

**PROPUESTA PARA LA PROGRAMACIÓN DE TRANSPORTE DE PERSONAL EN
UNA EMPRESA DEL SECTOR DE ALIMENTOS LOCALIZADA EN EL
NORTE DEL VALLE DEL CAUCA.**

**GUNNAR ANDRÉS MENDOZA MARIN
DIANA CAROLINA HERNÁNDEZ LIBREROS**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

2023

**PROPUESTA PARA LA PROGRAMACIÓN DE TRANSPORTE DE PERSONAL EN
UNA EMPRESA DEL SECTOR DE ALIMENTOS LOCALIZADA EN EL NOR
DEL VALLE DEL CAUCA.**

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero(a) Industrial

**GUNNAR ANDRÉS MENDOZA MARIN
DIANA CAROLINA HERNÁNDEZ LIBREROS**

**DIRECTOR
MSC. JUAN JOSÉ ROJAS REYES**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

2023

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LAS RUTAS DE TRANSPORTE PARA LOS COLABORADORES.	13
1.1 PROGRAMACIÓN Y COORDINACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE	15
1.2 IDENTIFICACION DE RUTAS EXISTENTES	16
1.2.1 PROCESO ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE TRANSPORTAR LOS COLABORADORES	18
1.3 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.....	20
1.3.1 ESTRUCTURA FÍSICA DE LAS RUTAS Y DE LA RED	20
1.3.2 INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE ...	20
1.3.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE EFICACIA DE TRANSPORTE	21
2. FORMULACIÓN DEL MODELO	24
2.1 OBTENCIÓN DE COORDENADAS	24
2.2 CÁLCULO DE MATRIZ DE DISTANCIAS	25
2.3 FORMACIÓN DE MATRIZ DE AHORROS	26
2.4 COMPROBACIÓN DE CAPACIDAD Y ASIGNACIÓN DE CLIENTES A CLÚSTERES	26
2.5 DATOS DE ENTRADA	27
3. VALIDACIÓN DEL MODELO	30
3.1 RESULTADOS TURNO 1	30
3.2 RESULTADOS TURNO 2	31
3.3 RESULTADOS TURNO 3	33
3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
4. CONCLUSIONES	36
5. REFERENCIAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de investigación	12
Figura 2. Municipios beneficiarios de rutas de transporte de personal	13
Figura 3. Representación lugar de residencia de los colaboradores.	15
Figura 4. Rutas actuales en el municipio de Zarzal.	17
Figura 5. Diagrama de interacción entre áreas.	19
Figura 6. Coordenadas en Google Maps.....	24
Figura 7. Resultados Calculadora UTM.....	25
Figura 8. Formulación de Solver para cálculo de demandas por parada.....	28
Figura 9. Propuesta de clústeres y rutas para Turno 1.....	30
Figura 10. Propuesta clústeres y rutas para Turno 2.	32
Figura 11. Propuesta clústeres y rutas para Turno 3.	33
Figura 12. Comparación entre propuesta y método actual.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Turnos rotativos.....	14
Tabla 2. Número de rutas y capacidad en los municipios.....	16
Tabla 3. Distancias y clústeres actuales.	18
Tabla 4. Eficacia del sistema de transporte ofrecido por la empresa subcontratada.....	22
Tabla 5. Nivel de eficiencia del sistema de transporte ofrecido por la empresa subcontratada.....	22
Tabla 6. Colaboradores que utilizan las rutas de transporte en una semana.	23
Tabla 7. Ejemplo de matriz de distancias en 5 puntos	25
Tabla 8. Selección máximos ahorros.....	27
Tabla 9. Demandas estimadas por parada en Turno 1.....	28
Tabla 10. Distancias y ocupación para Turno 1.....	31
Tabla 11. Distancias y ocupación para Turno 2.....	33
Tabla 12. Distancias y ocupación para Turno 3.....	34
Tabla 13. Distancias y vehículos con método actual.	34
Tabla 14. Distancias y vehículos con propuestas de mejora.....	35
Tabla 15. Ahorros mensuales y anuales con la propuesta de mejora.	35

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Distancia desde el nodo i al nodo j.....	25
Ecuación 2. Distancia desde el nodo i al nodo DC.	26
Ecuación 3. Distancia desde DC al nodo j.....	26
Ecuación 4. Cálculo de los ahorros.	26
Ecuación 5. Demanda total	29
Ecuación 6. Demanda clientes	29
Ecuación 7. Capacidad del vehículo	29
Ecuación 8. Número mínimo de vehículos	29

INTRODUCCIÓN

El problema de ruteo de vehículos (VRP) implica la búsqueda de una solución óptima para planificar un conjunto de rutas de transporte con una flota de vehículos con el objetivo de satisfacer la demanda de clientes, depósitos o almacenes distribuidos geográficamente (Quintanilla, 2015). Aunque el VRP se ha aplicado comúnmente en problemas de logística, como la entrega y recogida de productos, también se ha utilizado en la planificación del transporte de pasajeros. Las empresas que ofrecen servicios de transporte para sus empleados pueden beneficiarse al utilizar la técnica VRP para mejorar la eficiencia de sus rutas, optimizar la asignación de vehículos y conductores, reducir los costos de transporte y cumplir con los requisitos legales y normativos relacionados con la seguridad en el transporte de pasajeros (Vidal, 2011).

Hoy en día, principalmente las empresas que ofrecen servicios de transporte a sus empleados necesitan herramientas para gestionar las actividades de recogida y distribución, ya que han descubierto que estas actividades afectan significativamente a sus costos totales. Es por esto por lo que, para responder a preguntas como la cantidad óptima de vehículos necesarios para satisfacer la demanda con los costos más bajos, las empresas han buscado herramientas de optimización para la planificación de rutas. A pesar de ello, la mayoría de las empresas todavía basan la planificación en la experiencia y la intuición debido a la falta de herramientas adecuadas, lo que les impide mejorar la eficiencia de la determinación y gestión de rutas, así como obtener una ventaja competitiva al reducir los costos (Quintanilla, 2015).

Debido a esto, en este proyecto se busca proponer un modelo que permita la asignación de vehículos con capacidad homogénea y una nueva secuencia de rutas, con el objetivo de minimizar sus costos totales de transporte al establecer un tamaño de flota adecuado que permita atender la demanda que realmente se presenta en la empresa caso de estudio al ofrecer su beneficio de transporte de personal.

Dentro de este orden de ideas, se ha relacionado esta problemática con el problema de ruteo de vehículos capacitados (CVRP), el cual ha sido ampliamente estudiado a lo largo de los años y desarrollado múltiples métodos de solución, como, por ejemplo, el método de Clark y Wright (1964), que permite alcanzar una buena solución en un periodo de tiempo corto, para identificar la importancia y aportes del mismo, se mencionan investigaciones como las de Torres Prato, Suero Pérez & Guzmán Ávila (2015), quienes presentan un problema de ruteo de vehículos capacitados, en donde cuentan con un centro de distribución para atender a 26 clientes. En su propuesta, tienen en cuenta una flota de vehículos, un depósito (origen), unos clientes (destino) con su respectiva demanda y una flota de vehículos con capacidad limitada, con la finalidad de minimizar sus costos totales de transporte. Finalmente, aplicaron la heurística de Clarke y Wright, de la cuál concluyeron que se obtuvo un ahorro diario en los costos del 41%, además, realizaron una comparación con el método del barrido, en la cual resaltan que el método del ahorro es mucho más eficiente.

También, Álvarez Hernández (2017) propone un ruteo de vehículos a través del heurístico mencionado anteriormente para la empresa OPPERAR S.A, que se encargaba de distribuir los productos de Nutresa a sus clientes, teniendo en cuenta los mayores ahorros en las distancias recorridas. Para llevar a cabo la solución, se tuvieron en cuenta parámetros como la ubicación o coordenadas de los clientes, la respectiva demanda en cada punto, la capacidad de los vehículos y la ubicación del centro de distribución, donde finalmente obtuvieron una reducción de aproximadamente 20 vehículos, dejando solamente 5 vehículos para cumplir la demanda de los clientes.

De acuerdo con la problemática expuesta anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación.

¿De qué forma se puede asignar y programar las rutas de transporte de personal desde la empresa a las distintas paradas de Zarzal, con la finalidad de minimizar los costos de transporte de personal?

