

**Nota de Aceptación:**

**Proyecto de Diseño Aprobado**, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



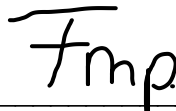
---

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO  
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



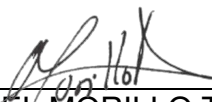
---

JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO  
Director Carrera Ingeniería Industrial



---

FRANCISCO MUÑOZ PRADO  
Director(a) Proyecto de Diseño



---

DANIEL MORILLO TORRE

Jurado 1



---

HÉCTOR FABIO BONILLA  
LONDOÑO

Jurado 2



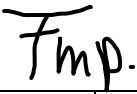



Santiago de Cali, Noviembre 17 de 2023.

Ingeniero  
**Jorge Enrique Álvarez Patiño**  
Director Carrera de Ingeniería Industrial  
Pontificia Universidad Javeriana  
Cali

Asunto: Carta de aval para entrega final Proyecto de Diseño # 2023103

Por medio de la presente doy aval para la entrega final a la carrera, del documento que soporta el Proyecto de diseño # 2023103, bajo mi dirección, desarrollado por los estudiantes Lina Marcela Benavides Samboni, Isabella Echeverry Rosas, Laura Alejandra Martínez Muñoz y Juan Sebastián Torres, titulado “Diseño del proceso de planeación de rutas de recolección de donaciones del BAC”.

Cordialmente,

Director de Proyecto	Francisco Muñoz Prado		
Lina Marcela Benavides Samboni		Isabella Echeverry Rosas	Isabella Echeverry R.
Laura Alejandra Martínez Muñoz		Juan Sebastián Torres	



**Banco de  
Alimentos Cali**  
FUNDACIÓN ARQUIDIOCESANA

Santiago de Cali, 10 de Noviembre de 2023.

**Ingeniero Jorge Enrique Álvarez Patiño**  
Director Carrera de Ingeniería Industrial  
Pontificia Universidad Javeriana, Cali

Asunto: Carta Aval de la empresa

Como empresa Fundación Arquidiocesana Banco de Alimentos Cali, la constancia que los alumnos Lina Marcela Benavides Samboni, Isabella Echeverry Rosas, Laura Alejandra Martínez Muñoz y Juan Sebastián Torres, visitaron las instalaciones de empresa, hicieron encuestas, entrevistas y demás. También, damos constancia que los estudiantes hicieron una socialización del trabajo realizado en nuestra compañía y quedamos conforme con este.

Cordialmente;

Nombre: Nilson Rengifo  
Cargo: jefe de logística y sistemas de gestión

# Diseño del proceso de planeación de rutas de recolección de donaciones del BAC

Lina Marcela Benavides Samboni<sup>a,c</sup>, Isabella Echeverry Rosas<sup>a,c</sup>, Laura Alejandra Martínez<sup>a,c</sup>, Juan Sebastián Torres Rodríguez<sup>a,c</sup>,

Francisco Muñoz Prado<sup>b,c</sup>, Nilson Rengifo<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

<sup>d</sup>Banco de alimentos Cali, Área de Logística

---

## Resumen

En la actualidad, Colombia enfrenta el desafío de la subalimentación, afectando a aproximadamente 4,2 millones de personas. Esta situación resulta en la falta de acceso regular a alimentos nutritivos, lo que repercute negativamente en el crecimiento y desarrollo normal, generando problemas de salud. Además, el país sufre un desperdicio considerable de alimentos, estimado en alrededor de 10 millones de toneladas, lo que equivale al 34% de los alimentos disponibles para el consumo humano. Entre los grupos alimenticios con mayor índice de desperdicio se encuentran las frutas y verduras, con un 64%. En este contexto, surge el Banco de Alimentos de Cali, afiliado a la Asociación de Bancos de Alimentos de Colombia, con más de 21 años de experiencia en la logística de recepción de alimentos y otros productos de donación. El BAC beneficia a unas 272 organizaciones sociales ubicadas en Cali y sus alrededores. Sin embargo, el proceso de planificación de rutas se realiza de manera empírica, lo que ocasiona retrasos significativos, especialmente al intentar incorporar nuevos donantes a las rutas existentes, lo que genera caos en la logística y consume mucho tiempo del equipo encargado de esta tarea. Por tanto, se plantea la necesidad de implementar una solución que permita reducir el incumplimiento en las citas de recolección de productos frescos (Fruver) y disminuir los costos operativos asociados con la recolección y transporte de alimentos. Para abordar este desafío, se aplicó la metodología de ahorros junto con el algoritmo 2-opt, con el objetivo de encontrar una solución óptima que reduzca los tiempos y optimice la eficiencia de las operaciones logísticas del Banco de Alimentos de Cali.

## Abstract

Colombia faces the challenge of undernourishment affecting approximately 4.2 million people. This situation results in the lack of regular access to nutritious food, negatively impacting normal growth and development, leading to health problems. Additionally, the country suffers from considerable food wastage, estimated at around 10 million tons, equivalent to 34% of the food available for human consumption. Among the food groups with the highest waste rate are fruits and vegetables, at 64%. In this context, the Cali Food Bank emerges, affiliated with the Association of Food Banks of Colombia, with over 21 years of experience in the logistics of receiving food and other donated products. The Cali Food Bank benefits around 272 social organizations located in Cali and its surroundings. However, the route planning process is carried out empirically, leading to significant delays, especially when attempting to incorporate new donors into existing routes, resulting in logistical chaos and consuming a lot of time for the team responsible for this task. Therefore, there is a need to implement a solution that allows for reducing non-compliance with fresh produce (Fruver) collection appointments and decreasing the operational costs associated with food collection and transportation. To address this challenge, the savings methodology along with the 2-opt algorithm was applied, aiming to find an optimal solution that reduces times and optimizes the efficiency of the logistical operations of the Cali Food Bank.

*Palabras claves: Banco de Alimentos de Cali, desperdicios, incumplimiento de recolección, modelos de programación, planeación de rutas.*

---

## Tabla de contenido

I.	PROJECT CHARTER	2
II.	DEFINIR	5
	A. Contexto y Justificación	5
	B. Grupos de interés	8
	C. Requerimientos	10
III.	MEDIR	11
	A. Plan de Recoleccion de Datos	11
	B. Medicion del Sistema Actual	11
IV.	ANALIZAR	15
	A. Análisis de Causas	15

B.	Revisión de literatura	17
C.	Exploración de ideas y selección de alternativa	24
D.	Objetivos	29
E.	Plan de trabajo (PdT)	30
V.	MEJORAR	31
A.	Desarrollo del Diseño de la Solución	31
B.	Validación del Diseño de la Solución	33
VI.	CONTROLAR	35
A.	Medición de los Impactos	35
B.	Estandarización de la Solución	36
B.	Conclusión	39
D.	Recomendaciones	40
VII.	GLOSARIO	40
VIII.	REFERENCIAS	41
IX.	ANEXOS	42

## Índice de Tablas

TABLA I.	LOAD FACTOR PROMEDIO 2022 POR VEHÍCULO	8
TABLA II.	EVALUACIÓN DE GRUPOS DE INTERES	9
TABLA III.	REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERES	11
TABLA IV.	INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR	12
TABLA V.	RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO	13
TABLA VI.	REVISIÓN DE LITERATURA	22
TABLA VII.	MÉTODO DE LOS 6 SOMBREROS	30
TABLA VIII.	PLAN DE TRABAJO	34
TABLA IX.	RESUMEN DE RESULTADOS DIARIO POR VEHICULO	47
TABLA X.	TABLA DE KPIS - MEJORA	49
TABLA XI.	TABLA DE ANEXOS	58

## Índice de Figuras

Fig. 1.	Clasificación de donaciones en especie [Kg] recibidas en el año 2021	7
Fig. 2.	Matriz influencia-impacto	10
Fig. 3.	Matriz influencia-impacto de los grupos de interés del proyecto	10
Fig. 4.	Mapa de procesos del Banco de Alimentos de Cali. MOD. Equipo 103	14
Fig. 5.	Mapa de procesos operativos del Banco de Alimentos de Cali. MOD. Equipo 103	15
Fig. 6.	Diagrama SIPOC del Banco de Alimentos de Cali	16
Fig. 7.	Diagrama de flujo proceso de recolección y transporte	17
Fig. 8.	Cursograma Analítico de Procesos en Recolección y Transporte	18
Fig. 9.	Diagrama de Ishikawa	20
Fig. 10.	Análisis de los 5 Por qué 's.	20
Fig. 11.	Matriz de Relación Grupos de Interés vs. 4P de Marketing	32
Fig. 12.	Diagrama Pareto de Requisitos Grupos de Interés	32
Fig. 13.	Criterios y Subcriterios para Selección de Alternativas	33
Fig. 14.	Matriz de Consistencia	33
Fig. 15.	Vector de Prioridades para Selección de Alternativas	33
Fig. 16.	Matriz Preferencia Selección de Alternativas	34
Fig. 17.	Google My Maps de los puntos del Banco de Alimentos de Cali	38
Fig. 18.	Latitudes y Longitudes de los puntos seleccionados del BAC	39
Fig. 19.	Nodo del código en Python	39
Fig. 20.	Definición de la clase Edge en Python	40
Fig. 21.	Ruta en el VRP	40
Fig. 22.	Solución del problema VRP	40
Fig. 23.	Importación de las clases definidas	41

Fig. 24. Datos de la instancia	41
Fig. 25. Cálculo de distancia entre dos puntos.	43
Fig. 26. Resultados de las rutas a realizar	46
Fig. 27. Rutas del Método de los Ahorros	47
Fig. 28. Rutas del Método de los Ahorros con la Heurística de Mejora 2-Opt	47
Fig. 29. Comparación de escenarios	48
Fig. 30. Análisis Financiero - Nómina	50
Fig. 31. Total Nómina Inicial y en Marcha.	50
Fig. 32. Costos Fijos anuales.	51
Fig. 33. Diagrama de flujo después del diseño del proceso de la planeación de las rutas del BAC	55

## I. PROJECT CHARTER

Descripción ( <i>Business case</i> )	Planteamiento del problema ( <i>Problem statement</i> )		
<p>El Banco de Alimentos de Cali, pertenece a la Asociación de Bancos de Alimentos de Colombia, con más de 21 años de experiencia, se dedican a la logística de recepción de alimentos, entre otros productos de aporte, y benefician alrededor de 272 organizaciones sociales localizadas en Cali y sus alrededores, la entidad realiza la planeación de rutas empíricamente generando retraso en el tiempo de la planeación de las mismas, donde la mayor cantidad de tiempo de planeación puede tomar entre 3 a 4 días en agregar un nuevo grupo de donante a las rutas ya estipuladas, creando caos en el área de logística y ocupando el tiempo del equipo encargado de esta labor. Por lo tanto, se plantea trabajar en una solución que le permita obtener como beneficios reales disminuir el porcentaje de incumplimiento a las citas de recolección de Fruver y disminuir los costos de operación para la recolección y transporte de los alimentos.</p>	<p>Diseño del proceso de planeación de rutas de recolección de donaciones del BAC.</p>		
Impacto de los actores ( <i>Stakeholder's business needs</i> )	Restricciones	Especificaciones	Marco legal
<p>Los actores más influenciados que se gestionan atentamente son: el equipo de proyecto de diseño, el Banco de Alimentos de Cali, los conductores del BAC y los donantes registrados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El tiempo de respuesta para la obtención de datos es demorado, lo cual crea retrasos en el avance del proyecto.</li> <li>- La planeación de la ruta que debe realizar cada vehículo ya se encuentra establecida cuando los puntos de recolección son fijos, cuando aparece un nuevo donante se debe realizar de nuevo la ruta, esto toma mucho tiempo ya que este</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumplir en un 100% con las tareas propuestas en el tiempo, fechas estipuladas y cumplir con las normas de escritura de un documento en formato IEEE.</li> <li>- Reducir tiempo a la hora de planear las rutas y que la ruta escogida sea optima, logrando reducir gastos y tiempos en la recolección y transporte de los alimentos.</li> <li>- Crear documento que especifique los costos de cada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normas IEEE, La importancia radica para la correcta redacción del documento en formato IEEE.</li> <li>- DECRETO No. 4112.010.20. (# CONSECUTIVO) DE 2020. Establece el límite máximo de velocidad en las vías urbanas de Santiago de Cali.</li> <li>- Técnicas de gestión de almacén y control de stock. F.E.F.O (First Expires</li> </ul>

	<p>proceso se realiza a mano, basado en la experiencia y el tráfico de la ciudad, además puede que la ruta que planeen funcione, pero no sea la óptima.</p> <p>- Los datos para realizar el análisis del costo mensual de transporte no se analizan por el Banco de Alimentos de Cali.</p> <p>- Límites de velocidad, tráfico vehicular, infraestructura y tiempo de espera de las donaciones.</p> <p>- Exceder la capacidad de recolección del banco de alimentos deben negociar una nueva fecha para la recolección de las donaciones, haciendo que el donante deba almacenar por más tiempo la donación.</p> <p>- No todos los vehículos cumplen con las características requeridas para el transporte.</p>	<p>vehículo, para que el BAC lleve un control de los gastos por vehículo.</p> <p>- Cumplir con los tiempos de recolección y las citas.</p> <p>- Enfocarse en el Fruver, de acuerdo con las futas o vegetales que se encuentran en mayor estado de maduración.</p> <p>- Cumplir en un 90% la resolución 2674 de 2013.</p>	<p>First Out) al darle prioridad a los productos perecederos, se debe aplicar un sistema FEFO, el cual es, que el primero que expire debe ser el primero en salir, en este caso al ser Fruver, sería el que madure en menor tiempo, debe ser el primero en salir.</p> <p>- Resolución 2674 de 2013. Permite establecer los requisitos sanitarios para tener en cuenta para el transporte de productos alimenticios.</p>
<b>Indicadores de Desempeño (KPI's)</b>			
<b>Variable</b>	<b>Actualidad</b>	<b>Meta</b>	

Tiempo de planeación de las rutas.	Tiene un tiempo estimado de 5 a 7 días	<2 días			
Eficiencia de recolección	22.87%	>50%			
Costo por Flota	\$5.749 * Km	Reducir mínimo un 10% el costo por flota.			
<b>Objetivo general (Goal statement)</b>					
Diseñar el proceso de planeación de la recolección de donaciones utilizando herramientas computacionales para agilizar la creación de las rutas.					
<b>Objetivos específicos (Project scope)</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Proponer un método para mejorar la precisión de localización de direcciones incorporando un sistema de geo-codificación en el proceso de planeación de rutas.</li> <li>● Automatizar la creación de rutas de recolección de donaciones implementando métodos heurísticos en un lenguaje de programación.</li> <li>● Estandarizar el proceso de planeación de rutas incluyendo las herramientas desarrolladas.</li> <li>● Validar el modelo propuesto mediante la implementación de técnicas de simulación o análisis de variación en costos, con el fin de asegurar su precisión y utilidad en la toma de decisiones estratégicas.</li> </ul>					
<b>Plan de Trabajo (Project Plan)</b>			<b>Equipo de trabajo (Team members)</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Fin</b>	<b>Área IISE</b>	<b>Nombre</b>	<b>Rol</b>
Crear una función en una hoja de cálculo sea en Excel o Google Sheets, que utilice la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de geo codificación seleccionada para convertir direcciones en coordenadas geográficas.	24 de julio de 2023.	17 de noviembre de 2023.	11. Information engineering	Todos.	Standard Setter, Compromiser, Gatekeeper, Follower.
Implementar un método que permita garantizar la generación de las rutas.	03 de agosto de 2023.	17 de noviembre de 2023.	11. Information engineering 8.4.4.3 Vehicle routing	Todos.	Standard Setter, Compromiser, Gatekeeper, Follower.
Consolidar las herramientas desarrolladas para sintetizar el procedimiento.	11 de agosto de 2023.	17 de noviembre de 2023.	1. Work desing and Measurement	Todos.	Standard Setter, Compromiser, Gatekeeper, Follower.
Realizar simulaciones para evaluar la precisión y variabilidad del modelo propuesto en la planificación de rutas del Banco de Alimentos de Cali	11 de agosto de 2023.	17 de noviembre de 2023.	2. Operations Research Analysis	Todos.	Standard Setter, Compromiser, Gatekeeper, Follower.

