, Ortiz .V., Zapata Cortes. J, (2016), Indicadores de desempeño para empresas del sector logístico: un enfoque desde el transporte de carga terrestre, Santiago de Chile, Ingeniare. Revista chilena de ingeniería

Arciniegas. M, Morales. J, Ortega. A, (2018), Propuesta de tercerización del transporte regional de cilindros de gas en La Mejor-Jumbo.

Bravo. J, Osorio. J, (2007). Administración de recursos de distribución : Indicadores para la priorización de transporte. Artículo Estudios Gerenciales, 5-6.

Costas. Y, Castaño. N, (2015). Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución. Santiago de Chile ,Ingeniera. Revista chilena de ingeniería.

Días. M, Cantillo. V, (2011). Evaluación de los parámetros de las funciones de costo en la relación estratégica de transporte de carga para Colombia. Ingeniería y desarrollo,8.

Frias. J, Vélez. J, (2012). La adaptabilidad a los cambios imprevistos del entorno y la creación de capacidades para el autocontrol de la empresa, La Habana, Universidad de Camaguey.

Gonzalez. J, (2015). Contratación logística en Colombia: implementación de un operador logístico integral, Medellín, Universidad de Medellín.

Huang. S, Tang. C, Yang. T, (2012). Fleet size determination for a truckload distribution center. Journal of advanced transportation.

Jaimes. W, Arango. C, Dario, M, (2011). Modelos logísticos para la optimización del transporte de racimos de fruto fresco de palma de aceite en Colombia. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 5.

Jha, PC , Aggarwal, R. y Singh, SP, (2019). Studying the interrelationship between third party logistic service provider enablers using ISM methodology, India, Journal of modeling in management.

Jiang. J, Ming. K, Leng. K, Meng. K, (2014). Ruteo de vehículos con un flota heterogénea de vehículos y ventana de tiempo. Expert systems with applications.

Melián. Belen, Moreno. J, Vega. M, (2003). Metaheurísticas: Una visión global. Revista Iberoamericana de inteligencia artificial, 4.

Ossa. G, Gutierrez. J, (2013). El ciclo económico del transporte de carga terrestre carretero en Colombia. Criterio Libre, 7-23.

Quintana, E., Ojeda, L. y Almeida, O, (2019). Diseño de un sistema de ruta variable de transportación basado en sistemas de información geográfica, Cuba, Avances journal.

Riojas. A, (2005). Conceptos, algoritmos y aplicación al problema de las N-reinas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2.

Rodríguez. V, William C, (2020). Modelado de un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos, ventanas de tiempo y flota heterogénea de un servicio de mensajería. Información tecnológica, 2-7.

Sanchez. R, Barrera. P, (2018). Metodología basada en cadenas de Markov para la predicción de la demanda y toma de decisiones en el corto plazo. Caso de Estudio: Empresa Eléctrica Quito, Quito, Revista técnica “energía”.

Tellez, J, (2020, 5 de septiembre). "Información requerida sobre la empresa GMT SAS", correo electrónico enviado a Manchola, J.