Teniendo en cuenta lo anterior, se llevaron a cabo una serie de investigaciones relacionadas con la problemática de la empresa caso de estudio.

Inicialmente, Bräysy Olli & Gendreau Michel (2005^a), realizaron la investigación sobre el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW), en donde se busca diseñar una ruta de menor costo desde un depósito o sitio fijo con puntos que están dispersos geográficamente y deben ser visitados una vez por un vehículo dentro de un intervalo de tiempo determinado; además, todas las rutas inician y terminan en el mismo sitio fijo y la demanda total de todos los puntos en una ruta no debe ser mayor a la capacidad del vehículo. Esta investigación permite conocer los métodos de construcción de rutas, sus características y análisis a los resultados experimentales de problemas de prueba.

Así mismo, Cordeau, J.F. & Laporte, G (2007), llevaron a cabo una revisión en la literatura sobre el problema del Dial-a-Ride (DARP) que consiste en diseñar rutas y horarios de vehículos para n usuarios que especifican solicitudes de recogida y entrega entre orígenes y destinos. El objetivo de este es planificar m rutas de vehículos de coste mínimo, capaces de acomodar al mayor número posible de usuarios, bajo un conjunto de restricciones. El propósito de este artículo es la descripción del problema, sus características y métodos de solución.

También, Jin, Q., Wu, G., Boriboonsomsin, K. and Barth, M (2012), propuso un sistema multiagente modificado con una programación óptima de las horas de salida de los agentes vehiculares (VAs), obteniendo como resultados mejoras en los tiempos de viaje; además de la disminución en el consumo de combustible y emisiones de contaminantes.

Del mismo modo, Domínguez Muñoz & Perea Bermúdez (2015), lograron proponer distintos métodos de solución al problema VRP con la finalidad de proponer una nueva secuencia de rutas para poder reducir los tiempos de entrega y las distancias recorridas, logrando obtener la solución más factible a partir de la aplicación de distintas heurísticas.

Por otra parte, Villagra A., Villagra S., Alancay N., Rasjido J., Pandolfi D (2016), realizaron la investigación en el campo de las metaheurísticas para resolver este problema principalmente aplicando algoritmos híbridos basados en el algoritmo genético celular (cGA) y en la optimización basada en colonia de hormigas (Ant Colony Optimization o sus siglas en inglés ACO).

Además, Reyes Morales Norman (2016), propuso un modelo de optimización de programación de rutas para una empresa de logística peruana con herramientas como FSMVRPTW (problema de tamaño de la flota y mezcla de vehículos con ventanas de tiempo) para tres procesos clave, del cual se obtienen ahorros significativos en los costos.

Luego, Loor Vélez, Lorena Marina; Sánchez Villamar, Patricia Elizabeth (2017), desarrollaron un modelo de programación matemática utilizando el problema de enrutamiento vehicular con restricción de capacidad y ventanas de tiempo para diseñar rutas para transportar empleados desde cierto paradero hacia su lugar de trabajo, con la finalidad de minimizar los costos de la ruta. Se obtiene un ahorro significativo mensual del 20% con la aplicación del modelo.

Posteriormente, Sánchez Gómez (2019), plantearon un modelo para minimizar los costos de logística, con la reducción de los kilómetros recorridos y de los vehículos utilizados, a partir de la variante Multi-Trip VRP (MTVRP) mediante el algoritmo de Clarke-Wright, logrando encontrar una solución factible.

Finalmente, Herrera Ochoa, O. J., Bedoya, P. A., & Forero, A. F (2021), realizaron una propuesta a través de la heurística de Clarke y Wright para minimizar el tiempo de transporte de una flota de vehículos utilizados para recoger y transportar los estudiantes de un colegio de Bogotá, teniendo en cuenta la mejora en aspectos sociales al aliviar el estrés del cliente y la movilidad en algunas zonas de la ciudad.

Así pues, este proyecto tiene como finalidad proponer un modelo de ruteo de vehículos capacitados, con el fin de programar una nueva secuencia de rutas, que recorra menores distancias y su vez se asignen la flota de vehículos óptima para atender la demanda de cada ruta, generando una mayor eficiencia en la empresa y la minimización de sus costos totales de transporte, tomando como caso de estudio una empresa del sector de alimentos, ubicada en el corregimiento de La Paila (Valle del Cauca), que ofrece el servicio de transporte de personal. De esta manera, se define como objetivo general:

- Desarrollar una propuesta para la asignación y programación de rutas de personal en una empresa del sector de alimentos del Norte del Valle del Cauca, por medio de un sistema de soporte para decisiones que permita minimizar los costos operacionales de transporte.

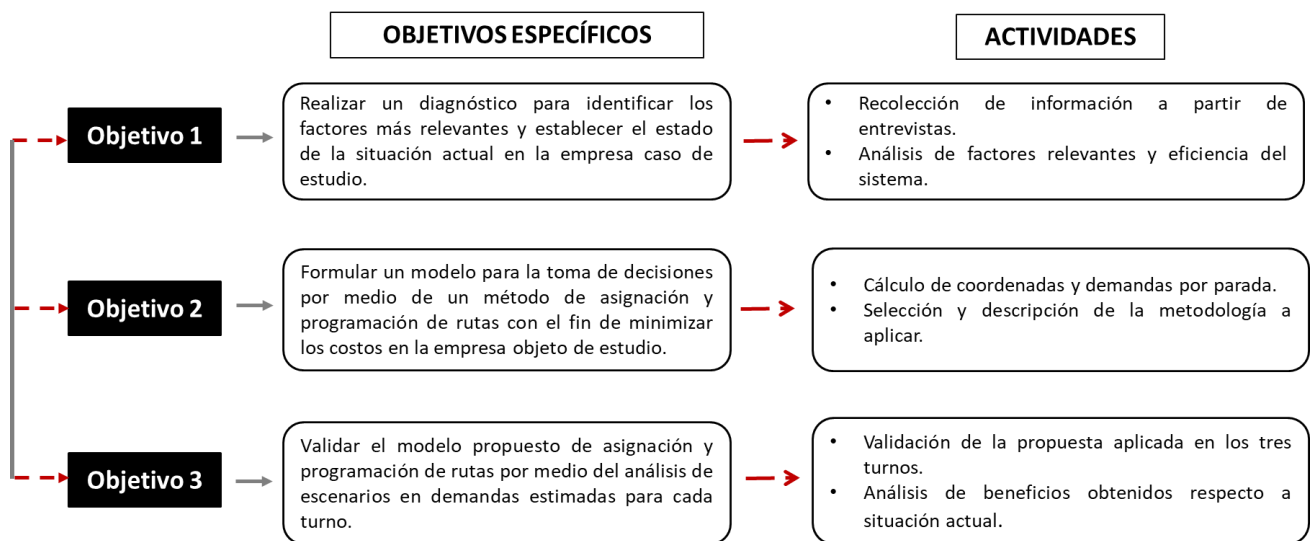
Además, para alcanzar este objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico para identificar los factores más relevantes y establecer el estado de la situación actual en la empresa caso de estudio.

- Formular un modelo para la toma de decisiones por medio de un método de asignación y programación de rutas con el fin de minimizar los costos en la empresa objeto de estudio.
- Validar el modelo propuesto de asignación y programación de rutas por medio del análisis de escenarios en demandas estimadas para cada turno.

Del mismo modo, para alcanzar los objetivos los objetivos planteados anteriormente, se divide la problemática en tres fases como se observa en la Figura 1:

Figura 1. Metodología de investigación



Fuente: Elaboración propia.