## II. DEFINIR

### A. Contexto y Justificación

En el año 2021, cerca de 2300 millones de personas en el mundo no tuvieron la certeza de acceder a cantidad suficiente de alimento, generando inseguridad alimentaria grave y más de 828 millones padecen de hambre [1]. Para el año 2022, alrededor de 4,2 millones de personas de 51 657 360 sufren de subalimentación en el territorio colombiano. Una persona padece inseguridad alimentaria cuando carece de acceso regular a suficientes alimentos nutritivos para un crecimiento y desarrollo normal generando problemas de salud. Particularmente en Colombia en el año 2022 los alimentos tuvieron un alza mensual de 3,26%, ocasionando que los alimentos con proteínas y nutrientes claves sean los más costosos y, por tanto, inalcanzables para las familias de bajos recursos o de regiones étnicas [2].

Ante el problema del hambre se contraponen el desperdicio de alimentos aptos para el consumo humano con cifras desalentadoras. En Colombia se pierde y se desperdician alrededor de 10 millones de toneladas de alimentos lo que corresponde a un 34% de los alimentos disponibles para el consumo humano [4], esto se debe en gran medida a la falta de infraestructura y tecnología adecuadas para la producción, transporte y almacenamiento de alimentos, así como a problemas en la cadena de suministro. De dicho valor los tres grupos de alimentos que se pierden y desperdician son: frutas y verduras que corresponde a un 62%, seguido por raíces y tubérculos con una participación del 25% y un 8% pertenece a los cereales [3], [4].

En Colombia, diversas organizaciones están comprometidas en la lucha contra el desperdicio de alimentos y la inseguridad alimentaria. Para lograr este objetivo, estas organizaciones trabajan recolectando y distribuyendo alimentos a través de los llamados Bancos de Alimentos. Entre estas organizaciones se encuentra la Fundación Arquidiócesana Banco de Alimentos de Cali (FABAC), que forma parte de la Asociación de Bancos de Alimentos de Colombia (ABACO). Desde hace más de 21 años, FABAC se dedica a la logística de recepción de alimentos, productos de higiene personal y bienes para llegar a Organizaciones Sociales Sin Ánimo de Lucro registradas ante la Cámara de Comercio de Cali que atienden a poblaciones vulnerables, con el apoyo tanto del sector privado como público.

Su labor ha sido particularmente de gran impacto para la población y lugares aledaños, ya que en Cali 119 323 de los hogares padecen inseguridad alimentaria debido a que consumen entre 1 y 2 comidas diarias. De estos, en el 2021, el Banco de Alimentos de Cali benefició a más de 69 500 personas con 4 072 523 Kg de alimentos y bebidas. Esta organización juega un papel importante en la lucha contra la inseguridad alimentaria en Colombia al trabajar para evitar el desperdicio de alimentos y distribuir los alimentos excedentes a las personas que más lo necesitan. Además, los bancos de alimentos también promueven la educación alimentaria y la sostenibilidad en la producción y consumo de alimentos [4].

El Banco de Alimentos de Cali (BAC) opera como un centro de distribución logístico con cinco procesos fundamentales:

1. **Recolección y transporte:** se encarga de recolectar alimentos de las entidades registradas y transportarlos al almacén central del BAC.
2. **Selección y aprovechamiento:** en esta etapa, se evalúa la calidad de los alimentos recolectados, clasificándolos para su mejor aprovechamiento.
3. **Almacenamiento e inventarios:** el BAC gestiona el almacenamiento eficiente de los alimentos clasificados, manteniendo un inventario actualizado para un control preciso.
4. **Distribución y despachos:** coordina la planificación y ejecución de envíos de alimentos a las organizaciones y comunidades necesitadas, garantizando entregas oportunas.
5. **Mantenimiento y consumos:** este proceso se centra en el mantenimiento de las instalaciones y equipos del BAC, así como en el control de los consumos de recursos para optimizar la eficiencia operativa.

El siguiente Proyecto de Diseño se centrará exclusivamente en el proceso de recolección y transporte. A continuación, se presenta una breve caracterización y diagramación de este proceso:

#### *Caracterización del Proceso de Recolección y Transporte:*

1. **Estrategias de recolección desde diversas fuentes:** desarrollo de métodos y enfoques para obtener alimentos desde diferentes lugares, asegurando una amplia cobertura y diversidad de suministros.

2. Evaluación de la eficiencia en el transporte: análisis detallado de la efectividad y rapidez en el traslado de alimentos desde su origen hasta el BAC, identificando posibles áreas de mejora.
3. Registro detallado de los tiempos de recolección y entrega: documentación minuciosa de los períodos necesarios para recolectar los alimentos en las fuentes y para entregarlos al BAC, permitiendo una gestión más precisa y eficiente del tiempo.

Los donantes de alimentos informan con anticipación, por lo general no es el mismo tiempo para todos los donantes y según la urgencia del donante es la comunicación con el BAC, es decir, si la cantidad de alimento a donar esta próxima a vencer el donante puede llamar con un día de anterioridad o en otros casos necesitan recuperar espacio en sus bodegas o inventario, se comunican con una semana o tres días de anterioridad; las cantidades, empaques y horarios en los que se pueden recoger los productos, los cuales deben tener una fecha de caducidad de al menos tres días a partir del momento en que se recolectan. Sin embargo, también se reciben productos con fechas de vencimiento más próximas, al día siguiente o incluso el mismo día, estos se despachan el mismo día a las Fundaciones que ayudan a personas en situación de rehabilitación. El Supervisor de Muelles y Rutas decide diariamente, basándose en la experiencia, qué proveedores se visitarán durante la jornada laboral de 8:00 a.m. a 5:00 p.m., y asigna a cada camión los auxiliares encargados del cargue y descargue de las donaciones, así como al conductor que recibe información sobre los puntos a visitar.

Los alimentos que llegan al Banco de Alimentos son pesados, inspeccionados, registrados en la base de datos de Excel y posteriormente clasificados de acuerdo con su estado (apto/no apto, para el consumo humano), para luego decidir, si son almacenados, teniendo en cuenta la demanda del día y las existencias en inventario. En caso de no satisfacer la demanda, se procede a hacer la compra de los artículos faltantes con donaciones monetarias o reemplazar con alimentos que aporten una cantidad de nutrientes equivalentes. El control de inventarios se realiza con ayuda de una base de datos en Excel que indica la proximidad a la fecha de vencimiento de algunos productos, además de inspecciones diarias de los inventarios a cargo de un operario, verificando las fechas de los productos manualmente.

La FABAC beneficia a cerca de 272 organizaciones sociales localizadas en Cali y sus alrededores. Las organizaciones son “fijas” (reciben donaciones cada 15 días y están afiliados al Banco de Alimentos de Cali). El proceso de *Picking* se lleva a cabo en la zona de alistamiento por 16 personas que seleccionan y aprovechan recuperando, re empacando o reparando las donaciones recibidas que lo requieran, posteriormente desplazan con ayuda de transpaletas aquellos alimentos que cumplen con los mínimos nutricionales establecidos. Cada operario recibe una hoja de acopio que le indica los alimentos y las cantidades solicitadas de un pedido.

Todos los vehículos inician sus labores y deben concluirlos en las instalaciones del Banco de Alimentos, ya que, al realizar la recolección de alimentos, no se pueden conservar en los vehículos y algunos necesitan de refrigeración inmediata o de separación para evitar pérdidas. Los recursos disponibles para gestionar la recolección de los alimentos incluyen una flota compuesta por 10 furgones de carga homogénea y un camión con sistema de refrigeración. Esta flota cuenta con un sistema de geolocalización, el cual permite identificar en qué lugar se encuentra el vehículo, si se detiene, si sus puertas están abiertas o cerradas, con el fin de monitorear y controlar las rutas de cada vehículo ayudando a los trabajadores de logística a tener un control en tiempo real sobre la situación en que se encuentra cada vehículo y si hay alguna novedad.

Según el reporte del BAC publicado en enero de 2022 [5], es posible observar las estadísticas relacionadas con las donaciones recibidas tanto en forma de bienes como en efectivo. Estos datos se presentan detalladamente en la Fig.1.



Fig. 1. Clasificación de donaciones en especie [Kg] recibidas en el año 2021

Basándonos en esta información, la *Fig. 1* presenta una representación visual donde se destaca que la mayoría de las donaciones en kilogramos provienen de las empresas dedicadas a la comercialización de frutas y verduras bajo la denominación Fruver. Estas donaciones representan aproximadamente el 31,79% del total de donaciones en especie. Esta predominancia se explica por el hecho de que estas frutas y verduras tienen ciclos de maduración cortos y alta rotación en comparación con otros productos como granos, abarrotos, lácteos y carnes. Además, cabe mencionar que estos dos últimos también son productos perecederos y se mantienen en cuartos de congelación para su conservación. Adicionalmente, se presta especial atención a las organizaciones sociales, considerando las necesidades alimentarias y los beneficiarios inscritos. De acuerdo con los datos, en el año 2021, se benefició al 24% de niños, al 25% de adultos mayores, al 12% de centros de rehabilitación, al 8% de comedores comunitarios, al 4% de instituciones de salud y al 27% de entidades comunitarias en general.

Al examinar los resultados de las encuestas de cumplimiento llevadas a cabo por el equipo 2023103 en abril de 2023, se destaca que el 42,9% de los conductores ejecutan entre 14 y 17 rutas fijas diarias. Dentro de este grupo, el 28,6% cumple totalmente con las rutas programadas, mientras que el 57,1% las completa en un 80%.

Cada conductor comienza el día con una ruta predefinida para la recolección de productos, teniendo la autonomía de decidir si alteran el orden de los puntos de recolección basándose en su experiencia. Se observa que, por lo general, surge un nuevo donante cada 2 o 3 días. El tiempo necesario para planificar las rutas está directamente vinculado a la cantidad de nuevos puntos que deben incorporarse. En casos de 1 a 3 puntos, la planificación puede llevar seis horas; si son de 5 a 8 puntos, puede demorarse entre 3 a 4 días; y si superan los 10 puntos, el proceso puede extenderse de 6 a 7 días, generando caos en el área de logística y ocupando el tiempo del equipo asignado a esta tarea. Es importante señalar que no se realiza un seguimiento a las rutas fijas, dado que ya están preestablecidas.

La demora en la toma de decisiones para la planificación de rutas impacta negativamente en la eficacia de la recolección de donaciones durante los días dedicados a la creación de nuevas rutas. Esto, a su vez, provoca una escasez de productos esenciales en las canastas de mercado proporcionadas a las fundaciones beneficiarias.

Al analizar el Anexo # 7, se ha podido evidenciar que en promedio el porcentaje de utilización de los 11 vehículos que componen la flota del BAC es de tan solo un 33,88% para el año 2022, lo cual es un problema, ya que se está dejando de utilizar en un 66.12% de la capacidad de la flota, esto se traduce en pérdida de dinero para la empresa. Además, en la TABLA I podemos observar el Load Factor en Kg de cada vehículo y se puede observar que todos los vehículos usaron menos del 50% de su capacidad en promedio para el año 2022.

TABLA I.  
LOAD FACTOR PROMEDIO 2022 POR VEHÍCULO

Placa	Factor de Carga
GZZ714	54%
JKV691	44%
LRN335	40%
VCS538	38%
WFR430	37%
WMV606	77%
WMV607	34%
WMV608	30%
WMX816	46%
WPK317	34%
WPK318	24%
42%	

Es pertinente trabajar en este proyecto debido a que, si no se llega a una solución oportuna, se puede correr el riesgo de perder donantes y por ende grandes donaciones de Fruver, ya que estos necesitan que sus productos sean recogidos en el menor tiempo posible. Se debe tener en cuenta que la oferta y la demanda de estos alimentos varían según la temporada, ya que la mayoría de las frutas y verduras son estacionales y solo están disponibles en determinadas épocas del año. Adicionalmente, tienen una vida útil más corta que otros alimentos, como los productos enlatados o los alimentos procesados. Por lo tanto, tienen una fecha de caducidad más corta y es necesario recogerlas rápidamente para evitar desperdiciarlas.

Por consiguiente, se espera dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo mejorar la eficiencia de los recursos disponibles para diseñar el proceso de planeación de rutas de recolección de donaciones del BAC?

El equipo 2023103 va a trabajar en una solución que le permita obtener como beneficios reales disminuir el porcentaje de incumplimiento a las citas de recolección de donaciones. Por otro lado, como beneficios potenciales se desea aumentar la eficiencia de los recursos disponibles reduciendo costos de transporte, emisiones de gases, combustible y tiempo de las rutas que le permita al BAC aumentar la capacidad de atención a más donantes.

### B. Grupos de interés

Para el desarrollo del proyecto, se identificaron a todos los actores y grupos interesados en el proyecto, denominados como Stakeholders. Estos grupos pueden ser organizaciones, personas o grupos que se vean afectados directa o indirectamente, ya sea de manera positiva o negativa. Es crucial identificarlos para poder establecer contacto con ellos y comprender sus expectativas y requisitos en relación con nuestro proyecto. Con esta información, podemos desarrollar una solución al problema actual, teniendo en cuenta sus prioridades e intereses.

Los Grupos de Interés identificados son:

- Equipo de proyecto, quienes se encargarán de realizar una propuesta para solucionar el problema actual.
- Donantes que tengan interés en ayudar a disminuir el hambre trabajando de mano con el banco de alimentos.
- Banco de Alimentos Cali, a quienes les interesa mejorar su sistema de ruteo.
- Conductores, quienes deben cumplir con las citas de recolección.
- Invima, en el sentido que vigilan y controlan la calidad de los alimentos.

Además de identificar los grupos de interés, se debe realizar una clasificación según su influencia e impacto en el proyecto, para lograr esto se realizó una valoración en una escala del 1 al 5 valorando su influencia y su impacto en el proyecto (Ver TABLA II). Luego se organizaron en una matriz de influencia/impacto según el puntaje obtenido en la evaluación, como lo podemos observar en la Fig. 3.

TABLA II.  
EVALUACIÓN GRUPOS DE INTERÉS

Interesado	Descripción	Influencia	Impacto
Equipo proyecto	Estudiantes de ingeniería industrial los cuales utilizaron su formación académica para realizar una propuesta al problema.	5	5
Banco de alimentos de Cali	El banco de alimentos de Cali realiza la recolección y transporte de alimentos desde los donadores hacia el punto de acopio en San Nicolas.	5	5
Conductores	El banco de alimentos cuenta con una flota de 11 vehículos y 2 motos para la recolección y transporte de los alimentos.	5	5

	los conductores son esenciales para la gestión de las donaciones.		
Donantes	El banco de alimentos funciona gracias a las donaciones en especie y en dinero, en el 2021 contaron con 1 029 donantes y 4 450 874 kg recolectados.	5	3
Abaco	Actualmente son 24 Bancos de Alimentos en todo el país, los cuales hacen parte de la asociación de bancos de alimentos de Colombia.	3	4

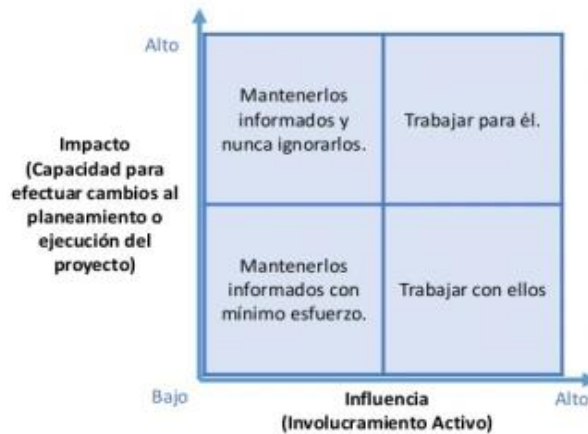


Fig. 2. Matriz influencia-impacto. [5]

**Primer cuadrante:** Contarán con alta influencia, pero con bajo impacto, por lo cual tienen un alto nivel de participación en el proyecto, pero la capacidad de realizar cambios en el proyecto es baja, por lo cual hay que mantenerlos informados y nunca ignorarlos.