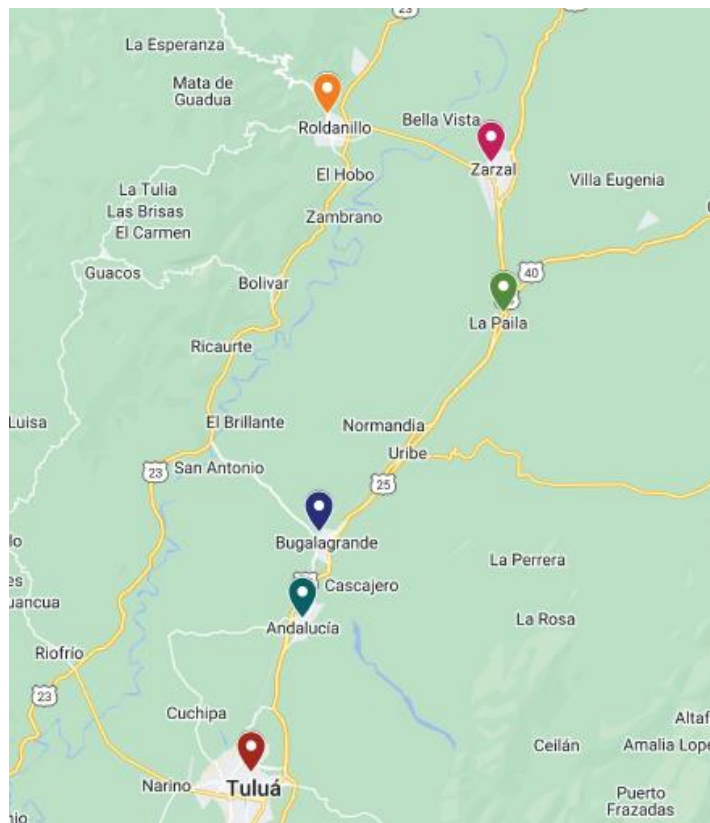
Inicialmente, se realiza una revisión de la literatura para identificar los factores relevantes asociados a la eficiencia del sistema de transporte, además, de la recolección de información a partir de entrevistas con los encargados de ofrecer el servicio de transporte en la empresa caso de estudio y así lograr diagnosticar la situación actual. Luego, se definen los parámetros de entrada como las coordenadas y la demanda de las paradas, para llevar a cabo la ejecución del modelo propuesto. Finalmente, para el cumplimiento del último objetivo, se valida la propuesta para los tres turnos y se realizará un análisis de los resultados obtenidos, comparando la situación actual con los beneficios obtenidos con la situación propuesta.

1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LAS RUTAS DE TRANSPORTE PARA LOS COLABORADORES.

El transporte como un proceso esencial para el inicio de las labores en la organización objeto de estudio, es contratado con una empresa especializada para el transporte de pasajeros. Para ello, la empresa objeto de estudio que se encuentra localizada en La Paila (Valle del Cauca), realiza la programación del personal que hace parte de los planes de producción en los que puede variar la cantidad de colaboradores por turno, por este motivo, se incurre constantemente en vehículos de capacidad mayor a la necesaria, lo que es igual a mayores costos.

Además, al ser una empresa reconocida, cuenta con un amplio requerimiento de mano de obra, la cual tiene origen en municipios cercanos al corregimiento, donde, los colaboradores ubicados en los municipios de Zarzal, Tuluá, Bugalagrande, Andalucía, Roldanillo y la Paila son los beneficiarios de las rutas de transporte de personal como se puede observar en la Figura 2.

Figura 2. Municipios beneficiarios de rutas de transporte de personal



Fuente: Elaboración propia usando Google Maps.

Es importante mencionar, que, el proceso de planificación de las rutas se realiza de forma empírica, sin contar con una herramienta de asignación para la toma de decisiones, ya que para su elaboración se divide el proceso en distintas áreas, de tal manera, que se adapte a la necesidad de producción de la planta en periodos de tiempo semanales. A pesar de esto, el

transporte para el personal no está definido de forma que se apegue a las necesidades de la planta, ya que esta se hace de forma general, y en algunas ocasiones la ocupación del bus es igual a la ofertada o es insuficiente.

Así mismo, la empresa cuenta con tres turnos rotativos de 8 horas cada uno, como se observa en la Tabla 1, los cuales se encuentran establecidos previamente, pero la asignación de vehículos se debe contratar de acuerdo con la cantidad de personal programado en la semana. Por lo tanto, se generan dificultades e incremento en los costos, ya que hay desconocimiento en cuantas personas toman una ruta por turno, lo que conlleva a incurrir en contratar más vehículos de los que en realidad pueden ser necesarios para transportar el personal o, por el contrario, la cantidad de vehículos no logra abarcar la demanda en las paradas.

Tabla 1. Turnos rotativos

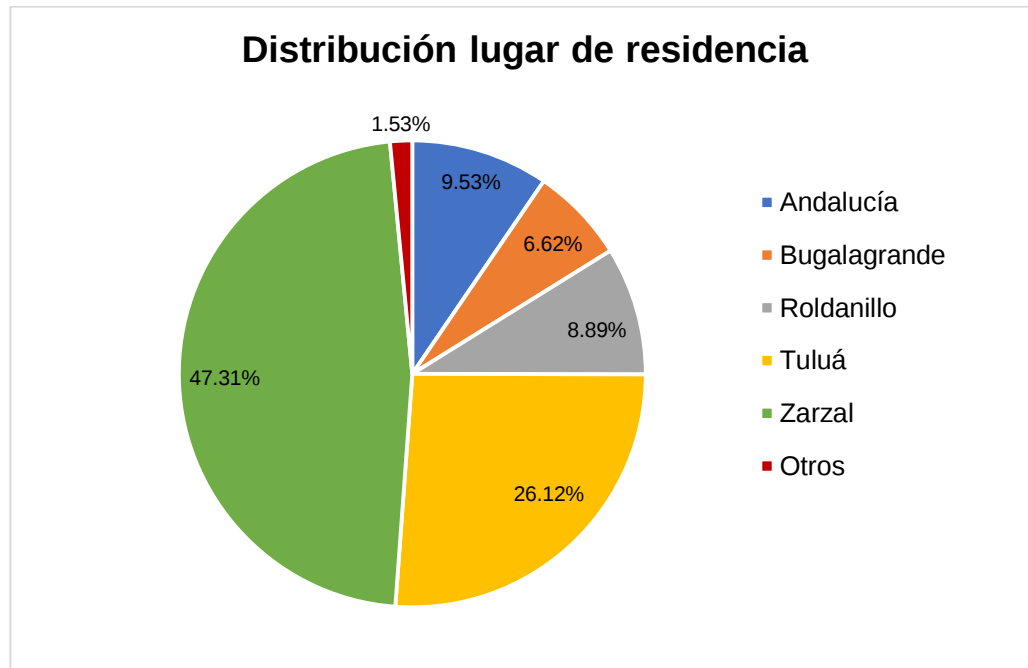
Turno	Horario
1	10 pm - 6 am
2	6 am - 2 pm
3	2 pm - 10 pm

Fuente: Adaptado de la empresa objeto de estudio.

Considerando la situación actual de la empresa caso de estudio, se establece la relación que existe con el problema de enrutamiento de vehículos con capacidad homogénea (CVRP), ya que en este se tiene una flota de vehículos con capacidades homogéneas, las cuales tienen que satisfacer la demanda de un grupo de clientes que empiezan y finalizan su ruta en un centro de distribución al menor costo posible, además de establecer el orden de visita de estos (Orrego Cardozo & Lopez Rua, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, la problemática propuesta será tratada en el municipio de Zarzal, ya que de los 2275 colaboradores que se encuentran vinculados a la empresa en la actualidad, el 47,31% están ubicados en este municipio, siendo la representación más alta de los municipios beneficiarios del servicio que se mencionaron anteriormente. Los municipios clasificados como “otros” son municipios que no aportaban ni el 1%, como por ejemplo Toro, Sevilla, El Cairo, La Unión, Bolívar, como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3. Representación lugar de residencia de los colaboradores.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se lleva a cabo la identificación de los factores más relevantes en el proceso de la asignación y programación de las rutas de transporte y la definición de indicadores para determinar el estado del servicio prestado actualmente por la empresa subcontratada.

1.1 PROGRAMACIÓN Y COORDINACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE

En primera instancia, se debe resaltar que existe un contrato flexible entre ambas empresas, dependiendo de la demanda de colaboradores, en donde la empresa transportadora ofrece una flota de vehículos acorde a la demanda. Además, esta ofrece el servicio de transporte, con su flota de vehículos de capacidad homogénea de 40 pasajeros, en donde para identificarlos cada uno tiene un código con los cuales deben cubrir toda la demanda en cada parada durante los diferentes turnos. Igualmente, dichas rutas tienen su origen y destino en la empresa caso de estudio y al finalizar cada turno se regresa el personal a los puntos de parada en las distintas ubicaciones donde tomaron la ruta. A continuación, en la Tabla 2, se presenta la información de las 22 rutas con su respectiva capacidad.

Tabla 2. Número de rutas y capacidad en los municipios.

Numeración	Ruta	Ciudad	Capacidad
Ruta #1	T1	Tuluá- Colombina	40
Ruta #2	T4	Tuluá- Colombina	40
Ruta #3	T5	Tuluá- Colombina	40
Ruta #4	T6	Tuluá- Colombina	40
Ruta #5	T7	Tuluá- Colombina	40
Ruta #6	T8	Tuluá- Colombina	40
Ruta #7	R/T/A/B	Puede abarcar cualquiera de estas rutas (Roldanillo, Tuluá, Andalucía, Bolívar)	40
Ruta #8	R/T/A/B		
Ruta #9	A1	Andalucía- Colombina	40
Ruta #10	A2	Andalucía- Colombina	40
Ruta #11	B1	Bugalagrande- Colombina	40
Ruta #12	Z2	Zarzal- Colombina	40
Ruta #13	Z4	Zarzal-La paila- Colombina	40
Ruta #14	Z5	Zarzal- Colombina	40
Ruta #15	Z6	Zarzal- Colombina	40
Ruta #16	Z7	Zarzal- Colombina	40
Ruta #17	Z8	Zarzal- Colombina	40
Ruta #18	Z9	Zarzal-Colombina	40
Ruta #19	REFUERZO	Apoyo la 14	40
Ruta #20	R1	Roldanillo - Colombina	40
Ruta #21	R2	Roldanillo - Colombina	40
Ruta #22	R3	Roldanillo - Colombina	40

Fuente: Elaboración propia, adaptado de la empresa objeto de estudio.

1.2 IDENTIFICACION DE RUTAS EXISTENTES

La empresa objeto de estudio, acoge las rutas y puntos de encuentro que presenta la empresa transportadora, ajustándose a sus necesidades y costos. Por ende, estas ya se encuentran establecidas y en caso de requerir una ruta especial se envía la solicitud para que la empresa de transporte la acepte.

En este sentido, el presente proyecto se llevará a cabo en el municipio de Zarzal, por lo que se centrará únicamente en las rutas de el mismo, en el cual se tienen establecidas 7 rutas y si requieren más vehículos se adicionan refuerzos, que son, vehículos de la misma flota con igual capacidad que apoyan una ruta en caso de necesitarlo. En la Figura 4, se observan los puntos distribuidos a lo largo del municipio y su respectivo recorrido.

Figura 4. Rutas actuales en el municipio de Zarzal.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de la empresa objeto de estudio.

Las rutas se encuentran resaltadas con un color específico para mayor claridad, en la Tabla 3, se puede observar que los vehículos 1 y 2 de color azul, recorren la misma ruta por tener una alta demanda, siendo estas las de mayor recorrido en distancias, sumado a esto, el vehículo 3 de color verde, sólo recorre dos puntos por la misma razón. Todas las rutas tienen origen y final en la empresa caso de estudio, siendo así, actualmente, sin contar con los refuerzos se recorre una distancia 132 km por turno, es decir, que al día se recorren 396 km.

Tabla 3. Distancias y clústeres actuales.

VEHÍCULO	CLÚSTER	DISTANCIA (M)	DISTANCIA (KM)	COLOR
1	P0-P1-P2-P3-P4-P5-P0	19542	19.54	
2	P0-P1-P2-P3-P4-P5-P0	19542	19.54	
3	P0-P4-P5-P0	18591	18.59	
4	P0-P6-P7-P8-P9-P10-P11-P12-P13-P14-P0	17945	17.95	
5	P0-P15-P16-P17-P18-P19-P0	18952	18.95	
6	P0-P20-P21-P22-P23-P0	19348	19.35	
7	P0-P24-P25-P26-P27-P28-P29-P30-P0	18386	18.39	
TOTAL		132306	132.31	

Fuente: Elaboración propia, adaptado de la empresa objeto de estudio.

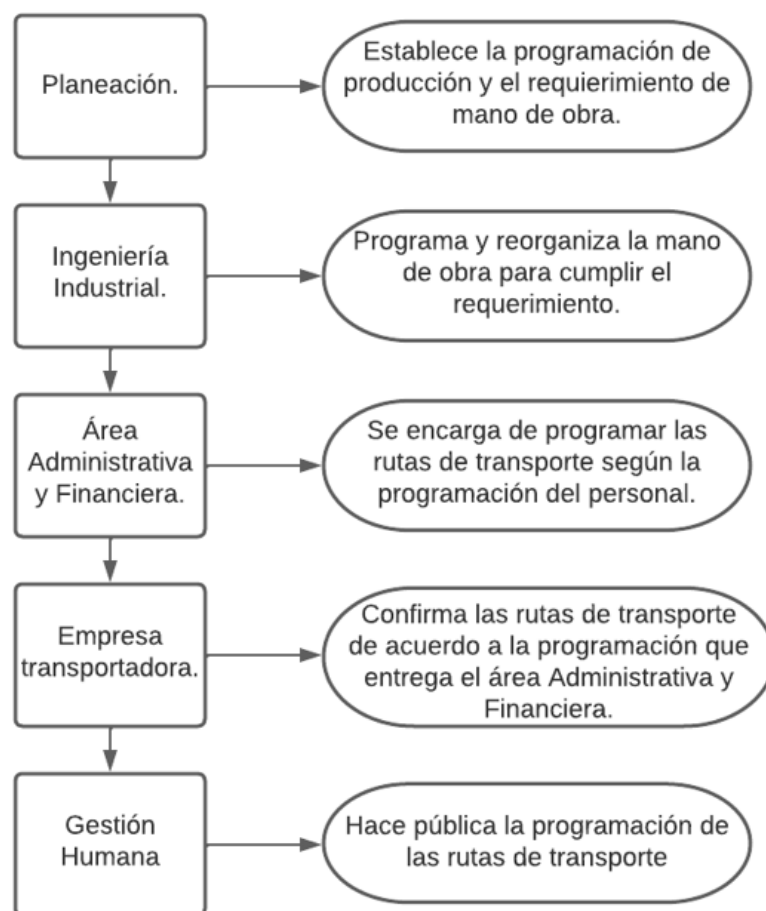
1.2.1 PROCESO ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE TRANSPORTAR LOS COLABORADORES

El área de Planeación es la encargada de programar la producción de la planta, de allí se conoce también el requerimiento de mano de obra total. Este requerimiento, se solicita al área de Ingeniería Industrial quien en una de sus divisiones se encarga de la programación, organización y distribución de la mano de obra necesaria para cumplir el requerimiento de Planeación. Por otro lado, el área Administrativa y Financiera se encarga de programar y coordinar las rutas de transporte necesarias para movilizar los colaboradores.

Luego, la empresa subcontratada se encarga de confirmar y ejecutar las rutas de transporte que estableció el área Administrativa y Financiera. Finalmente, el área de Gestión Humana se encarga de hacer pública la información tanto de la programación del personal, como de la programación de las rutas de transporte.

La finalidad de esta comunicación entre áreas es que ningún colaborador se quede sin transporte, es por ello, que se solicitan rutas que cubran la necesidad y un poco más, para cubrir cualquier imprevisto. En la Figura 5, se ilustra lo mencionado anteriormente.

Figura 5. Diagrama de interacción entre áreas.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los conductores de las rutas toman un aproximado del aforo del bus para el reporte diario, este aforo se toma en cada turno, es decir, cada vez que se hace una ruta. Esta información se le entrega a la coordinadora de la empresa de transporte y ella se encarga de organizar la información, que luego se verifica con la encargada del transporte de la empresa objeto de estudio, de esta forma se confirma la información y se concilia el servicio que se prestó durante la semana.

1.3 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

Por otra parte, para el análisis de la problemática se tomará como base las variables e indicadores para evaluar la dimensión operativa del sistema de transporte, propuesto por Molinero Molinero Ángel R & Sánchez Arellano Luis Ignacio (2005) y complementados por García Schilardi (2017), de los cuales se toman como referencia los más representativos para el caso de estudio. A continuación, se describen cada una de las variables tomadas y sus respectivos indicadores:

1.3.1 ESTRUCTURA FÍSICA DE LAS RUTAS Y DE LA RED

Las redes de transporte permiten un flujo de pasajeros desde un lugar de origen hasta un lugar de destino (García Schilardi, 2017), por lo que finalmente se busca conocer el estado de las rutas y la red ofrecida por la empresa subcontratada.