**Segundo cuadrante:** Contarán con alta influencia y alto impacto, por lo cual tienen un alto nivel de participación en el proyecto y alta capacidad de realizar cambios en el proyecto, por lo cual hay que trabajar para ellos.

**Tercer cuadrante:** Contarán con baja influencia y bajo impacto, por lo cual tienen un bajo nivel de participación y su capacidad de realizar cambios en el proyecto es baja, se deben tener informados con mínimo esfuerzo.

**Cuarto cuadrante:** Contarán con baja influencia, pero tendrán un alto impacto, por lo cual tienen un nivel bajo de participación, es decir, su capacidad de realizar cambios en el proyecto es alta, se debe trabajar con ellos. Teniendo en cuenta lo anterior, fue posible hacer la matriz de influencia-impacto, como lo podemos observar en la Fig. 3.

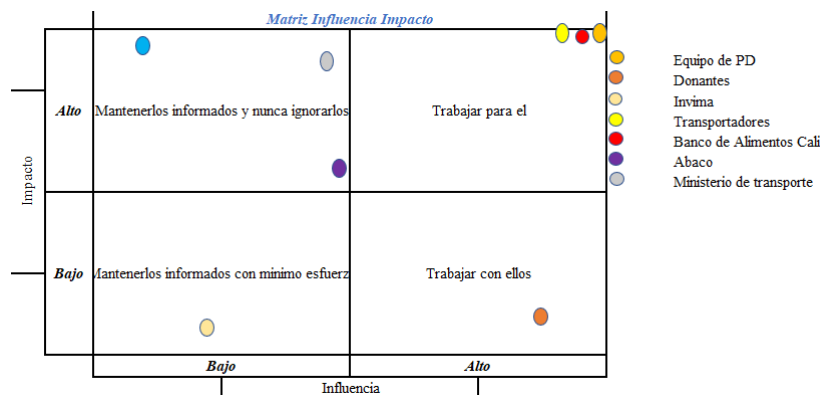


Fig.3. Matriz influencia-impacto de los grupos de interés del proyecto.

### C. Requerimientos

Con el objetivo de abordar las necesidades y los resultados esperados por los grupos de interés, fue preciso identificar los requisitos de estos, es decir lo que esperan del proyecto, las restricciones aquello que nos impide crear una mejor solución al problema encontrado, las especificaciones que hace referencia a la descripción de las características necesarias para llevar a cabo el diseño y finalmente se identificaron si aplicaba las leyes, normas y estándares que debemos asegurar que el diseño final cumpla. Esta información se obtuvo a través de entrevistas que se le hicieron a cada uno de los grupos interesados. (Ver Anexo 2)

TABLA III.  
REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS

GRUPOS DE INTERÉS	VoC (REQUISITOS GRUPOS DE INTERÉS)	RESTRICCIONES DE DISEÑO	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	
				Legislación y Requisitos Aplicables	Importancia o Efecto
Equipo de PD	Cumplimiento de los requerimientos de los grupos de interés.	El tiempo de respuesta para la obtención de datos es demorado, lo cual crea retrasos en el avance del proyecto.	Cumplir en un 100% con las tareas propuestas en el tiempo, fechas estipuladas y cumplir con las normas de escritura de un documento en formato IEEE.	Normas IEEE.	La importancia radica para la correcta redacción del documento en formato IEEE.
Banco de Alimentos de Cali.	Reducir los tiempos de planeación.	La planeación de la ruta que debe realizar cada vehículo ya se encuentra establecida cuando los puntos de recolección son fijos, cuando aparece un nuevo donante se debe realizar de nuevo la ruta, esto toma mucho tiempo ya que este proceso se realiza a mano, basado en la experiencia y el tráfico de la ciudad, además puede que la ruta que planeen funcione, pero no sea la óptima.	Reducir tiempo a la hora de planear las rutas y que la ruta escogida sea optima, logrando reducir gastos y tiempos en la recolección y transporte de los alimentos.		
	Controlar costos de transporte.	Los datos para realizar el análisis del costo mensual de transporte no se analizan por el Banco de Alimentos de Cali.  Es necesario calcular el costo mensual de transporte para encontrar el costo por kilómetro.	Crear documento que especifique los costos de cada vehículo, para que el BAC lleve un control de los gastos por vehículo.		
Conductores	Cumplir en su totalidad con las citas de recolección.	Límites de velocidad, tráfico vehicular, infraestructura y tiempo de espera de las donaciones.	Cumplir con los tiempos de recolección y las citas.	DECRETO No. 4112.010.20. (# CONSECUTIVO) DE 2020.	Establece el límite máximo de velocidad en las vías urbanas de Santiago de Cali.

Donantes	El banco de alimentos recoja las donaciones en el menor tiempo posible.	El banco de alimentos hace su mayor esfuerzo para lograr recoger las donaciones lo más pronto posible, dándole prioridad al Fruver, por lo cual si se excede la capacidad de recolección del banco de alimentos deben negociar una nueva fecha para la recolección de las donaciones, haciendo que el donante deba almacenar por más tiempo la donación.	Enfocarse en el Fruver, de acuerdo con las futas o vegetales que se encuentran en mayor estado de maduración.	Técnicas de gestión de almacén y control de stock.	FEFO (First Expires First Out) al darle prioridad a los productos perecederos, se debe aplicar un sistema FEFO, el cual es, que el primero que expire debe ser el primero en salir, en este caso al ser Fruver, sería el que madure en menor tiempo, debe ser el primero en salir.
----------	---	--	---	--	--

### III. MEDIR

#### A. Plan de recolección de datos

El Plan de Recolección de Datos (PRD) es una herramienta clave en la segunda etapa de la investigación, ya que permite establecer con claridad las variables a medir y sus respectivos indicadores, los cuales se plantean con base en los requisitos de la etapa definir para cada grupo de interés. Además, en el PRD (ANEXO 3. PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS) también se especifican aspectos como el tipo de variable, si es cualitativa o cuantitativa, la definición operativa, la utilidad para el proyecto, los aspectos claves, cómo se van a tomar los datos, el método de medición, los criterios, los recursos necesarios para la obtención de la información y el indicador como fórmula de expresión final.

Principalmente el Banco de Alimentos de Cali nos suministró la información pertinente para el análisis de la problemática, de la cual logramos identificar los indicadores de desempeño a medir, es decir los KPI's (TABLA IV). Esta información nos permitió construir la tabla de plan de recolección de datos en su mayoría, ya que nos proporcionó las diferentes herramientas para orientar el planteamiento inicial.

TABLA IV.  
INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR.

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
Tiempo de planeación de las rutas.	Permite que la empresa logre reducir el tiempo que emplean en crear las rutas diarias.	Modelo que le permita al BAC simplificar el tiempo en la planeación de rutas fijas y variables.	$\text{Tiempo de planeación de las rutas} = \sum \text{horas de planeación de rutas eventual} + \sum \text{horas de planeación de rutas fijas}$
Eficiencia de recolección	Permite crear rutas más eficientes para el Banco de Alimentos de Cali.	Medir la eficiencia de la flota en el proceso de recolección	$\text{Eficiencia de recolección} = \frac{\text{Numero de Puntos a Recolectar}}{\text{Km Totales recorridos por la flota}}$
Costo por Flota	Generar control sobre los costos de transporte, mensualmente.	Costo por Kilómetro teniendo en cuenta lo planteado y costo total de la flota.	$\text{Costo por Kilómetro} = (Kr * Cc) + MyR + SyCl + Seguros + Cargos adicionales + Dv.$ <p>* Kr (kilómetros recorridos), Cc (consumo de combustible), MyR (mantenimiento y</p>

	Reducir los costos operativos de la empresa.		reparaciones), SyCl (salario y costo laborales), Dv (depreciación del vehículo).	
			Costo por Flota = Costo por Kilómetro * Km Recorridos por la Flota	(4)

TABLA V.  
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Variable	Actualidad	Meta
Tiempo de planeación de las rutas.	5 a 7 días	< 2 días
Eficiencia de recolección	22.87%	>50%
Costos por Flota	\$ 1.971,783	Reducir mínimo un 10% el costo por la flota

#### B. Medición del sistema actual

Para lograr identificar y medir el Sistema actual, es importante primero conocer de qué manera está constituida la empresa, conocer todos sus procesos y de qué manera se realiza la toma de decisiones en el área de logística y aplicar lo planificado y programado en el PRD. Por lo cual es necesario realizar un análisis completo del Banco de Alimentos, el mapa de procesos es una herramienta la cual nos permite conocer la empresa desde lo macro, ya que, con esto es posible analizar los subprocesos dentro del Banco de Alimentos utilizando el diagrama SIPOC. Por último, se desarrollará un diagrama de flujo del proceso de recolección y transporte con el fin de evidenciar las actividades y decisiones que se deben de tomar. Además de lo anterior, se realizará un análisis cualitativo, partiendo de la observación se tomarán datos con el fin de precisar el entorno que rodea cada actividad que se describen en el diagrama de flujo. Para lo anterior es necesario medir tiempos, distancias, métodos de trabajo, recolección y flujo de datos y materiales, además de las mediciones que realiza históricamente la empresa para así lograr determinar las posibles causas que estén afectando negativamente al sistema.

Los datos recolectados en la hoja de plan de recolección de datos se usarán para definir los indicadores más relevantes que vayan de la mano al proceso de recolección y transporte, midiendo el estado actual de sistema y la meta la cual se espera alcanzar una vez se haga la propuesta al banco de alimentos con el proyecto.

Para iniciar, el mapa de procesos del Banco de Alimentos de Cali permite observar de una forma general como opera la empresa, así logrando evidenciar los diferentes procesos que son importantes para el funcionamiento del BAC, lo cual se logra evidenciar en la Fig. 4 en donde se presentan las decisiones a tomar desde el proceso de dirección, misional y de soporte.

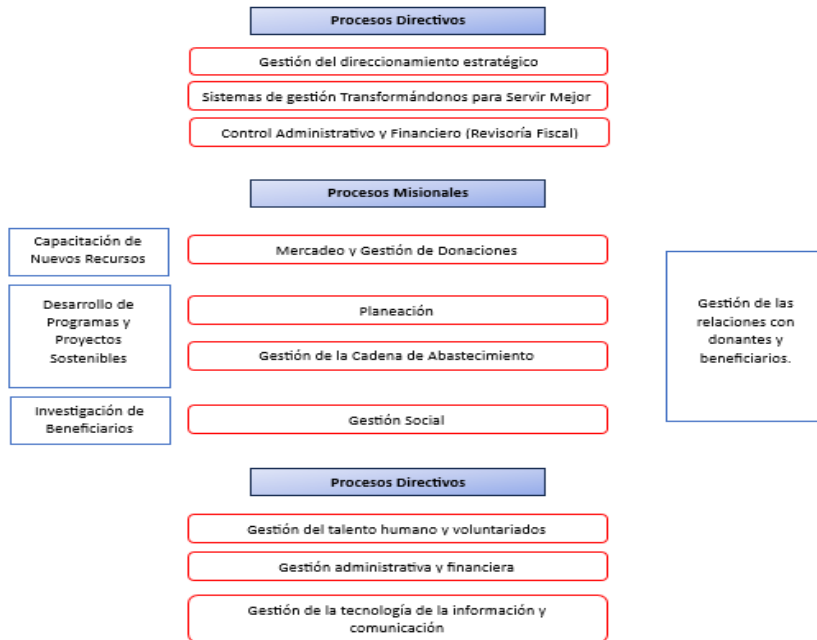


Fig.4. Mapa de procesos del Banco de Alimentos de Cali. MOD. Equipo 103.

La organización prioriza mejorar su portafolio de productos y servicios destinados a las organizaciones beneficiarias y personas vulnerables, buscando ser atractiva y confiable para empresas, organizaciones y personas naturales que deseen aplicar la gestión social. Además, se enfoca en mejorar la capacidad operativa y de mantenimiento de los procesos. Las estrategias corporativas incluyen la diversificación del portafolio para garantizar la sostenibilidad, mantener la posición y reputación corporativa, y desarrollar proyectos sostenibles que aborden las necesidades del Banco de Alimentos y sus grupos de interés. A nivel operativo, se implementan programas de mejoramiento continuo con las organizaciones beneficiarias, se establecen sistemáticamente las estructuras y procesos en áreas como Mercadeo, Gestión Administrativa, Gestión Humana y Voluntariado para facilitar el crecimiento del Banco de Alimentos. Asimismo, se busca fortalecer el sistema de Gestión Transformándonos Para Servir Mejor.

Este sistema, completamente legalizado, abarca tres elementos esenciales: Gestión del Direccionamiento Estratégico, Gestión por Procesos y Gestión de la Cultura. Estos componentes posibilitan una mejora integral en la gestión administrativa de los procesos, asegurando un flujo continuo para satisfacer los requisitos de los donantes. Asimismo, garantiza una respuesta efectiva en la gestión de productos y beneficios para los receptores, enfocándose en la calidad de los productos entregados.

El Banco de Alimentos realiza una rigurosa revisión administrativa y financiera anual para evaluar su progreso. Prioriza la integridad física a través de la identificación, evaluación, mitigación y control de riesgos laborales, cumpliendo con el Decreto 1072 del 2015. Se establece un reglamento para conductores, empleados y contratistas, que deben cumplir con la reglamentación del Código Nacional. Este componente del mapa de procesos estratégicos se fundamenta en auditorías y normativas legales.

El Banco de Alimentos de Cali cuenta con 5 procesos operativos para su funcionamiento como lo podemos observar en la Fig. 5.

## MAPA DE PROCESOS OPERATIVOS

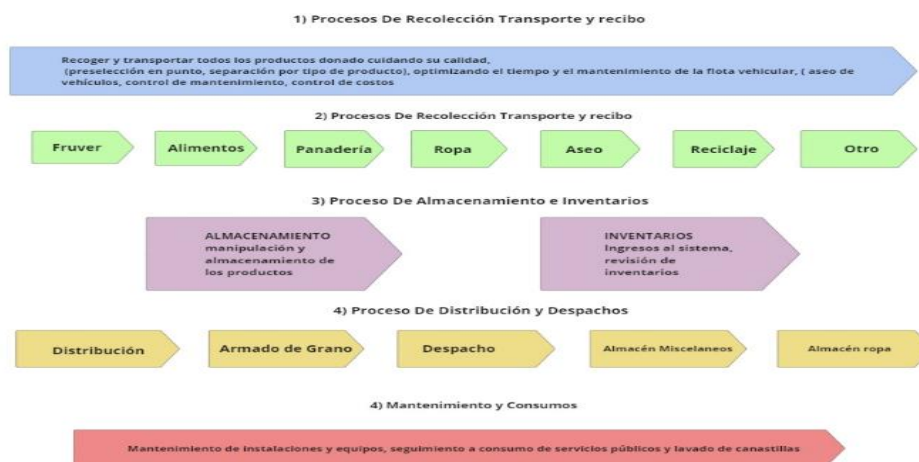


Fig.5. Mapa de Procesos Operativos del Banco de Alimentos de Cali. MOD. Equipo 103.