1.3.1.1 TIPO DE RUTAS

Existen cuatro tipos de rutas de transporte: radial, diametrales, tangenciales y circulares, estas dependen de la demanda que se establece. En el caso de estudio, la estructura física de la red de recorridos es radial, ya que estas se ubican a direcciones opuestas de la empresa y están canalizadas en un único centro de actividad.

1.3.1.2 DISEÑO DE LA RED SEGÚN DEMANDA

Una red de transporte eficaz requiere de planificación y diseño según sea el patrón de viajes o la necesidad. Es por esto, que se debe establecer la demanda adecuadamente, tanto la real como la declarada, es decir, lo que se estima debe ir de la mano con lo que realmente sucede.

En la empresa caso de estudio la demanda se toma a partir de una estimación que se realiza por un formato diligenciado por los colaboradores o por el conteo que llevan a cabo los conductores del bus tanto en el momento que recogen a las personas como cuando serán llevadas a sus lugares de origen. Es decir, que no se tiene un control de lo que realmente se demanda en cada bus cada semana, si no de lo que se estima con datos anteriores.

1.3.2 INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

1.3.2.2 CAPACIDAD DE LOS VEHÍCULOS

Se refiere a la cantidad de colaboradores que viajan simultáneamente en un vehículo. La empresa subcontratada posee 22 rutas, es decir, una capacidad de 880 personas por turno por lo que puede ofrecer el servicio ya que en el turno que más personas se programan (6-2)

con 900 personas en promedio, el servicio lo suelen usar 720 colaboradores, tanto de entrada como de salida. Sin embargo, se suele incurrir en una capacidad mayor a la requerida en ciertos puntos, mientras que en otro se necesita más de la ofertada y se incurre en un viaje extra o un vehículo adicional.

1.3.2.3 PARADAS

En cada ciudad existen varias paradas para cada ruta previamente determinadas, estas no se encuentran señalizadas ya que se transmiten como una voz a voz entre los colaboradores. Estas paradas no parecen estar adecuadamente distribuidas ya que es innecesario detenerse cada 3 cuadras por 2 personas, se debería realizar una redistribución de estas para hacerlas más eficientes.

1.3.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE EFICACIA DE TRANSPORTE

Actualmente la empresa de transporte subcontratada ofrece el servicio de acuerdo con lo solicitado por la empresa caso de estudio, aunque la cobertura de las rutas es bastante amplia y a disposición de todos los colaboradores, esta tiene algunas carencias principalmente en infraestructura y en el diseño de la red respecto a la demanda.

Debido a esto, se realiza una ponderación a cada una de las variables mencionadas anteriormente, donde el menor valor posible era de 0% y el mayor de 25%, esta ponderación se realiza a partir de la información suministrada por la empresa y los indicadores propuestos por García Schilardi (2017) que se tuvieron en cuenta.

Con base en esto, si el atributo aplicaba o era adecuado se le asignaba una ponderación superior a 0, para este caso se consideró que el tipo de rutas era el adecuado, sin embargo, el diseño de la red según la demanda no es lo ideal, la capacidad de los vehículos es adecuada pero las paradas o su secuencia no se encuentra establecida correctamente, por lo que se obtiene un resultado de 70%, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Eficacia del sistema de transporte ofrecido por la empresa subcontratada.

Variable	Indicador	Atributo	Ponderación	
Estructura física de las rutas y de la red	Tipo de rutas óptimo	SI	25%	
		No	0%	
	Diseño de la red según demanda	SI	10%	
		No	0%	
Infraestructura y equipamiento del sistema de transporte	Capacidad de los vehículos	Adecuada	25%	
		Inadecuada	0%	
	Paradas	Presencia	10%	
		Ausencia	0%	
	Total		70%	Inadecuado

Fuente: Adaptado de García Schilardi (2017)

Finalmente, se puede concluir que el nivel de eficiencia del sistema de transporte ofrecido por la empresa subcontratada y de acuerdo con García Schilardi (2017), es inadecuado, como se observa en la Tabla 5, concluyendo que esta no es eficaz y requiere algunas mejoras en los aspectos anteriormente mencionados.

Tabla 5. Nivel de eficiencia del sistema de transporte ofrecido por la empresa subcontratada.

Nivel de eficiencia del sistema de transporte	
Adecuado	(0.75 ; 1)
Inadecuado	(0 ; 0.75)

Fuente: Adaptado de García Schilardi (2017)

En conclusión, el resultado inadecuado para el nivel de eficiencia del sistema de transporte que es subcontratado por la empresa caso de estudio, indica que el diseño de las rutas no está adecuado para la demanda que se presenta constátenme debido al desconocimiento de la misma, además, las paradas se encuentran muy cerca una de la otra y en ocasiones sólo recogen 1 persona, lo que perjudica a la empresa ya que podría estar desperdiciando recursos como puede ser una mayor cantidad de vehículos a los necesarios. Es por esto, que estas son las variables con menor calificación, llevando a que el sistema de transporte de personal sea ineficiente.

1.3.3.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE DE PERSONAL

El problema inicialmente se genera porque el proceso de asignación de colaboradores a laborar se hace de tal manera, que se adapte a la necesidad de producción de la planta en periodos de tiempo mensuales que luego se dividen en semanales. Además, no se tiene un

método para conocer con mayor exactitud cuál es la demanda de colaboradores en cada parada, causando que se incurra en ocasiones en vehículos de mayor capacidad a la necesitada o programar más rutas de las requeridas.

Cabe destacar que los 3 turnos establecidos por la empresa objeto de estudio, tienen un aforo diferente. El turno con mayor aforo es 6 a 2 (Turno 2), sin embargo, en los otros turnos se siguen enviando vehículos con mayor capacidad a la realmente demandada, como se puede observar en la Tabla 6, donde se ejemplifica lo anteriormente mencionado, con las personas programadas, únicamente para los turnos rotativos durante una determinada semana. La información de entrada y salida fue brindada por la encargada del transporte, donde en promedio en la semana la entrada de colaboradores desde todos los municipios fue de 1815 y la salida de 1640, en el servicio de transporte ofrecido por la empresa.

Tabla 6. Colaboradores que utilizan las rutas de transporte en una semana.

Turno	Beneficiarios (colaboradores)		
	Cantidad Programada	Entrada	Salida
6am-2pm	962	711	711
2pm-10pm	663	620	543
10pm-6am	531	484	386
	2156	1815	1640

Fuente: Adaptado de la empresa objeto de estudio.

De las personas que se encuentran programadas en estos tres turnos respectivamente, en promedio el 80% usan el servicio de entrada a la empresa y de salida el 76%, es decir, hay una reducción del 8%, equivalente a 140 puestos, por lo que dejar la misma capacidad para la salida puede generar costos adicionales, además de que a medida que se va acercando el sábado, empieza a disminuir la cantidad de colaboradores que usan el servicio.

2. FORMULACIÓN DEL MODELO

En este capítulo se llevará a cabo la propuesta de mejora para la asignación y programación de las rutas de transporte de colaboradores, se debe mencionar que las rutas ya se encuentran previamente establecidas por la empresa encargada de brindar el servicio. Siendo así, se solicitó información del personal programado, las rutas y flotas de vehículos actuales, además de cómo se realizaba el proceso de programación de estos para brindar la solución adecuada a la problemática propuesta.

Sin embargo, es importante mencionar, que la empresa no realiza un seguimiento para determinar cuál es la demanda de entrada en cada parada diariamente, la información suministrada fue relevante para la solución de la propuesta, aunque debido al desconocimiento de la demanda se realizaron simulaciones al respecto.

El objetivo de esta heurística es disminuir la distancia total recorrida y definir el tamaño de la flota, para lograr la minimización de los costos de transporte. Para su realización, se toma como referencia, los pasos establecidos por Sánchez Gómez (2019):

2.1 OBTENCIÓN DE COORDENADAS

En primer lugar, para obtener las coordenadas de cada parada, incluyendo la empresa caso de estudio se utiliza la herramienta Google Maps donde se encuentra la latitud y longitud, como se observa en la Figura 6. Luego, estas son convertidas con el aplicativo UTM a metros, donde, se ingresan estas coordenadas en la sección GEOGRAFICAS y se obtiene los resultados en la sección UTM, como se muestra en la Figura 7.

Figura 6. Coordenadas en Google Maps.



Fuente: Elaboración propia usando Google Maps.

Figura 7. Resultados Calculadora UTM

Fuente: Calculadora UTM

2.2 CÁLCULO DE MATRIZ DE DISTANCIAS

Luego, en la Tabla 7 se observa la matriz de distancias aplicada a 5 puntos, partiendo desde la empresa objeto de estudio, donde esta se calcula con la distancia euclidiana entre cada par de localizaciones, obteniendo una matriz de distancias, luego de obtener las coordenadas. Donde C_{ij} es la distancia desde el nodo i al nodo j .

$$C_{ij} = \text{Distancia desde el nodo } i \text{ al nodo } j$$

Ecuación 1. Distancia desde el nodo i al nodo j .

Tabla 7. Ejemplo de matriz de distancias en 5 puntos

PASO 1: Matriz de distancias euclidianas						
C_{ij}	P0	P1	P2	P3	P4	P5
P0	0.00	9680.46	9712.89	9630.72	9281.40	9023.98
P1	9680.46	0.00	83.06	122.73	474.71	758.50
P2	9712.89	83.06	0.00	89.75	468.55	754.11
P3	9630.72	122.73	89.75	0.00	378.83	664.37
P4	9281.40	474.71	468.55	378.83	0.00	285.65
P5	9023.98	758.50	754.11	664.37	285.65	0.00

Fuente: Elaboración propia.

2.3 FORMACIÓN DE MATRIZ DE AHORROS

A continuación, con la matriz de distancias obtenida, se procede a calcular el ahorro entre cada parada. Se calcula la distancia desde el nodo i al DC (depósito u origen), el cual denominaremos 0 y, la distancia desde DC nodo j .

$$C_{i0} = \text{Distancia desde el nodo } i \text{ al DC (DC = 0)}$$

Ecuación 2. Distancia desde el nodo i al nodo DC.

$$C_{0j} = \text{Distancia desde DC al nodo } j \text{ (DC = 0)}$$

Ecuación 3. Distancia desde DC al nodo j .

Además, de las distancias desde el nodo i al j , para finalmente obtener la expresión que permite calcular los ahorros, de los cuales se busca el componente con mayor ahorro en la matriz, para identificar las paradas que permitan identificar una nueva combinación con ahorro máximo.

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij} \quad \text{donde, } S_{ij} \text{ es el ahorro desde el nodo } i \text{ hasta el } j.$$

Ecuación 4. Cálculo de los ahorros.

2.4 COMPROBACIÓN DE CAPACIDAD Y ASIGNACIÓN DE CLIENTES A CLÚSTERES

Ahora, con la creación de la matriz de ahorros se comprueba que la combinación de paradas sea factible, tomando la pareja de paradas que tenga el mayor ahorro, siempre y cuando la demanda en los puntos no exceda la capacidad de los vehículos. Si no excede la capacidad, se establece una nueva ruta, de lo contrario se descarta este máximo ahorro y da paso al siguiente, regresando al punto 7.3. Sin embargo, si las paradas no están asignadas a una ruta establecida, se crea una nueva. Pero, si una de las paradas se encuentra asignada se añadirá la otra a la ruta ya existente.

Entonces, cuando ya finalmente se ha formado la ruta y usado dicha componente de la matriz, se asigna -1 o un valor negativo alto con el fin de no volver a elegir esta componente como el mayor ahorro y tener que regresar al punto 7.3. Luego de realizar lo mencionado anteriormente y asignado todos los puntos a una ruta, se establece la nueva secuencia de rutas.

Para identificar las paradas que presentan el mayor ahorro, se utilizó el formato condicional de la herramienta Excel, con el fin de que resaltaré en color verde la celda que tenía el mayor ahorro y así sucesivamente hasta lograr asignar todas las paradas a una ruta, en la Tabla 8 se muestra el máximo ahorro entre los puntos 1 y 10, donde se le asignó -1 a los ahorros máximos anteriores.

Tabla 8. Selección máximos ahorros

S_{ij}	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-									
P2	-1	-								
P3	19188	19253	-							
P4	18487	18525	18533	-						
P5	17945	17982	17990	18019	-					
P6	17148	17176	17183	17210	17232	-				
P7	17024	17053	17061	17089	17114	17108	-			
P8	16778	16806	16813	16842	16866	16868	16884	-		
P9	16617	16644	16651	16679	16703	16707	16720	16723	-	
P10	16890	16913	16919	16943	16959	16960	16933	16815	16678	-

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la aplicación del heurístico, se utilizó como referencia las propuestas de solución de Domínguez Muñoz & Perea Bermúdez (2015) y Sánchez Gómez (2019) en los cuales aplicaron la Heurística de Clarke and Wright para la minimización de los costos. a través de la reducción en las distancias totales recorridas.

Siendo así, para llevar a cabo la propuesta, se deben tener en cuenta los siguientes supuestos:

1. La flota de vehículos tiene capacidad homogénea.
2. El recorrido inicia y finaliza en la empresa de estudio.
3. La demanda en cada parada es estimada con Solver de Excel.
4. Se asume que del total de personas programadas por turno sólo el 80% utilizan el servicio.
5. Las distancias se expresan en metros.
6. Cada bus sólo realiza un recorrido ida y vuelta desde la empresa hasta completar su capacidad.

2.5 DATOS DE ENTRADA

En primer lugar, para iniciar el heurístico se debe conocer la demanda en cada parada y sus respectivas coordenadas, por lo que, a partir de las personas programadas de los 3 turnos, se ha concluido previamente que el 80% de estas utilizan el servicio de transporte, es por esto que a partir de allí se calculan las demandas en cada punto, a través de la herramienta Solver en Excel, y con esta se establece que la función objetivo debe ser la celda donde se encuentra la demanda total y se deben modificar los valores de demanda en cada parada, en donde ningún punto desde ser decimal, ni tampoco cero, como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8. Formulación de Solver para cálculo de demandas por parada.

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se obtienen los resultados de las demandas en cada parada, donde la sumatoria de estas no puede superar la demanda total establecida previamente, este mismo procedimiento se llevó a cabo para cada uno de los turnos, los cuales tienen distintas demandas. A continuación, en la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos para el Turno 1, con una demanda de 178 personas.

Tabla 9. Demandas estimadas por parada en Turno 1.

PARADAS	DEMANDA
1	11
2	1
3	5
4	2
5	12
6	4
7	1
8	4
9	1
10	1
11	8
12	12
13	1
14	6

TOTAL	178
-------	-----

15	1
16	7
17	1
18	1
19	1
20	4
21	12
22	7
23	7
24	5
25	8
26	16
27	6
28	9
29	16
30	8

Fuente: Elaboración propia.

Para continuar, se debe conocer la capacidad de la flota para establecer cuál es la cantidad de vehículos necesarios para abarcar la demanda correspondiente e identificar el porcentaje de utilización de esta a partir de las siguientes expresiones:

$$\sum_{i \in S} d_i : \text{demanda total}$$

Ecuación 5. Demanda total

d_i : demanda cliente i

Ecuación 6. Demanda clientes

C : Capacidad del vehículo

Ecuación 7. Capacidad del vehículo

$$r(S) = \left\lceil \frac{\sum_{i \in S} d_i}{c} \right\rceil$$

Ecuación 8. Número mínimo de vehículos

3. VALIDACIÓN DEL MODELO

Se llevó a cabo la aplicación del Método del ahorro o Algoritmo de Clark & Wright para la solución de la problemática propuesta en este proyecto, este se aplicó a los tres turnos rotativos mencionados anteriormente, con demandas estimadas en cada punto. Es importante mencionar que, los clústeres que se formaron en los distintos casos fueron elaborados de acuerdo con lo mencionado en el paso 7.4, en los cuales se asignaban los clientes sin superar la capacidad hasta que se completaba la misma o se aproximaba lo suficiente, gracias a esto se obtuvieron los siguientes resultados, analizados por turnos y luego comparados con la situación actual.