### Primer Proceso: Recolección, Transporte y Recibo de Donaciones

Este proceso se encarga de recoger y transportar los productos donados, asegurando su calidad mediante una preselección en el punto de origen. Se realiza la separación por tipo de producto, optimizando eficientemente el tiempo y manteniendo la flota vehicular en condiciones óptimas a través de actividades como el aseo de vehículos, control de mantenimiento y gestión de costos. Además, durante este proceso, se lleva a cabo el pesaje y registro manual de los productos que ingresan al Banco de Alimentos, para luego ser ingresados en el sistema computarizado.

### Segundo Proceso: Selección de Productos Recibidos

En este proceso, se lleva a cabo la selección de los productos recibidos, clasificándolos en diversas categorías:

- Fruver: apoyo de descargue, aprovechamiento de pulpa y registro para inventarios.
- Alimentos: Selección de alimentos( reempaque, rotulado y registro de inventarios)
- Panadería: Reempaque y pesaje de productos.
- Ropa: Selección de ropa y zapatos.
- Reciclaje: Separación y almacenamiento de materiales reciclados.
- Otros: Muebles, electrodomésticos y enseres.

El tercer proceso de almacenamiento e inventario se concentra en la eficiente organización de la bodega, gestionando traslados, supervisando la rotación de productos y manteniendo la limpieza de bodegas, pasillos y canastillas. Además de llevar a cabo la baja de inventarios, este proceso incluye la revisión tanto física como en sistemas para garantizar la coherencia entre los registros almacenados y la cantidad real de productos disponibles. Estas acciones coordinadas aseguran una gestión precisa de inventarios, facilitando la disponibilidad adecuada de productos y optimizando la eficiencia operativa.

En el cuarto proceso, se lleva a cabo el surtido del granero, la distribución de productos a las organizaciones, la remisión de mercados fijos y eventuales, así como el mantenimiento del área. En este espacio, se ensamblan los mercados de granos y se realiza la entrega a las organizaciones, con una revisión exhaustiva de la calidad de los productos suministrados. Por último, se realiza la atención al usuario y se registra la salida de productos en los inventarios.

En el último proceso se aborda el mantenimiento de las instalaciones y equipos, se realiza un seguimiento detallado de los consumos de servicios públicos y se lleva a cabo el lavado regular de canastillas. Este proceso se enfoca en garantizar el buen estado y funcionamiento de las instalaciones y equipos, así como en monitorear eficientemente el consumo de servicios públicos. Además, se implementan procedimientos de lavado para mantener la higiene y la calidad de las canastillas utilizadas en el manejo de productos.

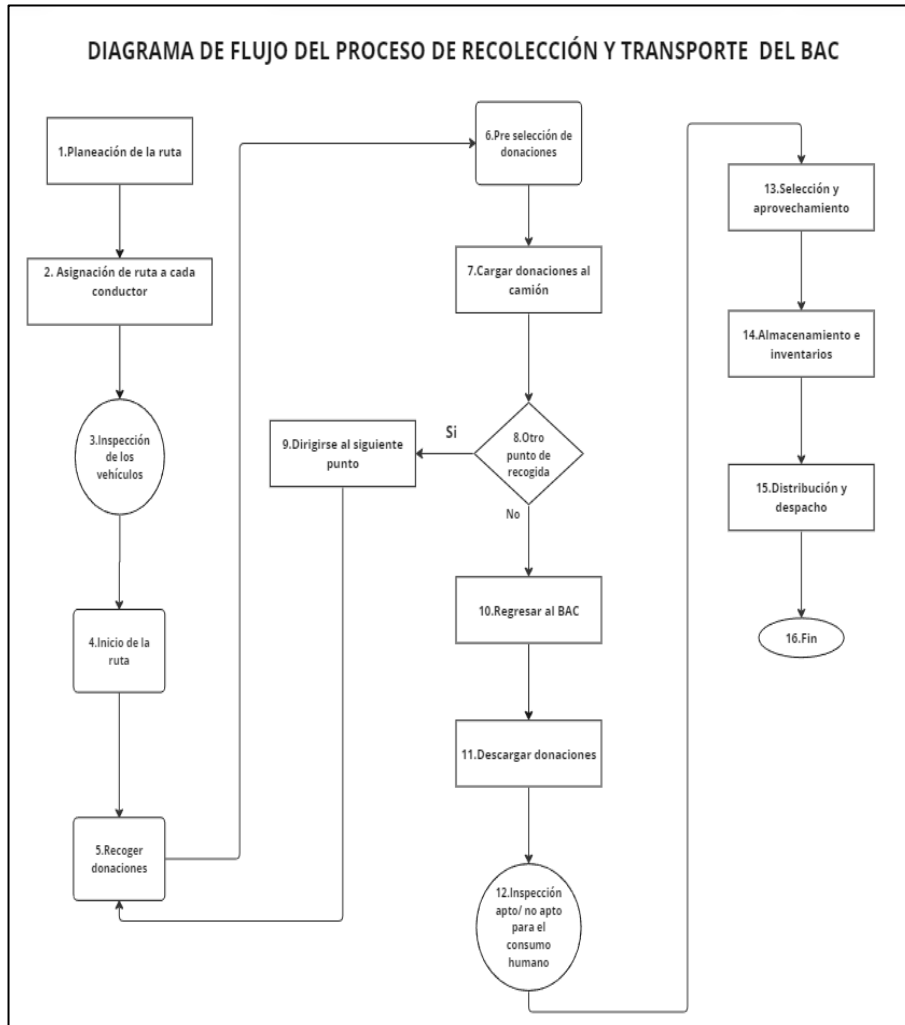
A través de las encuestas realizadas en el Anexo 2, se evidenció un significativo incumplimiento en las citas de recolección de productos frescos Fruver. Durante el análisis, se identificó que la raíz del problema reside en el primer proceso, específicamente en la fase de recolección y transporte. Además, se observó la carencia de herramientas efectivas para recopilar datos que respalden la toma de decisiones informadas. Esta conclusión se

fundamenta en la revisión de datos proporcionados por el Banco de Alimentos (BAC), revelando que muchos indicadores críticos vinculados al proceso de recolección y transporte no se están tomando en cuenta.

En la Fig. 6. Se muestra el diagrama SIPOC en el cual podemos ver la forma en que funciona el BAC, desde los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes.



Fig.6. Diagrama SIPOC del Banco de Alimentos de Cali.



*Fig.7. Diagrama de Flujo Proceso de Recolección y Transporte.*

Por consiguiente, se identificó que se presenta un problema permanentemente en la actividad 1 de la planeación de las rutas ya que no se cuenta con la capacidad para ingresar con rapidez nuevos puntos a las rutas, por ello el tiempo se incrementa haciendo que se retrase la recolección de las donaciones.

Descripción	Cantidad	Tiempo	Distancia	Símbolo					Observaciones
				○	□	◇	▽	▽	
Comunicación con el donante	1	40		●					Donante informa que tiene una donación
Validar el donante	1	20		●					Si es nuevo o antiguo
Entregar donante al área de logística	1	35		●					Pasa del área de gestión social a logística
Planeación de la ruta	1	1008		●					Ingresar nuevos donantes
Asignación de ruta a cada conductor	1	288		●					Se distribuye donantes entre los 11 conductores
Inspección de los vehículos	1	30		●					Limpieza de la parte de atrás de la carga y revisión de estacas
Inicio de la ruta	1	15		●					Responsables del área le entregan la hoja de los puntos a recolectar a cada conductor
Preselección en el origen	1	180		●					Revisar en cada donantes si la donación esta en buen estado a concepto del conductor
Cargue de la donación en el camión	1	360		●					El tiempo puede variar dependiendo la cantidad de
Visitar otro donante	1	540		●					Asumiendo visitar 10 donantes
Regresar al Banco de Alimentos	1	45		●					Tiempo alto por el tráfico que se pueda presentar
Descargar las donaciones	1	150		●					Cada conductor descarga las canastillas
Pesar las donaciones	1	60		●					Auxiliares de los diferentes vehículos pesan las canastillas
Transportar al área de selección y aprovechamiento	1	30		●					Llevar de la pesa al área encargada
Inspección apto/ no apto para consumo humano	1	120		●					Organizar y hacer una preselección
Realizar el aprovechamiento de las donaciones	1	390		●					El área encargada realiza la selección
Transportar al área de almacenamiento	1	270		●					Por medio de montecargas lo llevan al área encargada
Realizar el almacenamiento	1	300		●					Almacenamiento y acomodación de los productos
Realizar el inventario	1	420		●					Ingreso de los nuevos productos
Transportar al área de distribución y despacho	1	95		●					
Armar los paquetes de donaciones correspondientes a cada beneficiario	1	240		●					Desarrollado por voluntariados
Inspeccionar el valor de cada donación	1	30		●					
Entregar a cada beneficiario	1	15		●					Cada beneficiario tiene una cita de 15 minutos para recolectar la donación en el BAC
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>4881</b>		<b>15</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>28</b>

Fig. 8. Cursograma Analítico de Procesos en Recolección y Transporte.

Asimismo, para entender plenamente el funcionamiento integral del procedimiento de recolección y transporte, desde las tareas realizadas hasta las decisiones adoptadas en dicho proceso, se ha desarrollado un diagrama analítico de procesos, el cual se muestra en la Figura 8. Este diagrama proporciona una comprensión más detallada de cómo se lleva a cabo actualmente el proceso de recolección y transporte. Se ha identificado un cuello de botella en la actividad "Planeación de la ruta" al incorporar nuevos donantes a las rutas existentes, lo cual representa 1008 minutos, equivalente aproximadamente a 16 horas o dos días laborales. Como resultado, la donación que se espera que el donante recoja está experimentando un tiempo considerablemente alto debido a que esta actividad se está desarrollando de forma manual.

La situación que actualmente presenta el BAC se centra en la planeación de rutas, esta es una actividad que al ser manual está quitando mucho tiempo, pues al entrar una nueva ruta deben volver a empezar y esto puede tardar días, lo que afecta el porcentaje de cumplimiento de estas. Esta situación es característica especialmente de aquellas empresas que dependen del transporte de bienes o servicios como lo es en este caso. Por lo tanto, la planeación de las rutas afecta directamente la eficiencia operativa, tiempos de entrega, costos, y la satisfacción del cliente.

Actualmente, el Banco de Alimentos de Cali cuenta con estándares y especificaciones, pero el control sobre el cumplimiento de estos estándares es limitado. Se utilizan hojas y tablas dinámicas en Excel para recopilar información, como las rutas programadas, los vehículos y la descripción de las donaciones. Aunque el personal de planificación de rutas conoce estos documentos, los conductores tienen un conocimiento más superficial de

los mismos. La falta de control resulta en una revisión infrecuente, lo que impide mejoras constantes o respuestas efectivas a problemas emergentes.

En cuanto al personal a cargo, es importante destacar que los conductores deben cumplir con requisitos específicos para ser contratados por el Banco de Alimentos de Cali, incluyendo al menos 2 años de experiencia y conocimientos básicos en mecánica automotriz y selección de productos alimenticios. Con 11 conductores altamente capacitados, el Banco de Alimentos busca asegurar que comprendan el proceso de recolección y estén motivados para cumplir con sus responsabilidades mediante incentivos financieros. Además, cuentan con un supervisor que brinda apoyo cuando es necesario.

Los vehículos disponen de tecnologías que facilitan el seguimiento y control del proceso. Un sistema de geolocalización permite a los jefes de logística conocer en tiempo real la ubicación de los vehículos, su estado y actividad. También se utiliza un vehículo con sistema de enfriamiento Termo King para la conservación de carga refrigerada, junto con 10 vehículos adicionales sin dicho sistema. Cada vehículo está equipado con un chip que registra información al cargar combustible, proporcionando a la organización datos sobre los kilómetros recorridos, el gasto de combustible y el tipo de combustible utilizado.

En cuanto a la estandarización y rotación de los alimentos el BAC cuenta con canastillas, pero en caso de requerir más cantidades de canastillas se piden como préstamo a las diferentes entidades a la cual este recolectando la donación. Esta información es suministrada por los jefes de logísticas, los cuales están encargados de la rotación de estas, así como del control en higiene y recolección debidamente de los alimentos en donación.

Por otro lado, las variables de medición del proceso del BAC llevan un control por medio de los datos arrojados al seguimiento a cada vehículo, esto permite que los jefes de logística mantengan informados de cada camión, siendo adecuadas para el Banco de Alimentos de Cali. Los métodos de medición son directos por medio del recurso tacómetro de cada vehículo, esto permite controlar las fechas de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, además se hace uso del chip que tiene insertado cada vehículo para conocer el kilometraje recorrido, ambos recursos son verificados y en cada mantenimiento son calibrados por las entidades pertinentes, el seguimiento responsable se hace por parte de los jefes de logística que con base a lo arrojado por los recursos se implementa el mantenimiento requerido.

El Banco de Alimentos de Cali cuenta con los estándares de calidad y se apoya de las normas de seguridad e higiene para manejar alimentos, cuentan con los espacios de almacenaje adecuados para que los alimentos se mantengan frescos y así evitar la contaminación cruzada, cuentan con los cuartos fríos para que los productos perecederos o lácteos se preserven, hacen limpieza regular para evitar la contaminación y proliferación de bacterias y durante el transporte del recorrido al BAC, cuentan con canastillas propias diferenciadas por color para distinguir su categoría medidas sanitarias pertinentes tanto de seguridad al personal, como señalización y precauciones, así como para mantener la seguridad alimentaria.

Para la selección de los indicadores y las variables como equipo de proyecto realizamos un análisis a los datos suministrados por el Banco de Alimentos de Cali, esto nos permitió identificar los factores que influyen y que se consideran pertinentes a tener en cuenta para controlar los procesos de logística; primero que todo nos basamos en los requerimientos de los grupos de interés para poder brindarles una solución óptima.

## **IV. ANALIZAR**

### *A. Análisis de Causas*

Con el fin de conocer a mayor profundidad las causas raíz y analizar la fuente de variación en el incumplimiento en citas de recolección de Fruver en el BAC, se utilizarán diferentes herramientas como el diagrama Ishikawa, los 5 por qué's, el análisis de variabilidad, entre otras, que nos permitirán identificar los factores más relevantes del problema.

El equipo 103 se enfocará en el análisis de las bases de datos proporcionadas por el BAC y en su primer proceso que es el de recolección y transporte, una vez identificadas minuciosamente las causas que llevan a el incumplimiento en las citas, se procederá a proponer unas soluciones que permitan disminuir el incumpliendo de estas o eliminarlo completamente para de esta forma no correr el riesgo de perder clientes (donantes) y por tanto grandes donaciones de Fruver, uno de los alimentos que el BAC más necesita para cumplir su labor.

Inicialmente para determinar las posibles causas del incumplimiento en las citas de recolección se llevó a cabo una tormenta de ideas, donde se plantearon posibles razones importantes causantes del incumplimiento de

las citas, entre ellas: problemas logísticos, retrasos en las recogidas, falta de personal, escasez de personal voluntario, comunicación efectiva entre los donantes, problemas de temporada, falta de recursos, coordinación deficiente, distancias geográficas, condiciones de almacenamiento inadecuadas.

Luego de haber realizado la lluvia de idea se procedió a elaborar el diagrama Ishikawa (causa-efecto), diagrama es una herramienta visual que fomenta el pensamiento sistémico y colaborativo, que le permitió al equipo 103 de PD identificar y analizar exhaustivamente las causas potenciales del problema principal, facilitando la búsqueda de soluciones efectivas y la toma de decisiones informadas. Su estructura se compone de el efecto donde se establece el problema o efecto que desea analizar y resolver, categorías y causas donde se trazan líneas horizontales que representan las diferentes áreas de causas que pueden contribuir al efecto problema y varía según el contexto, seguidamente se ponen las causas principales en donde se trazan líneas diagonales según cada área donde se establecen específicamente las causas de esa área en específico.