3.1 RESULTADOS TURNO 1

Se obtuvieron 5 clústeres conformados cada uno por una cantidad de paradas diferente, ya que estas se forman de acuerdo con la demanda de cada punto, en este caso la demanda total era de 178 colaboradores, con una capacidad utilizada del 89%, es decir, que si se llega a encontrar una demanda mayor se puede suplir ya que no está al 100% de capacidad la flota de vehículos. En la Figura 9 se observan los clústeres y las rutas formadas:

Figura 9. Propuesta de clústeres y rutas para Turno 1.



Fuente: Elaboración propia.

De las rutas establecidas, todos los vehículos se aproximan a su capacidad máxima, siendo ruta número 5 la que menor distancia recorre y la que tiene mayor disponibilidad de atender o apoyar algún escenario donde la demanda se eleve. Además, el vehículo número 2 recorre la mayor cantidad de puntos y cumple con el 100% de su capacidad, tal y como se muestra en la Tabla 10, donde se recorren 95.91 Km en el transporte del personal.

Tabla 10. Distancias y ocupación para Turno 1.

TURNO 1					
VEHÍCULO	CLÚSTER	DEMANDA CUBIERTA	DISTANCIA (M)	DISTANCIA (KM)	% OCUPACIÓN
1	P0-P1-P2-P3-P4-P20-P24-P25-P0	37	21508	21.51	92.50%
2	P0-P23-P22-P21-P15-P16-P17-P18-P27-P0	40	20351	20.35	100.00%
3	P0-P26-P5-P6-P7-P10-P0	37	19734	19.73	92.50%
4	P0-P8-P9-P11-P12-P13-P14-P0	36	17780	17.78	90.00%
5	P0-P19-P28-P29-P30-P0	28	16531	16.53	70.00%
TOTAL		178	95906	95.91	89.00%

Fuente: Elaboración propia.

3.2 RESULTADOS TURNO 2

Se obtuvieron un total de 9 rutas o vehículos, cada una oscila entre 2 y 4 puntos para abastecer una demanda de 334 personas, con un porcentaje de capacidad utilizada de 92.78%, ya que como se ha mencionado con anterioridad este turno es el que mayor cantidad de colaboradores programa cada semana, sin embargo, en caso de un alza en la demanda se podría dar respuesta sin necesidad de requerir más vehículos, obteniendo así los siguientes clústeres y las nuevas rutas, como se observa en la Figura 10:

Figura 10. Propuesta clústeres y rutas para Turno 2.



Fuente: Elaboración propia.

La ruta que presenta la menor distancia en recorrido es la número 9, debido a que por su demanda sólo visita dos paradas, mientras que la ruta número 1 es la que mayor distancia recorre debido a que visita más puntos por no poseer tanta demanda además de ser máximos ahorros. También, las rutas están muy aproximadas a su capacidad máxima, y estas recorren 162.91 Km en el transporte del personal, tal y como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Distancias y ocupación para Turno 2.

TURNO 2					
VEHÍCULO	CLÚSTER	DEMANDA CUBIERTA	DISTANCIA (M)	DISTANCIA (KM)	% OCUPACIÓN
1	P0-P1-P2-P3-P4-P24-P26-P0	40	19758	19.76	100.00%
2	P0-P21-P22-P23-P16-P0	40	19305	19.30	100.00%
3	P0-P20-P15-P0	38	18740	18.74	95.00%
4	P0-P25-P17-P18-P0	39	18712	18.71	97.50%
5	P0-P5-P6-P11-P0	39	18173	18.17	97.50%
6	P0-P12-P27-P19-P28-P0	40	17811	17.81	100.00%
7	P0-P7-P8-P9-P10-P0	34	17421	17.42	85.00%
8	P0-P29-P13-P0	32	16690	16.69	80.00%
9	P0-P30-P14-P0	32	16299	16.30	80.00%
TOTAL		334	162908	162.91	92.78%

Fuente: Elaboración propia.

3.3 RESULTADOS TURNO 3

Con el fin de abastecer una demanda de 214 colaboradores, se obtuvieron 6 rutas con un mínimo de 3 paradas y máximo 7, además de presentar un porcentaje de capacidad utilizada de 89.17%, ya que este turno se aproxima en programación al turno 1, pero en caso de un alza a la demanda se puede atender con la misma flota de vehículos. A continuación, en la Figura 11 se muestran los clústeres y rutas formadas:

Figura 11. Propuesta clústeres y rutas para Turno 3.



Fuente: Elaboración propia.

De las rutas formadas, la que presenta un menor recorrido es la número 6, ya que sólo visita 3 puntos, aunque el vehículo que menor demanda cubre es el número 5 pero este recorre más paradas. También, la que mayor distancia recorre es la ruta número 1, debido a que en estos puntos hay menor demanda y realiza un mayor recorrido, generando así una distancia total recorrida de 110.85 Km, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Distancias y ocupación para Turno 3.

TURNO 3					
VEHÍCULO	CLÚSTER	DEMANDA CUBIERTA	DISTANCIA (M)	DISTANCIA (KM)	% OCUPACIÓN
1	P0-P1-P2-P3-P4-P5-P20-P24-P0	38	20273	20.27	95.00%
2	P0-P23-P22-P21-P15-P16-P25-P0	40	19699	19.70	100.00%
3	P0-P17-P18-P19-P29-P0	39	18582	18.58	97.50%
4	P0-P12-P26-P27-P28-P0	32	17878	17.88	80.00%
5	P0-P6-P7-P8-P9-P10-P11-P0	30	17826	17.83	75.00%
6	P0-P13-P30-P14-P0	35	16589	16.59	87.50%
TOTAL		214	110847	110.85	89.17%

Fuente: Elaboración propia.

3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la actualidad, la empresa realiza los mismos recorridos para los 3 turnos, sin importar si la demanda es diferente, teniendo un recorrido de 132 Km en cada uno. Aunque para el Turno 1, requieren 2 vehículos adicionales como se muestra en la Tabla 13, debido a su alta demanda, generando un incremento en la cantidad necesaria, sin embargo, esta distancia no se incluye en la suma ya que son apoyos en cualquier parada donde se quedan colaboradores por transportar, entonces en realidad para este turno se recorren más kilómetros.

Tabla 13. Distancias y vehículos con método actual.

RUTAS ACTUALES			
TURNO	DISTANCIA (Km)	VEHÍCULOS	CAPACIDAD
1	132.31	9	360
2	132.31	7	280
3	132.31	7	280
TOTAL	396.92	23	920

Fuente: Elaboración propia.

Luego de llevar a cabo las propuestas, se logra obtener un recorrido de 365.87 Km y minimizar la flota a 20 vehículos, es decir, que se cuenta con una capacidad para atender a 800 colaboradores, como se puede observar en la Tabla 14.

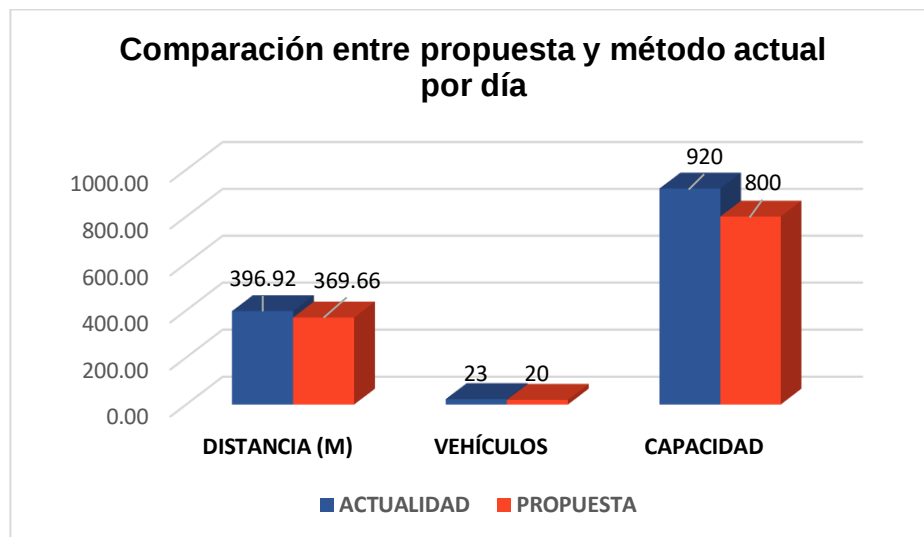
Tabla 14. Distancias y vehículos con propuestas de mejora.

PROPUESTA			
TURNO	DISTANCIA (M)	VEHÍCULOS	CAPACIDAD
1	95.91	5	200
2	162.91	9	360
3	110.85	6	240
TOTAL	369.66	20	800

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12, se realiza la comparación entre el método de asignación actual y la propuesta de mejora, en donde se puede observar que se logró una reducción de recorrido total de transportar personal en los 3 turnos de 27.26 Km, minimizar la cantidad de vehículos de 23 a 20 y por consiguiente reducir la capacidad necesaria a 800.

Figura 12. Comparación entre propuesta y método actual



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, con la reducción de la flota a 20 vehículos y de acuerdo con las tarifas obtenidas para el cálculo de los costos, se lograron obtener ahorros mensuales de \$7,200,000 y anuales de \$86,400,000, como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Ahorros mensuales y anuales con la propuesta de mejora.

COSTOS	ACTUALIDAD	PROPUESTA	AHORRO
MENSUALES	\$ 55,200,000	\$ 48,000,000	\$ 7,200,000
ANUALES	\$ 662,400,000	\$ 576,000,000	\$ 86,400,000

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evidenció un problema de asignación y programación de rutas de transporte para el personal de una empresa reconocida del sector, donde se observa que los recursos con los que se cuentan no son aprovechados lo máximo posible, esto a causa de las pocas herramientas de programación de rutas con las que la empresa cuenta actualmente. Por esto se llevó a cabo una propuesta de mejora para la asignación y programación de rutas para transportar el personal de la empresa caso de estudio, debido a que la misma realiza este proceso de forma empírica, generando costos innecesarios en este servicio.

Con el propósito de cumplir con el primer objetivo, se llevó a cabo un diagnóstico de la situación y la metodología actualmente utilizada en la empresa caso de estudio para la asignación y programación de rutas de transporte. Luego, se realizó una revisión bibliográfica para identificar metodologías pertinentes que permitieran evaluar la eficacia del sistema de transporte. Los resultados obtenidos fueron valiosos para identificar las falencias del sistema de transporte actual y establecer los parámetros necesarios para alcanzar los objetivos siguientes.

Una vez cumplido el primer objetivo, se procedió a obtener las coordenadas de las diferentes paradas en cada una de las rutas y convertirlas en distancias utilizando el aplicativo UTM. Luego, se obtiene la matriz de distancias euclidianas y con sus resultados, se calculan los ahorros entre paradas, formando la matriz de ahorros, donde posteriormente se calculó la demanda en cada punto para realizar la clústerización con la matriz de ahorros y determinar la nueva asignación de rutas y programación de vehículos logrando los mayores beneficios.

Finalmente, se ejecutó la metodología, lo que permitió evaluar los resultados obtenidos, donde se establecieron nuevas rutas y se asignaron vehículos que generaban los menores costos. En comparación con el escenario anterior, se lograron optimizar tres vehículos diarios, lo que equivale a un ahorro de \$7,200,000 mensuales. Además, es importante destacar que, en cada turno, se cuenta con una capacidad adicional para cubrir un aumento imprevisto en la demanda.

Para finalizar, se recomienda en futuras investigaciones extender el estudio de ruteo para los colaboradores ubicados en los demás municipios beneficiarios (Roldanillo, Bugalagrande, Andalucía y Tuluá) y realizar la aplicación de métodos exactos como la elaboración de un modelo matemático que determine el número de vehículos óptimo con una flota heterogénea y tiempos máximos de recorrido, donde se estudie el impacto de estas nuevas características en los resultados obtenidos, además, aprovechar herramientas como las inteligencias artificiales para realizar los pronósticos de demanda u otros métodos de simulación.

5. REFERENCIAS

- Alvarez Hernandez, R. J. (2017). Propuesta de solución al problema de ruteo de vehículos en el operador logístico Opperar S.A. para el transporte y distribución de productos alimenticios secos del grupo Nutresa S.A. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Benito Quintanilla, A. (2015). Problemas de Rutas de Vehículos: modelos, aplicaciones logísticas y métodos de resolución. Universidad de Valladolid. Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/13287>
- Bermeo Guartamber, Muñoz Calderón. (2017) Propuesta de dimensionamiento de transporte urbano para la zona norte del cantón cañar. Dspace. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14147/1/UPS-CT006965.pdf>
- Bermeo Muñoz, Elver A., Calderón Sotero & Jaime Hernán. (2009) Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/478/47811604005.pdf>
- Bräysy, O. and Gendreau, M. (2005a) Vehicle routing problem with time windows, part i: Route construction and local search algorithms. *Transportation Science*, 39(1), 104–118.
- Campos Valenzuela Cesar Mauricio, (2013) Diseño e implementación de un sistema de planificación de personal. Repositorio Académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114831>
- Castro Basto, S. M. (2014). Revisión del estado del arte del problema de enrutamiento de vehículos con restriccion de capacidad, cvrp, involucrado en la administracion de la cadena de suministro. Universidad tecnológica de Pereira.
- Cordeau, J.F. and Laporte, G. (2007) The dial-a-ride problem: Models and algorithms. *Annals of Operations Research*, 153(1), 29–46.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. <http://www.jstor.org/stable/167703>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91. <http://www.jstor.org/stable/2627477>
- Dominguez Muñoz, C. A., & Perea Bermudez, O. A. (2015). Propuesta de un modelo de ruteo de vehículos para una empresa distribuidora de alimentos de la región. Universidad del valle.
- García Schilardi, M. E. (2017). Evaluación de la dimensión operativa del transporte colectivo en el área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Perspectiva Geográfica*, 22(2), 29-46. doi: 10.19053/01233769.5965
- Gross, M. (2010). Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa.
- Jin, Q., Wu, G., Boriboonsomsin, K. and Barth, M. (2012) Multi-agent intersection management for connected vehicles using an optimal scheduling approach., in *Proceedings of the*

International Conference on Connected Vehicles and Expo, IEEE Press, Piscataway, NJ, pp., 185–190.

- Loor Vélez, Lorena Marina; Sánchez Villamar, Patricia Elizabeth. (2017) Diseño de rutas de transporte de personal aplicando modelización matemática para resolver el problema de enrutamiento vehicular capacitado con ventanas de tiempo. Repositorio Dspace. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/40564>
- Maguiña, L. (2016). Implantación de VRP - Solver aplicando la heurística de Clarke Wright para el ruteo del transporte terrestre en el área de distribución caso de estudio: industrias alimentarias. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Molinero Molinero Ángel R & Sánchez Arellano Luis Ignacio. (2005). Transporte público : planeación diseño operación y administración. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Orrego Cardozo, J. P., Ospina Toro, D., & Toro Ocampo, E. M. (2016). Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística. *Scientia Et Technica*, 21(3), 225-233.
- Orrego Cardozo, M., López Rúa, A. M., & Tamayo Alzate, Ó. E. (2013). Evolución de los modelos explicativos de fagocitosis en estudiantes universitarios. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 9(1), 79-106.
- Prato Torres, R., Suero Pérez, D. F. F., & Guzmán Ávila, O. J. (2015). Ruteo de Vehículos desde un Centro de Distribución a una Línea de Supermercados en Barranquilla, Colombia. *Ingeniare*, (18), 11–21. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.18.533>
- Reyes Morales Norman, (2016) Modelo de optimización de programación de rutas para una empresa logística peruana usando herramientas FSMVRPTW. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/311892574_Modelo_de_optimizacion_de_programacion_de_rutas_para_una_empresa_logistica_peruana_usando_herramientas_FSMVRPTW
- Sánchez Gómez, C. (2019). Optimización del multi-trip vehicle routing problem mediante el algoritmo de Clarke-Wright. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Vidal, C. J. (2011). Introducción a los sistemas de transporte y optimización de cadenas de abastecimiento. Santiago de Cali, Colombia: Programa Editorial - Universidad del Valle.
- Villagra A., Villagra S., Alancay N., Rasjido J., Pandolfi D. (2016) Optimización de rutas en el transporte de personas para la pequeña y mediana empresa. Repositorio Nacional de la Universidad Nacional de la Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52833>