Con este diagrama se logró determinar de manera gráfica, las posibles causas del incumplimiento en las citas de recolección de Fruver, este se divide en seis áreas principales: personal, procesos, equipos, materiales, métodos y entorno; en cada una de ellas se desglosan en causas y efectos raíz pertenecientes a cada área, que influyen de manera directa o indirecta en el problema principal. A continuación, se ilustrará el diagrama mencionado.



Fig. 9. Diagrama de Ishikawa.

Como se puede observar este diagrama nos ayudó a comprender las diferentes causas raíz, como lo son: falta de planificación de recolección, falta de comunicación con los donantes, falta de recursos, no hay seguimiento a los datos recolectados, estas causas identificadas contribuyen a el problema a tratar, a partir del análisis a las áreas principales y a las causas que subyacen de estas áreas podemos enfatizar y abarcar estas causas ya identificadas con el fin de implementar soluciones efectivas que nos permitan disminuir ese incumplimiento.

El paso por seguir es utilizar la técnica de los “5 por qué’s” la cual consiste en hacer una serie de preguntas “por qué” sucesivas para profundizar en las causas subyacentes de un problema. El objetivo principal es llegar a la raíz del problema y no solo abordar los síntomas superficiales, es decir se busca indagar más allá de las causas inmediatas y explorar las causas relaciones causales que pueden haber contribuido al problema. Al hacerlo, se pueden encontrar factores subyacentes que no se habían considerado inicialmente, lo que permite una comprensión más completa y precisa de la situación.

Análisis de los 5 por que's	
1	¿Por qué hay incumplimiento en las citas de recolección de Fruver?
	Porque existe un problema en la planeación de las rutas cuando entra un nuevo donante.
2	¿Por qué hay un problema en la planeación de las rutas cuando entra un nuevo donante?
	Porque la logística no se están llevando a cabo de manera eficiente.
3	¿Por qué no se está haciendo una buena logística?
	Porque no se están analizando adecuadamente los datos necesarios.
4	¿Por qué no se están analizando los datos necesario?
	Porque falta la digitalización de información relevante.
5	¿Por qué falta digitalizar mucha información?
	Porque no se cuenta con las herramientas necesarias para llevar a cabo la digitalización de manera eficiente.

Fig. 10. Análisis de los 5 por qué's.

A lo largo de este proyecto, se ha efectuado un análisis profundo utilizando la técnica de los 5 Porqués para abordar la problemática primordial en cuestión. Cada "porqué" ha permitido descubrir capas fundamentales del inconveniente y ha desentrañado conexiones subyacentes que contribuyen al problema central. El primer "porqué" nos llevó directamente a la raíz del problema inicialmente identificado. Se descubrió que la gestión de rutas de los camiones recolectores en la organización requería una revisión exhaustiva para optimizar la eficiencia y reducir los tiempos de planificación y recorrido. El segundo "porqué" puso de manifiesto una problemática crucial relacionada con el incumplimiento de las citas de recolección de Fruver en el banco. Esta situación, además de impactar la operatividad, podría desencadenar la pérdida de donantes, afectando negativamente la reputación y sostenibilidad de la entidad. El tercer "porqué" reveló un aspecto significativo: la falta de aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles para implementar una logística eficaz. Se identificó una oportunidad para optimizar la asignación y distribución de recursos, lo que contribuiría directamente a la mejora de la planificación de rutas. El cuarto "porqué" sacó a la luz un área de mejora en el análisis de datos. Se detectó que la organización estaba subutilizando la información recopilada, lo cual afectaba su capacidad para tomar decisiones informadas y estratégicas.

Este análisis insuficiente de datos estaba directamente relacionado con la falta de herramientas adecuadas, como lo son tecnologías de ruteo, software o sistemas que permiten recopilar, almacenar, procesar y analizar datos de manera efectiva para obtener información útil y tomar decisiones informadas en el último "porqué". En última instancia, el análisis de los 5 Porqués ha permitido una comprensión más profunda y holística del problema de planificación de rutas de los camiones recolectores. Se concluye que la optimización de la logística de recolección de Fruver requiere una revisión integral de los procesos de planificación y asignación de rutas, así como una mayor inversión en herramientas tecnológicas y capacitación para el análisis de datos. Abordar estos aspectos esencialmente contribuirá a una gestión más eficiente de las operaciones, reduciendo los tiempos de planificación, mejorando la puntualidad en las citas de recolección, y fortaleciendo la base de donantes y la reputación del banco en el proceso.

#### *B. Revisión de literatura*

En el proceso de revisión de la literatura, hemos identificado diversas opciones y enfoques de solución que pueden ser aplicados en nuestro proyecto. Cada documento revisado ha sido detallado en términos de tipo de documento, título, autor(es), año de publicación, objetivo del estudio, herramientas utilizadas en la investigación, metodología empleada, y los resultados obtenidos. Esta información nos ha permitido comprender cómo cada estudio puede contribuir a nuestro proyecto.

Hemos analizado los diferentes métodos y enfoques utilizados por diversos autores, como se refleja en la TABLA VI, y hemos evaluado cómo podríamos adaptar y aplicar estos métodos en nuestra propia iniciativa. Además, con la tabla y los resultados obtenidos, hemos realizado un proceso de benchmarking. Esto nos ha permitido examinar las experiencias de empresas, procesos o servicios exitosos en el mercado, con el objetivo de adquirir ideas valiosas que podamos mejorar y adaptar para su implementación en nuestro proyecto.

TABLA VI.  
REVISIÓN DE LITERATURA

Tipo	Título	Autor (es)	Año	Industria	Objetivo	Método	Herramientas	Resultados	Aporte al Proyecto
Tesis doctoral	El problema de ruteo de vehículos con backhauls y consideraciones de inventarios en cadenas de ciclo cerrado con ítems de transporte retornables [6].	Julio César Londoño Ortega	2020	Ingeniería industrial	El documento tiene como objetivo discutir la importancia de una gestión eficaz del transporte y la logística en la cadena de suministro y presentar un estudio de caso de una empresa colombiana de paquetes que utiliza un modelo de optimización de rutas de vehículos para mejorar la eficiencia de costos, logística y distribución.	El método utilizado en este documento es un modelo de optimización matemática para la gestión de inventarios y transporte de productos. El enfoque se basa en minimizar el costo total de transporte para la entrega y recolección de RTI, teniendo en cuenta la eliminación de las restricciones de gestión de rutas e inventario.	Herramientas informáticas para la generación y manipulación de datos.	Esta información se puede aplicar en el campo para aumentar la eficiencia y reducir los costos asociados con la gestión de inventario y el transporte de productos. Además, este documento puede ser utilizado como base para futuras investigaciones en el campo de la gestión de inventarios y el transporte de productos.	Este documento puede contribuir a reducir el tiempo y la eficiencia de la planificación de rutas, ya que proporciona un modelo matemático de optimización para la gestión de inventario y el transporte de productos que se puede utilizar para minimizar los costos.
Artículo científico	Stochastic vehicle routing problem with heterogeneous vehicles and multiple prioritized time windows: Mathematical modeling and solution approach [17]	Vahid Baradaran, Ali Shafaei, Ali Hosseinian	2019	Logística o Transporte	Resolver el problema de enrutamiento de vehículos estocástico con vehículos heterogéneos y múltiples ventanas de tiempo priorizadas a través de un modelo	Propuesta de un modelo matemático y un enfoque de solución para abordar el problema de enrutamiento de vehículos con características estocásticas y	Se utilizó software especializado para modelado y simulaciones, además de métodos matemáticos y algoritmos específicos para la resolución de	Proporciona soluciones y enfoques para abordar el problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo prioritarias bajo	Este artículo podría ser relevante para comprender como se involucra la optimización de rutas logísticas, particularmente cuando se tienen vehículos heterogéneos y

					matemático y un enfoque de solución.	ventanas de tiempo priorizadas.	problemas de enrutamiento.	condiciones estocásticas.	ventanas de tiempo prioritarias en un entorno estocástico.
Artículo científico	Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte [7].	Julián Andrés Zapata-Cortes, Ángel Rodrigo Vélez-Bedoya, Martín Darío Arango-Serna	2020	Investigación administrativa.	El objetivo de este artículo es mejorar la gestión del ruteo de vehículos de una empresa de paquetería en Medellín-Colombia, para lo que se utilizó un método de optimización basado en el problema de ruteo de vehículos con flota de capacidad heterogénea.	Modelo de optimización de ruteo de vehículos para reducir los costos logísticos y mejorar la eficiencia en la distribución.	Utilización de tecnologías de la información y la optimización de la red de transporte, ruteo de vehículos	Este artículo presenta los resultados de un estudio de caso de una empresa de mensajería colombiana que utiliza un modelo de optimización de rutas de vehículos para reducir los costos logísticos y mejorar la eficiencia logística. También se señaló que la planificación del transporte y la cooperación entre las empresas del sector del transporte deben considerar los impactos sociales y ambientales para mitigar los impactos negativos.	Además, el documento presenta el modelo VRP con vehículos heterogéneos (HVRP) como una alternativa para resolver el problema de ruteo de vehículos en empresas con flotas heterogéneas (como la flota del BAC) y menciona otras variaciones del problema de ruteo de vehículos que pueden ser utilizadas para resolver problemas específicos en la distribución de mercancías. Por lo tanto, el proyecto puede utilizar esta información para seleccionar el modelo de ruteo de vehículos que mejor se adapte a

									las necesidades de la empresa y para identificar las herramientas y tecnologías que pueden ser utilizadas para mejorar la eficiencia de las rutas y reducir los costos logísticos.
Artículo científico	Computación paralela para la geocodificación de direcciones postales cubanas Parallel Computing For The Cuban postal Addresses Geocoding[8].	Alfonso-Cantillo Ofir, Sánchez-Ansola Eduardo	2020	Ingeniería, investigación y tecnología.	Los autores utilizaron computación paralela para desarrollar múltiples versiones del algoritmo de geo-codificación y las evaluaron mediante pruebas estadísticas para identificar la versión con el menor tiempo de procesamiento.	1. Prueba de hipótesis Mann-Whitney 2. Método de Bonferroni, 3. Prueba de Kruskal-Wallis.	Oracle, Minitab, lenguaje de programación Java, Eclipse y Spring.	Los resultados de la investigación muestran que el uso del procesamiento de datos en paralelo puede reducir significativamente el tiempo de respuesta de un algoritmo de geocodificación para un lote de direcciones cubanas. Además, se encontró que la versión 4 del sistema de geocodificación proporciona el tiempo de respuesta más rápido de todas las versiones evaluadas.	La geocodificación es un proceso clave para la planificación de rutas, ya que permite asignar coordenadas geográficas a las direcciones postales y, por lo tanto, calcular las distancias y tiempos de viaje entre los diferentes puntos de la ruta, lo cual ayudaría a reducir los tiempos de planeación de las rutas, el cual es el mayor cuello de botella en el proceso de transporte y recolección del BAC.

Artículo científico	The exact solution of several Classes of inventory-routing problems [9].	Leandro C. Coelho, Gilbert Laporte	2012	Logística y transporte	El propósito de este documento es presentar un modelo integrado y algoritmos de ramificación y corte que se pueden usar para resolver diferentes clases de problemas de inventario y distribución en la industria de la logística y la cadena de suministro. Este documento describe varias funciones de coherencia que se pueden aplicar a un modelo y cómo resolverlas realizando pequeños cambios en el modelo original.	Método de ramificación y corte para resolver problemas de inventario y distribución	Herramientas de programación, optimización y ruteo.	Los resultados muestran que el algoritmo propuesto puede mejorar la mayoría de las soluciones conocidas y obtener buenas cotas inferiores para soluciones que aún no están resueltas de manera óptima. En resumen, los resultados de este artículo demuestran la eficacia del modelo y los algoritmos propuestos para resolver problemas de inventario y distribución en la industria de la logística y la cadena de suministro.	El modelo unificado y el algoritmo de ramificación y corte propuestos en el documento pueden ser utilizados para resolver problemas de inventario y distribución en la industria de la logística y la cadena de suministro, lo que incluye la planificación de rutas y la gestión de inventarios.
---------------------	--	------------------------------------	------	------------------------	---	---	---	--	---

Artículo científico	Beyond Usual Geographical Scales of Analysis: Implications for Healthcare Management and Urban Planning [10].	Liliane Morais, António Lopes, Jorge Rocha, Paulo Jorge Nogueira	2022	Salud pública	El objetivo de este documento es discutir el uso de la geo-codificación y los sistemas de información geográfica (GIS) en la planificación de la atención médica y la epidemiología espacial, así como la importancia de considerar diferentes escalas geográficas en la política y planificación de la salud pública.	Geo-codificación y sistemas de información geográfica (GIS) para analizar datos, estandarización de datos, correcciones de codificación y abreviaturas.	N/A	Los resultados de este estudio muestran que el análisis de datos de salud pública en varios niveles geográficos, más allá del nivel comunitario y comunitario tradicional, proporciona información más precisa y detallada para la gestión de la atención de la salud y la planificación urbana, con los consiguientes resultados, lo que permite una distribución más equitativa de la salud.	Estas herramientas ayudan a analizar los datos de ubicación de clientes, proveedores y vehículos de entrega para mejorar la planificación de rutas y las rutas de los vehículos.
Artículo científico	Calidad de las herramientas automáticas de geo-codificación: un estudio usando direcciones de fichas de registro hospitalario en Temuco, Chile [11].	María Elisa Quinteros, Carola Blarquez, Felipe Rosas, Salvador Ayala, Ximena Marcela Ossa García, Juana María Delgado, Roy M. Harrison, Pablo Ruiz Rudolph	2022	Epidemiología y salud pública.	El propósito de este artículo es comparar la calidad de tres herramientas automatizadas de geo-codificación en línea utilizando el método de referencia en la ciudad de Temuco, Chile, y evaluar su desempeño en diferentes niveles socioeconómicos.	Comparación de tres herramientas automáticas de geo-codificación (Bing, Google Earth y Google Maps) tomando de referencia la ciudad de Temuco, Chile. Se geo-codificó una muestra de 300 direcciones del registro hospitalario y se evaluó el porcentaje de	Bing, Google Earth y Google Maps.	Según los resultados del estudio, Google Maps y Google Earth tuvieron una tasa de coincidencia más alta (>80 %) que Bing. En general, los diferentes niveles de estatus socioeconómico no cambiaron el	Por lo tanto, es importante que el proyecto tenga en cuenta la calidad de la geo-codificación en la ciudad donde se está implementando y evaluar la precisión de las herramientas de geo-codificación que se están utilizando.

		& Karla Yohannessen.			Este estudio se centra en la calidad de la geo-codificación de direcciones en los estudios de salud pública de América Latina.	coincidencia y la precisión de las direcciones en cada herramienta.		rendimiento de cada método.	Además, el proyecto podría considerar la posibilidad de utilizar el método de referencia utilizado en este estudio para mejorar la precisión de la geo-codificación de direcciones en la ciudad.
Trabajo de investigación para optar al título de magister en Ingeniería Industrial	Ruteo de inventarios con ventanas de tiempo fuertes [12].	Eliseo Pérez Kaligari	2015	Ingeniería industrial	El propósito de este artículo es comparar la calidad de tres herramientas automatizadas de geo-codificación en línea utilizando un método de referencia en la ciudad de Temuco, Chile, y evaluar su desempeño en diferentes niveles socioeconómicos. Este estudio se centra en la calidad de la geo-codificación de direcciones en los estudios de salud pública de América Latina	Método de solución de problema de ruteo de inventarios con ventanas de tiempo (IRPTW), método de ahorros (Clark Wrigth), métodos heurísticos.	Modelo basado en programación matemática, heurísticas, método de ahorros (Clark Wright)	Este documento presenta los resultados de las pruebas computacionales realizadas para evaluar el desempeño de una solución propuesta al problema de enrutamiento de inventario de intervalos de tiempo (IRPTW). Muestra el resultado promedio de costo y tiempo de cómputo determinado por instancia según el tipo de costo de almacenamiento	Este modelo permite considerar las restricciones de ventanas de tiempo en la optimización de las decisiones de distribución y ruteo, lo que da como resultado una mayor eficiencia logística y costos reducidos asociados con la recolección del producto.

Artículo científico	El Problema de Ruteo e Inventarios en Cadenas de Suministro de Perecederos: Revisión de Literatura [13].	Diego Fernando Batero Mansol Javier Arturo Orjuela Castro*2	2018	Ingeniería industrial	El propósito de este documento es proporcionar una descripción general de la literatura sobre modelos de planificación de la cadena de suministro (SC) para productos frescos e identificar los principales enfoques, modelos y técnicas utilizadas en la investigación en esta área. Además, discutimos los desafíos y obstáculos que enfrentan los modelos de planificación de CS para productos frescos y sugerimos posibles soluciones y futuras áreas de investigación.	Modelos de planificación de la cadena de suministro para productos perecederos, programación entera mixta no lineal, programación dinámica, heurística, algoritmos de búsqueda local, algoritmos genéticos y simulación. Además de algunos modelos matemáticos como el modelo de decisión de Markov.	Modelos matemáticos, programación entera mixta no lineal, programación dinámica, heurísticas, simulación, modelo decisión de Markov.	Una descripción general de los modelos y metodologías utilizados en la planificación de la cadena de suministro de alimentos frescos, así como los desafíos y obstáculos que enfrentan estos modelos y las posibles soluciones para superarlos.	En primer lugar, el artículo presenta una revisión de la literatura sobre modelos de planificación de la cadena de suministro (CS) para productos perecederos, lo que puede ayudar a los responsables del proyecto a comprender mejor los desafíos y obstáculos que enfrentan los modelos de planificación de la CS para productos perecederos y las posibles soluciones para abordarlos tal como sucede en el BAC.
---------------------	--	---	------	-----------------------	--	--	--	---	---

Tesis de Pregrado	Diseño de rutas para el despacho de kits alimenticios para fundaciones y comunidades desde un Banco de Alimentos [19].	Christian Daniel Ávalos Ordoñez José Carlos Moncayo Rodríguez	2020	Ingeniería industrial	El objetivo de este trabajo de grado es diseñar un modelo de ruteo para el Banco de Alimentos de Guayaquil que permita determinar la ruta óptima para el despacho de kits alimenticios a fundaciones, en respuesta al aumento de la demanda causada por la pandemia del COVID-19. El proyecto busca generar beneficios sociales, económicos y ambientales para la organización.	El método utilizado en este trabajo de grado es la metodología Design for Six Sigma (DFSS), El método de optimización utilizado en este trabajo de grado es una herramienta desarrollada por Güneş Erdoğan para resolver problemas de ruteo de vehículos.	Se emplearon herramientas específicas para cada una de las etapas de la metodología DFSS, como análisis de datos, diseño de prototipos, entre otras. La herramienta es seleccionada es desarrollada por Güneş Erdoğan y se elige por su capacidad para cumplir con las necesidades del Banco de Alimentos, su facilidad de uso, flexibilidad y adaptabilidad a más ubicaciones en el futuro. Además, se utilizó Google Maps para determinar variables como la longitud, latitud y distancias entre fundaciones.	Los resultados obtenidos de este trabajo de grado incluyen la reducción del tiempo de respuesta del proceso de despacho a 2 días para atender a 146 fundaciones.	El proyecto de grado proporciona un modelo y metodología que pueden ser adaptados y aplicados en el diseño de la planeación de rutas para recolectar donaciones de un Banco de Alimentos de Cali, con el fin de mejorar la eficiencia y reducir los tiempos de respuesta en la recolección de donaciones.
-------------------	--	---	------	-----------------------	---	---	---	--	---

### C. Exploración de ideas y selección de alternativa

Con el objetivo de desarrollar alternativas para la problemática encontrada en el proyecto; se identifican 4 técnicas de ideación: Reverse Brainstorming, Método Disney, Los 6 Sombreros, y Método Scamper. Para el presente proyecto el Método de Los 6 Sombreros es el más apropiado al ser el más completo, como llevarlas a cabo y superar las debilidades que estas puedan tener. El método de los 6 sombreros, creado por Edward de Bono, es una herramienta de pensamiento que involucra seis enfoques distintos, cada uno representado por un sombrero de diferente color. Cada sombrero simboliza un modo específico de abordar un problema: blanco para datos objetivos, rojo para emociones, negro para crítica, amarillo para beneficios, verde para creatividad y azul para organización. Al cambiar simbólicamente entre estos sombreros, los individuos pueden explorar de manera integral todas las facetas de un tema, facilitando un pensamiento más completo y estratégico.

TABLA VII.  
METODO DE LOS 6 SOMBREROS.

Alternativas	Sombrero Blanco	Sombrero Rojo	Sombrero Negro	Sombrero Amarillo	Sombrero Verde	Sombrero Azul
<p>1. Una alternativa efectiva para reducir los porcentajes de incumplimiento y disminuir los tiempos de planeación en el ruteo de las recolecciones del Banco de Alimentos es implementar un sistema de gestión de ruteo semiautomatizado. Este sistema utiliza lenguaje de programación para optimizar el tiempo de planeación de las rutas de recolección vinculado a el método de ahorro, considerando variables como la ubicación de los donantes, la capacidad de carga de los vehículos en Kilogramos, y los Kilogramos a recolectar. Al utilizar la programación, se pueden generar rutas eficientes y minimizar los tiempos de viaje, lo que llevará a una mejor planificación y reducirá los retrasos en las recolecciones. Adicionalmente, se implementará el uso de geo codificación proceso que convierte las direcciones en coordenadas geográficas como latitud y longitud que se usan para posicionar en el mapa.</p>	<p>Esta alternativa se basa en la optimización de rutas mediante un sistema semiautomatizado, utilizando programación y geo codificación para mejorar la eficiencia de la planificación.</p>	<p>Se espera que esta propuesta genere entusiasmo por la introducción de tecnologías innovadoras, aunque puede haber cierta aprensión debido al cambio.</p>	<p>Riesgos potenciales incluyen la resistencia al cambio, la necesidad de capacitar al personal y posibles problemas técnicos en la implementación.</p>	<p>Los beneficios incluyen una planificación de rutas más eficiente, reducción de tiempos de viaje y minimización de retrasos en las recolecciones.</p>	<p>Explorar otras herramientas o tecnologías que puedan complementar o mejorar el sistema semiautomatizado podría ser una vía creativa.</p>	<p>El éxito dependerá de un plan de implementación sólido, capacitación efectiva y un monitoreo constante para ajustes proactivos.</p>
<p>2. Establecer acuerdos de colaboración con empresas de logística especializadas. Estas empresas pueden aportar su experiencia y recursos en la gestión de ruteo y planificación de entregas, lo que ayudará a optimizar los procesos</p>	<p>Esta alternativa propone aprovechar la experiencia y recursos de empresas externas para mejorar la gestión de ruteo y planificación.</p>	<p>Puede generar optimismo al contar con expertos externos, aunque también puede generar inquietudes sobre la</p>	<p>Riesgos incluyen la posible pérdida de control sobre la planificación y posibles desafíos en la integración de prácticas externas.</p>	<p>Los beneficios incluyen la optimización de procesos, implementación de tecnologías avanzadas y aprovechamiento de redes de</p>	<p>Explorar nuevas formas de colaboración o modelos de negocio con estas empresas podría ser una vía creativa.</p>	<p>El control se asegurará a través de acuerdos claros, seguimiento riguroso y procesos de integración bien definidos.</p>

del Banco de Alimentos. Al contar con el apoyo de expertos en logística, se pueden identificar las mejores prácticas, implementar tecnologías avanzadas de rastreo y seguimiento, y aprovechar la red de distribución existente para reducir los tiempos de planificación y garantizar el cumplimiento de las recolecciones.		dependencia externa.		distribución existentes.		
3. Es fundamental capacitar al personal del Banco de Alimentos en técnicas de optimización de ruteo. Esto implica brindarles conocimientos y herramientas para planificar y ejecutar las recolecciones de manera más eficiente. Se pueden enseñar métodos de ruteo basados en algoritmos, técnicas de gestión del tiempo y uso de herramientas digitales para la planificación. Además, es importante fomentar la comunicación efectiva entre los recolectores y el personal encargado de la programación, lo que permitirá una mejor coordinación y ajustes rápidos en caso de cambios o imprevistos.	Se propone capacitar al personal del Banco de Alimentos en técnicas de optimización de ruteo, buscando mejorar la eficiencia.	Puede generar entusiasmo al empoderar al personal, aunque también puede encontrarse con resistencia al cambio.	Riesgos incluyen la posibilidad de resistencia, la necesidad de tiempo para capacitación y la adaptación al cambio.	Los beneficios incluyen una mejora en la planificación y ejecución de recolecciones, así como una mejor coordinación interna.	Explorar nuevas herramientas digitales o métodos de capacitación innovadores podría ser una vía creativa.	El control se asegurará a través de procesos de capacitación bien estructurados, evaluaciones continuas y ajustes proactivos.
4. Una alternativa efectiva es establecer una red de voluntarios o la contratación de un estudiante aprendiz dedicados a esta tarea. Se puede reclutar y capacitar a las personas comprometidas con la misión del banco para realizar el ruteo de manera eficiente. Estos pueden utilizar herramientas digitales y aplicaciones de navegación para planificar y optimizar las rutas de recolección, asegurando la entrega oportuna y efectiva de los alimentos. Al contar con una red de voluntarios capacitados, se reducirá la carga de trabajo del personal interno y se agilizará el proceso de ruteo.	El control se asegurará a través de procesos de capacitación bien estructurados, evaluaciones continuas y ajustes proactivos.	Puede generar entusiasmo por la participación comunitaria, pero también puede haber preocupaciones sobre la confiabilidad y capacitación.	Riesgos incluyen la posible falta de compromiso de voluntarios, la necesidad de capacitación y posibles problemas de coordinación.	Beneficios incluyen la reducción de carga de trabajo interna, agilización del proceso de ruteo y participación activa de la comunidad.	Explorar nuevas formas de incentivar y retener voluntarios podría ser una vía creativa.	El control se asegurará a través de procesos de selección, capacitación efectiva y un seguimiento continuo del desempeño.

<p>5. Realizar un análisis y seguimiento constante de los indicadores de desempeño relacionados con el ruteo de las recolecciones. Esto implica monitorear regularmente métricas como la puntualidad en las recolecciones, la eficiencia de las rutas y la capacidad de carga en Kilogramos y canastillas de cada vehículo. Al analizar estos indicadores, se pueden identificar patrones, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para optimizar los procesos de ruteo. Asimismo, el seguimiento continuo permitirá realizar ajustes y mejoras proactivas en la planificación.</p>	<p>La alternativa propone un enfoque constante en el análisis de indicadores relacionados con el ruteo de recolecciones.</p>	<p>Puede generar un ambiente de mejora continua, aunque también puede haber resistencia al monitoreo constante.</p>	<p>Riesgos incluyen la posible resistencia al análisis constante y la necesidad de recursos para el seguimiento.</p>	<p>Beneficios incluyen la identificación proactiva de áreas de mejora, ajustes rápidos y una planificación más informada.</p>	<p>Explorar nuevas métricas o enfoques de análisis podría ser una vía creativa.</p>	<p>El control se asegurará a través de procesos de seguimiento establecidos, análisis sistemático y ajustes continuos.</p>
---	--	---	--	---	---	--

Posteriormente se realiza una matriz de calificación entre los requisitos de los grupos de interés y las 4P's (Producto, Precio, Plaza y Promoción) con el fin de poder deducir la relación entre estos (Fig.11) donde se califica en una escala de 1 al 5, en la que 5 indica que la relación es muy fuerte, es decir, que influye altamente en el cumplimiento del requisito y 1 es una relación débil. A la Fig.11 se le añadió una columna acerca de la importancia dada por el Banco de Alimentos en cada uno de los requisitos para finalmente dar un total el cual pudiera dar un peso a cada uno de estos y basado en ello poder realizar un diagrama de Pareto (Fig.12) para elegir cuáles eran los requisitos más importantes y a su vez se pudieran tener en cuenta cómo criterios de decisión en el proceso de selección de alternativas.

Requisitos de los grupos de interés	Producto (servicio)	Precio	Plaza	Promoción	Importancia para el Banco	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Reducir los tiempos de planeación.	5	4	5	4	8	26	20%	20%
Controlar costos de transporte.	3	5	5	4	7	24	18%	38%
Cumplir en su totalidad con las citas de recolección.	5	4	5	4	9	27	20%	58%
El banco de alimentos recoja las donaciones en el menor tiempo posible.	5	4	5	5	8	27	20%	79%
Condiciones para que el transporte de alimentos Fruver cumplan con la reglamentación correspondiente.	5	5	5	4	9	28	21%	100%
<b>TOTAL</b>						<b>132</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fig.11. Matriz de Relación Grupos de Interés vs. 4P de Marketing

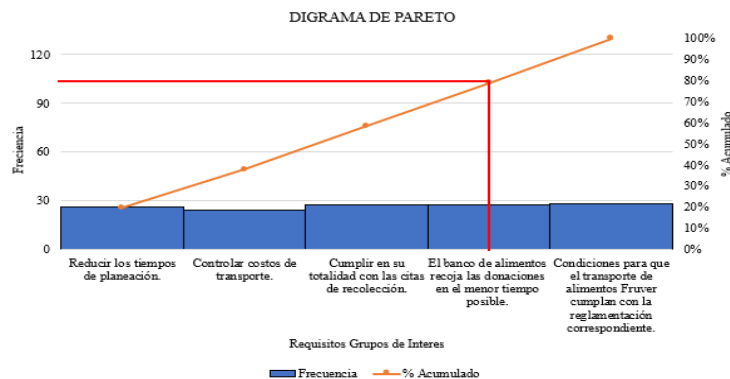


Fig.12. Diagrama Pareto de Requisitos Grupos de Interés.

Para determinar cuáles serían los criterios para tener en cuenta para la selección de la mejor alternativa se tomaron los requisitos de los grupos de interés del Banco de Alimentos, Conductores y donantes que representaban el 80% de la frecuencia acumulada:

- Reducir los tiempos de planeación.
- Controlar costos de transporte.
- Cumplir en su totalidad con las citas de recolección.
- El banco de alimentos recoja las donaciones en el menor tiempo posible.

Igualmente se consideró el criterio de Número de debilidades infranqueables, teniendo en cuenta que el Método Disney se selecciona la alternativa que presente el menor número de debilidades de este tipo. Una vez establecidas los requisitos, estos pasaron a ser subcriterios al agruparlos por categorías, dando origen a los criterios definitivos que se usaron para la selección de alternativas. (Fig.13)

Criterios	Subcriterios
Uso de tecnología	Reducir los tiempos de planeación.
Monitoreo de gastos	Controlar costos de transporte.
Seguimiento	Cumplir en su totalidad con las citas de recolección.
Agilidad en la respuesta	El banco de alimentos recoja las donaciones en el menor tiempo posible.
Presencia de debilidades infranqueables	Cantidad de debilidades infranqueables

Fig.13. Criterios y Subcriterios para Selección de Alternativas

Por consiguiente, se tiene en cuenta la definición de los criterios definidos en la Fig.13.

1. Uso de tecnología: Se utilizan herramientas tecnológicas o software especializados para agilizar y optimizar la planificación de las rutas en el Banco de Alimentos de Cali.
2. Monitoreo de gastos: Se realiza un seguimiento regular de los gastos de transporte y se implementan medidas para controlarlos y reducirlos.
3. Seguimiento: Se realiza un seguimiento de las citas de recolección y se analizan las causas de incumplimiento, implementando acciones correctivas para evitar su repetición.
4. Agilidad en la respuesta: El Banco de Alimentos tiene la capacidad de responder rápidamente a las donaciones disponibles y recolectarlas en un corto período de tiempo.
5. La expresión "Presencia de debilidades infranqueables" se refiere a la existencia de características en el proyecto que son difíciles de superar. Estas debilidades son consideradas como obstáculos que impiden el progreso o el logro de los objetivos establecidos.

Una vez definida las cinco alternativas y definidos los criterios de selección, se analizó el nivel de preferencia de cada uno de los criterios a partir del criterio inicial, que en este caso fue Agilidad en la respuesta, luego mediante la matriz AHP se constató que la comparación entre criterios fuera consistente (Fig.14) (Anexo 9. MetodoDisney-Pareto).

Número de indicadores n	5
Promedio Vector Consistencia $\lambda$	5,2
Indice consistencia CI	0,06
Indice consistencia Aleatorio RI	1,188
Razón de Consistencia CR	5%
¿Es consistente?	SI

Fig.14. Matriz de Consistencia.

Igualmente, en la misma matriz se definió el peso ponderado para cada uno de los criterios dando los siguientes resultados: (Fig.15)

Criterios	Vector Prioridades
Uso de tecnología	
Monitoreo de gastos	7%
Seguimiento	26%
Agilidad en la respuesta	13%
Presencia de debilidades infranqueables	3%

Fig.15. Vector de Prioridades para Selección de Alternativas.

Se procedió a escoger la mejor alternativa mediante la Matriz de Preferencias para la Selección de Alternativas. Donde para llevar a cabo la evaluación, se recurrió a la intervención de Nilson Rengifo y Alfredo Delgado como representantes del Banco de

Alimentos; Francisco Muñoz, director del Proyecto de Diseño y el grupo 2023103, en la que cada persona debía realizar una puntuación predeterminada de 1 a 9, y posteriormente realizar un promedio de las tres calificaciones. (Fig.16)

MATRIZ DE PREFERENCIAS PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS											
Criterios de selección	Peso ponderado del criterio (Según AHP)	Alternativas de selección									
		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
Uso de tecnología	50%	9	453	7	369	6	302	5	235	8	385
Monitoreo de gastos	7%	7	50	6	38	6	43	6	38	8	56
Seguimiento	26%	9	226	7	182	6	165	7	182	9	226
Agilidad en la respuesta	13%	8	112	9	116	7	99	8	103	6	85
Presencia de debilidades infranqueables	3%	4	13	7	26	7	23	7	24	6	20
<b>Totales</b>	<b>100%</b>	<b>852,5015417</b>		<b>731,2760613</b>		<b>631,1684212</b>		<b>582,5951248</b>		<b>772,3307827</b>	
Alternativa seleccionada		Alternativa 1		No seleccionado		No seleccionado		No seleccionado		No seleccionado	

Fig.16. Matriz Preferencia Selección de Alternativas.

Después de todo lo anteriormente analizado, se estableció que la alternativa más conveniente es la 1 con el puntaje más alto 852.50. Dicha alternativa consiste en implementar un sistema de gestión de ruteo semiautomatizado. Este sistema utilizaría lenguaje de programación para optimizar el tiempo de planeación de las rutas de recolección vinculado a el método de ahorro, considerando variables como la ubicación de los donantes, la capacidad de carga de los vehículos en canastillas y Kilogramos, y los tiempos de recolección. Al utilizar la programación, se pueden generar rutas eficientes y minimizar los tiempos de viaje, lo que llevará a una mejor planificación y reducirá los retrasos en las recolecciones. Adicionalmente, se implementará el uso de Geo-coding proceso que convierte las direcciones en coordenadas geográficas como latitud y longitud que se usan para posicionar en el mapa.

#### D. Objetivos

A lo largo del proyecto se consolidó un objetivo general y los diferentes objetivos específicos los cuales se plantean de la siguiente manera:

##### Objetivo general:

- Diseñar el proceso de planeación de la recolección de donaciones utilizando herramientas computacionales para agilizar la creación de las rutas.

##### Objetivos específicos:

1. Proponer un método para mejorar la precisión de localización de direcciones incorporando un sistema de geocodificación en el proceso de planeación de rutas.
2. Automatizar la creación de rutas de recolección de donaciones implementando métodos heurísticos en un lenguaje de programación.
3. Estandarizar el proceso de planeación de rutas incluyendo las herramientas desarrolladas.
4. Validar el modelo propuesto mediante la implementación de técnicas de simulación o análisis de variación en costos, con el fin de asegurar su precisión y utilidad en la toma de decisiones estratégicas.

#### E. Plan de trabajo (PdT)

A continuación, se presenta el plan de trabajo (TABLA VIII) basado en los objetivos específicos establecidos y la relación de estos con las áreas IISE, posteriormente se realiza en la herramienta de Project ® se especifica el objetivo específico y las subactividades que se deben realizar para poder cumplir con este, junto con las fechas. (Anexo 10. Project Equipo 103)

TABLA VIII.  
PLAN DE TRABAJO

Objetivo General
Diseñar el proceso de planeación de la recolección de donaciones utilizando herramientas computacionales para agilizar la creación de las rutas.

Objetivos Específicos	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Proponer un método para mejorar la precisión de localización de direcciones incorporando un sistema de geo-codificación en el proceso de planeación de rutas.	11. Information engineering	Sistema para el procesamiento de datos, que incluye formularios, programas y procedimientos, así como herramientas de análisis de datos.	Crear una función en una hoja de cálculo en Google Sheets, que utilice la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de geo codificación seleccionada para convertir direcciones en coordenadas geográficas.	Procedimiento y herramientas en hoja de cálculo para el uso de geo codificación.	17 de noviembre de 2023.
Automatizar la creación de rutas de recolección de donaciones implementando métodos heurísticos en un lenguaje de programación.	11. Information engineering 8.4.4.3 Vehicle routing	Codificación en lenguaje de programación que permita cumplir con los requerimientos del grupo de interés.	Plantear un método que permita garantizar el uso de método heurístico con ventanas de tiempo para la generación de las rutas.	Método heurístico implementado con el lenguaje de programación seleccionado.	17 de noviembre de 2023.
Estandarizar el proceso de planeación de rutas incluyendo las herramientas desarrolladas.	1. Work desing and Measurement	Método y estándares de trabajo.	Consolidar las herramientas desarrolladas para sintetizar en el procedimiento.	Descripción del nuevo procedimiento.	17 de noviembre de 2023.
Validar el modelo propuesto mediante la implementación de técnicas de simulación o análisis de variación en costos, con el fin de asegurar su precisión y utilidad en la toma de decisiones estratégicas.	2. Operations Research Analysis	Simulación de eventos discretos.	Realizar simulaciones para evaluar la precisión y variabilidad del modelo propuesto en la planificación de rutas del Banco de Alimentos de Cali.	Informe de resultados de las simulaciones y análisis de variación, destacando la precisión y utilidad del modelo en la toma de decisiones estratégicas.	17 de noviembre de 2023.

## V. MEJORAR

### A. Desarrollo del diseño de la solución

En el proceso de validar la propuesta diseñada por el equipo 103 la planificación de rutas de recolección de donaciones en el Banco de Alimentos de Cali es una tarea crucial, para mejorar este proceso, hemos considerado tres alternativas:

La primera alternativa consiste en establecer acuerdos de colaboración con empresas de logística especializadas. Estas empresas pueden aportar su experiencia y recursos en la gestión de ruteo y planificación de entregas, lo que ayudará a optimizar los procesos del Banco de Alimentos. Al contar con el apoyo de expertos en logística, se pueden identificar las mejores prácticas, implementar tecnologías avanzadas de rastreo y seguimiento, y aprovechar la red de distribución existente para reducir los tiempos de planificación y garantizar el cumplimiento de las recolecciones.

La segunda alternativa propone establecer una red de voluntarios o la contratación de estudiantes aprendices dedicados a esta tarea. Estos pueden utilizar herramientas digitales y aplicaciones de navegación para planificar y optimizar las rutas de recolección, asegurando la entrega oportuna y efectiva de los alimentos. Al contar con una red de voluntarios capacitados, se reducirá la carga de trabajo del personal interno y se agilizará el proceso de ruteo.

Finalmente, la tercera alternativa, que hemos seleccionado, implica implementar un sistema de gestión de ruteo semiautomatizado. Este sistema utiliza lenguaje de programación para optimizar el tiempo de planeación de las rutas de recolección vinculado al método de ahorro, considerando variables como la ubicación de los donantes, la capacidad de carga de los vehículos en kilogramos, y los kilogramos a recolectar. Al utilizar la programación, se pueden generar rutas eficientes y minimizar los kilómetros recorridos, lo que llevará a una mejor planificación y reducirá los retrasos en las recolecciones. Adicionalmente, se implementará el uso de Geo-coding, un proceso que convierte las direcciones en coordenadas geográficas como latitud y longitud que se usan para posicionar en el mapa.

Cada una de estas alternativas tiene sus ventajas y desventajas, pero la alternativa seleccionada ofrece la mejor oportunidad para reducir los porcentajes de incumplimiento y disminuir los tiempos de planeación en el ruteo de las recolecciones del Banco de Alimentos de Cali, se debe considerar que los recursos con los que el BAC cuenta, ya que es una fundación sin ánimo de lucro y sus recursos hasta el momento son limitados por tal motivo no tienen la capacidad para invertir en una empresa logística o en la contratación de un aprendiz, es por eso que es la tercera alternativa seleccionada es la que mejor se ajusta para dar solución a la necesidad planteada desde el inicio.

El Banco de Alimentos de Cali, como parte fundamental de su labor humanitaria, se enfrenta al desafío de recolectar donaciones de manera eficiente para atender las necesidades de comunidades vulnerables. La optimización de rutas es esencial para reducir costos operativos y tiempos de entrega, maximizando así el impacto de las donaciones. En el proceso de analizar las direcciones se asocia con coordenadas geográficas de latitud y longitud, esenciales para la planificación de rutas. Para la geo-codificación de direcciones, utilizamos un código de Apps Script que interactúa con Google Maps. Mediante este código, se crea un menú personalizado que ejecuta la función "geo-codificar". El código se inicia a partir de la segunda fila en la hoja de cálculo, procesando cada dirección, esto garantiza que solo se trabaje con direcciones válidas y se evitan errores inesperados en el proceso.

El código de Apps Script se encarga de la geo-codificación, convirtiendo las direcciones en coordenadas de latitud y longitud, esto se logra mediante la comunicación con Google Maps, que proporciona los datos geográficos necesarios. Una vez obtenidos los resultados, las coordenadas se almacenan en la hoja de cálculo, permitiéndonos así convertir la información de direcciones en datos geográficos precisos que se utilizarán para optimizar la planificación de rutas de recolección de donaciones. A continuación, desplegaremos el código en App Script para una mejor comprensión:

- Esta línea obtiene la hoja de cálculo activa en Google Sheets y la almacena en la variable ss:

```
Var ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
```

- Para obtener la hoja de trabajo activa dentro de la hoja de cálculo, se almacena en la variable sheet:

```
var sheet = ss.getActiveSheet();
```

- En esta línea se define una variable llamada dataRangeAll que representa todo el rango de datos en la hoja de trabajo activa:

```
var dataRangeAll = sheet.getDataRange();
```

- Aquí, se obtiene el número de la última fila en la hoja de trabajo activa y se almacena en la variable ultimaFila:

```
var ultimaFila = dataRangeAll.getLastRow();
```

- Comienza la definición de la función onOpen(), que se ejecuta al abrir la hoja de cálculo:

```
function onOpen() {
```

- Obtiene el objeto de interfaz de usuario de la hoja de cálculo, de la siguiente manera:

```
var ui = SpreadsheetApp.getUi();
```

- Después creamos un menú llamado "Geo-codificar" en la interfaz de usuario:

```
ui.createMenu('Geocodificar')
```

- Y posteriormente agregamos un ítem al menú que se llama "Convertir direcciones en coordenadas" y lo vinculamos a la función geo-codificar, de la siguiente manera:

```
.addItem('Convertir direcciones en coordenadas', 'geocodificar')
```

- Y se agrega al menú creado en la interfaz de usuario de la hoja de cálculo:

```
.addToUi();  
}
```

- En este apartado comienza la definición de la función geocodificar(), donde se ejecutará cuando se seleccione la opción "Convertir direcciones en coordenadas" en el menú "Geocodificar".

```
function geocodificar() {
```

- Definimos la fila inicial desde la cual comenzará a procesar los datos, así:

```
var filaInicial = 2;
```

- Obtenemos un rango de datos en la hoja de trabajo, comenzando desde la fila inicial, columna 1 (A), con un número de filas igual a "ultimaFila" y un número de columnas igual a 3 (A, B y C):

```
var dataRange = sheet.getRange(filaInicial, 1, ultimaFila, 3);
```

- Para así obtener los valores en el rango de datos definidos y se van almacenando en la variable data:

```
var data = dataRange.getValues();
```

- Comienza un bucle for que recorrerá todas las filas de datos almacenadas en la variable data:

```
for(var i=0; i< data.length; i++) {
```

- Para cada iteración del bucle, se obtiene una fila de datos de la variable data y se almacena en la variable fila:

```
var fila = data[i];
```

- Y se obtiene la dirección de la primera columna de la fila y se almacena en la variable dirección:

```
var direccion = fila[0];
```

- Y verificamos si la variable dirección no está vacía:

```
if(direccion != "") {
```

- Se utiliza Google Maps para geo-codificar la dirección obtenida en la variable dirección, y los resultados se almacenan en la variable geocoder:

```
var geocoder = Maps.newGeocoder().geocode(direccion);
```

- Obtenemos el primer resultado de la geo-codificación y se almacena en la variable resultado:

```
var resultado = geocoder.results[0];
```

- Se inicializan variables para latitud y longitud con valores predeterminados de 0:

```
var latitud = 0;  
var longitud = 0;
```

- Verificamos si hay un resultado válido de la geo-codificación:

```
if(resultado) {
```

- Si hay un resultado válido, se obtienen las coordenadas de latitud y longitud y se almacenan en las variables correspondientes:

```
latitud = resultado.geometry.location.lat;  
longitud = resultado.geometry.location.lng;
```

- Para finalmente tener las coordenadas de latitud que se escriben en la columna B y las coordenadas de longitud en la columna C de la fila actual en la hoja de trabajo:

```
sheet.getRange(filaInicial + i, 2).setValue(latitud);  
sheet.getRange(filaInicial + i, 3).setValue(longitud);
```

Posteriormente, se seleccionaron puntos específicos de las rutas del BAC para crear un mapa en Google My Maps, donde nos entrega la dirección, en la lista de Google Sheets se va guardando dichas direcciones para que nos entregue las coordenadas de cada punto seleccionado, como resultado ubicamos los siguientes puntos:

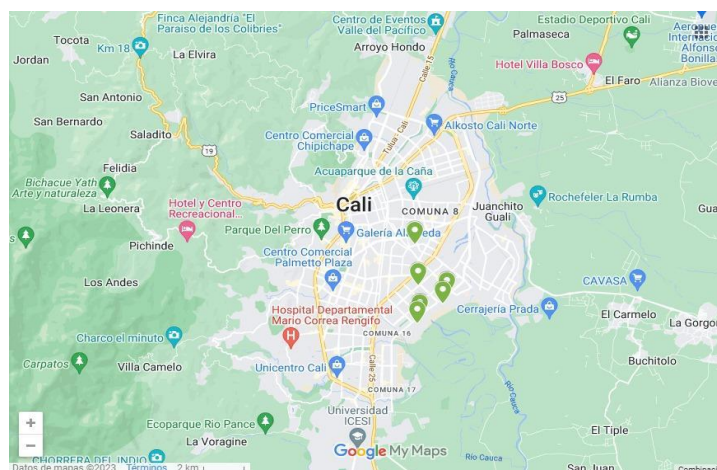


Fig. 17. Google My Maps de los puntos del Banco de Alimentos de Cali.

Como resultado en la hoja de Google Sheets, nos arroja la latitud y longitud de cada dirección que se solicita, a continuación, se expone un ejemplo de ciertos puntos seleccionados:

Direcciones	Latitud	Longitud
Ci. 24 #6-103, COMUNA 3, Cali, Valle del Cauca	3,45477700	-76,52050060
Cra. 4 #44-20, COMUNA 4, Cali, Valle del Cauca	3,46232970	-76,50731730
Av. 6a Nte. #24 AN - 11, San Vicente, Cali, Valle del Cauca	3,46679880	-76,53096330
Cra. 28 #N°41-32, Palmira, Valle del Cauca	3,53746780	-76,29728720
Ci. 13 #31-42, Comuna 10, Cali, Valle del Cauca	3,42679490	-76,52916710
Ci. 9b #49 - 50, Cali, Valle del Cauca	3,41176120	-76,54117810
Unico Salomia, Ci. 52 #3-29 Local 1010, Comuna 5, Cali, Valle del Cauca	3,46497910	-76,50083190
Glorieta Vía Alfaguara, Jamundí, Valle del Cauca	3,26372410	-76,54705390
Cra. 10 #18-11, Jamundí, Pereira, Valle del Cauca, Colombia	3,26730200	-76,53735340

Fig. 18. Latitudes y Longitudes de los puntos seleccionados del BAC.

Para mejorar la eficiencia en la organización de las rutas de recolección de donaciones, nuestro proyecto se fundamenta en la aplicación del método de los ahorros, integrado en el entorno de programación Python, en conjunto con la geo codificación de direcciones. Este método, reconocido en el ámbito logístico, nos posibilita optimizar las rutas al determinar el orden más eficiente para visitar diversas ubicaciones geográficas. Al fusionar la precisión de las coordenadas geográficas obtenidas a través de la geo codificación con el análisis de rutas y el cálculo de ahorros, podemos desarrollar estrategias que maximicen la eficiencia en la recolección de donaciones y la planificación logística, permitiendo así una gestión más efectiva de los recursos disponibles.

El código se codificó con paso a paso con ayuda del profesor del curso Transporte y Distribución, que se encuentra en el Anexo 14 se enfoca en la creación de clases para modelar nodos, arcos, rutas y soluciones dentro de un contexto de optimización de rutas logísticas. En el primer módulo, se puede apreciar la fase de entrada de datos relacionados con el problema de enrutamiento de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés) y utiliza un algoritmo de ahorro de Clarke-Wright (CWS-BRA) para resolver instancias de VRP. En el VRP, el objetivo es planificar rutas óptimas para la flota de vehículos que deben entregar bienes a varios destinos (nodos) desde un depósito central. El código se divide en tres clases principales: Node, representa el nodo del problema, que es un punto de entrega (con demanda) o el depósito (con demanda cero), Edge, representa un arco entre dos nodos con información sobre su costo y ahorro, Route, representa una ruta que conecta nodos, con información sobre su costo y demanda total cubierta y finalmente la solución del VRP, que consta de una lista de rutas, que se utilizan para representar los nodos, arcos, rutas y soluciones del problema.

```
class Node:
    def __init__(self, ID, x, y, demand):
        self.ID = ID
        self.x = x
        self.y = y
        self.demand = demand
        self.inRoute = None
        self.isInterior = False
        self.dnEdge = None
        self.ndEdge = None
```

Fig. 19. Nodo del código en Python.

Seguido del nodo, definimos la clase Edge, que representa un arco entre dos nodos. Contiene información sobre el nodo de origen, el nodo de destino, el costo del arco, los ahorros asociados y una referencia al arco inverso:

```

class Edge:
    def __init__(self, origin, end):
        self.origin = origin
        self.end = end
        self.cost = 0.0
        self.savings = 0.0
        self.invEdge = None

```

Fig. 20. Definición de la clase Edge en Python.

La clase Route representa una ruta en el VRP. Guarda información sobre el costo de la ruta, los arcos que la componen y la demanda total cubierta por la ruta. El método reverse se utiliza para invertir el orden de los arcos en la ruta, lo que podría ser útil para ciertas operaciones.

```

class Route:
    def __init__(self):
        self.cost = 0.0
        self.edges = []
        self.demand = 0.0

    def reverse(self):
        size = len(self.edges)
        for i in range(size):
            edge = self.edges[i]
            invEdge = edge.invEdge
            self.edges.remove(edge)
            self.edges.insert(0, invEdge)

```

Fig. 21. Ruta en el VRP.

Y para finalizar, la clase Solution representa una solución del problema VRP. Cada solución tiene un ID, una lista de rutas, y almacena información sobre el costo total de la solución y la demanda total cubierta.

```

class Solution:
    last_ID = -1

    def __init__(self):
        Solution.last_ID += 1
        self.ID = Solution.last_ID
        self.routes = []
        self.cost = 0.0
        self.demand = 0.0

```

Fig. 22. Solución del problema VRP.

Posteriormente, se realizan importaciones de módulos y clases necesarios para el funcionamiento del programa. La línea `from vrp_objects import Node, Edge, Route, Solution` importa las clases definidas previamente en el código para su uso posterior. Además, se importan los módulos `math`, `operator` y `matplotlib.pyplot` que se utilizan para operaciones matemáticas, operaciones en listas y para crear gráficos, respectivamente. En esta sección, se definen algunas variables: `veh_cap`, que representa la capacidad de los vehículos en el problema VRP, `instance_name`: un nombre que se utiliza para identificar la instancia específica del problema, `filename`: se genera el nombre del archivo de datos basado en el nombre de la instancia.

```

from vrp_objects import Node, Edge, Route, Solution
import math
import operator
import matplotlib.pyplot as plt
import random
import numpy as np
import time
from math import radians, cos, sin, asin, sqrt

numeroDeCorridas=150
nuevoBeta2=0
mejorCosto2=1000000000
mejorRuta=[]
laMejorMejorRuta=[]
#El parametro beta, cambia para tener diversas soluciones
beta = 0.18
for terminar in range(0,14):
    nuevoBeta=0
    mejorCosto=1000000000
    for interaccion in range(0,numeroDeCorridas):

        # Leer los datos de las instancias
        veh_cap = 4700 # Se actualiza la capacidad del vehiculo en cada instancia
        instance_name = 'A-n63-k9' # Nombre de la instancia
        #instance_name = 'B-n57-k9' # Nombre de la instancia
        # Archivo txt con los datos de la instancia (ID del nodo, x, y,demanda)
        filename = instance_name + '_input_nodes.txt'

```

Fig. 23. Importación de las clases definidas.

Siguiendo el código, abre el archivo de datos de la instancia (`filename`) y lee su contenido línea por línea. Cada línea contiene información sobre un nodo del problema. Los datos se dividen en valores numéricos (coordenadas x, coordenadas y, demanda) y se utilizan para crear objetos `Node` que representan los nodos. Estos nodos se almacenan en una lista llamada `nodes`.

Este fragmento de código se encarga de cargar los datos del problema VRP desde un archivo y crear una lista de nodos a partir de ellos. Las coordenadas y la demanda de cada nodo se almacenan en objetos `Node` para su posterior procesamiento en la resolución del problema.

```

with open(filename) as instance:
    i = 0
    nodes = []
    for line in instance:
        data = [float(x) for x in line.split()]
        aNode = Node(i, data[0], data[1], data[2])
        nodes.append(aNode)
    i += 1

```

Fig. 24. Datos de la instancia.

Finalmente, se procede a construir una lista de ahorros, que calculará los ahorros potenciales al fusionar rutas en el algoritmo CWS-BRA, se calculan los costos de los arcos entre los nodos y el depósito, y se almacenan en objetos de la clase `Edge`, estos ahorros se almacenan en la lista `savingsList` y se ordenan de mayor a menor.

Se inicializan las rutas iniciales para cada nodo, conectando cada nodo al depósito. Se crea un objeto `Solution` llamado 'sol' para representar la solución del VRP, cada ruta contiene dos arcos: uno desde el depósito hasta el nodo y otro desde el nodo de vuelta al depósito para actualizar la demanda y el costo de cada ruta. Luego, se implementa el algoritmo CWS-BRA para fusionar rutas, en cada iteración, se selecciona el arco con el mayor ahorro de la lista `savingsList`. Se verifican las condiciones para fusionar

las rutas, y si es factible, se fusionan las rutas y se actualizan los datos de costo, demanda y pertenencia a la ruta, después de las fusiones, se imprime la solución final que muestra las rutas resultantes del VRP y sus costos. Finalmente, se crea un gráfico que visualiza las rutas en el problema VRP.

Posteriormente, en el Anexo 15 tenemos el código en Python destinado a resolver un desafío logístico: la optimización de rutas de distribución. Utiliza un enfoque basado en el algoritmo Savings-Based Clarke and Wright Sweep (CWS-BRA) para encontrar rutas más eficientes y económicas. Comienza configurando parámetros como el número de corridas y el valor de beta, que afecta el comportamiento del algoritmo. El código luego lee los datos de una instancia específica que describe los nodos y sus coordenadas. Utilizando estos datos, inicializa nodos, calcula distancias y crea una lista de ahorros, determinando la distancia entre cada par de nodos para su posterior utilización en el algoritmo.

El algoritmo CWS-BRA es el núcleo del proceso, este busca combinar las rutas existentes de manera inteligente para minimizar el costo total de distribución. Realiza un ciclo iterativo, uniendo rutas con los mayores ahorros posibles, cumpliendo con ciertas condiciones para fusionarlas. Después de varias iteraciones y ajustes según el valor de beta, busca encontrar la solución óptima que minimice el costo total de transporte. Finalmente, presenta los resultados obtenidos, como el costo de las rutas más eficientes encontradas, muestra una representación gráfica de estas rutas, calcula el porcentaje de diferencia entre el costo encontrado y un valor de referencia (GAP), y prepara una lista de rutas de solución junto con funciones para realizar cálculos adicionales. Este enfoque sistemático busca mejorar la planificación de rutas logísticas, maximizando la eficiencia y minimizando los costos operativos.

- Importación de módulos:

```
from vrp_objects import Node, Edge, Route, Solution
```

Aquí se importan clases y funciones definidas en un módulo llamado `vrp_objects`. Este módulo podría contener la definición de las clases `Node`, `Edge`, `Route`, y `Solution`, así como otras funciones utilizadas en el código principal.

- Parámetros de configuración:

```
numeroDeCorridas = 100
nuevoBeta2 = 0
mejorCosto2 = 1000000000
mejorRuta = []
laMejorMejorRuta = []
beta = 0.18
```

Establece parámetros como el número de corridas, el valor inicial de beta y otras variables para realizar ajustes durante la ejecución.

- Bucle principal:

```
for terminar in range(0, 14):
    nuevoBeta = 0
    mejorCosto = 1000000000
    for interaccion in range(0, numeroDeCorridas):
        # ... (código principal del algoritmo)
```

Se realiza un bucle principal que ajusta el parámetro beta y ejecuta el algoritmo para diferentes valores de beta.

- Lectura de datos:

```
filename = instance_name + '_input_nodes.txt'
with open(filename) as instance:
    # ... (lectura y construcción de nodos)
```

Lee los datos de instancia desde un archivo de texto.

- Cálculo de distancias: Esta función, llamada "haversine", calcula la distancia entre dos puntos en la superficie de la Tierra utilizando la fórmula de Haversine. Esta fórmula tiene en cuenta la latitud y longitud de ambos puntos en grados decimales y las convierte en radianes para realizar los cálculos. Luego, utilizando las diferencias en longitud

y latitud entre los puntos, calcula la distancia en kilómetros a lo largo de la superficie de una esfera idealizada de radio terrestre de 6371 kilómetros. Finalmente, devuelve esta distancia en kilómetros.

```
def haversine(iNodey, iNodex, jNodey, jNodex):
    """
    Calculate the great circle distance between two points
    on the earth (specified in decimal degrees)
    """
    # convert decimal degrees to radians
    iNodey, iNodex, jNodey, jNodex = map(radians, [iNodey, iNodex, jNodey, jNodex])
    # haversine formula
    dlon = jNodex - iNodex
    dlat = jNodey - iNodey
    a = sin(dlat/2)**2 + cos(iNodex) * cos(jNodex) * sin(dlon/2)**2
    c = 2 * asin(sqrt(a))
    # Radius of earth in kilometers is 6371
    km = 6371 * c
    return km
```

Fig. 25. Cálculo de distancia entre dos puntos.

- Generación de Rutas Iniciales:

```
# Construir las soluciones dummy
sol = Solution()
for node in nodes[1:]:
    # ... (construcción de rutas iniciales)
```

Seguido encontramos el algoritmo CWS-BRA, el bucle para aplicar mejora de rutas utilizando intercambio 2-opt, donde también nos arroja el gráfico con las rutas encontradas para finalmente presentar los resultados de las rutas mejoradas. Además, el código produce un gráfico que representa visualmente las rutas mejoradas utilizando el método 2-opt. El gráfico muestra las trayectorias de las rutas en un plano de coordenadas (latitud/longitud), lo que permite una comprensión visual de la distribución y el recorrido de las rutas optimizadas. Es decir, este bloque de código implementa un proceso heurístico de mejora (2-opt) para perfeccionar las rutas de distribución generadas previamente, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la planificación logística y reducir los costos operativos.

La incorporación de ventanas de tiempo en el modelo de diseño de rutas para la recolección de donaciones es esencial para abordar las restricciones temporales críticas asociadas con la logística de este proceso. La introducción de estas ventanas de tiempo permite reflejar de manera realista las limitaciones temporales dentro de las cuales los vehículos deben completar las recolecciones de cada donante. Este método facilita la optimización de las operaciones al garantizar que las rutas planificadas cumplan con las restricciones de tiempo específicas establecidas para cada punto de recolección. Al integrar la consideración de ventanas de tiempo en el diseño de rutas, se mejora la eficiencia operativa al garantizar que las recolecciones se realicen en momentos adecuados, minimizando posibles retrasos y asegurando la satisfacción del donante. Este enfoque no solo refleja la complejidad práctica del problema, sino que también contribuye a la generación de soluciones logísticas más robustas y viables en contextos del mundo real.

En el modelo de optimización, se definen varios conjuntos que son esenciales para la formulación del problema de diseño de rutas de recolección de donaciones del BAC. En primer lugar, el conjunto NODOS se declara un conjunto ordenado que abarca desde el nodo 0 hasta el nodo N. Este conjunto representa todos los puntos de interés en el problema, incluido el depósito (nodo 0) y los clientes (nodos 1 a N-1). El conjunto CLIENTES se define como un subconjunto ordenado de NODOS, excluyendo el depósito, y representa específicamente los nodos que corresponden a los clientes que requieren servicios de recolección de donaciones. Además, se introduce el conjunto *geo* sin restricciones específicas, que podría ser utilizado posteriormente para asociar información geográfica o de coordenadas a los nodos. El conjunto ARCOS se define como el conjunto de arcos dirigidos entre los nodos, excluyendo los arcos que conectan un nodo consigo mismo (arcos i-j donde i no es igual a j). Posteriormente, el conjunto VH representa el conjunto de vehículos disponibles para realizar las rutas de recolección.

$$NODOS := \{0..N\} \text{ Conjunto de nodos ordenados, incluye centro de distribución (CD)}. \quad (1)$$

$$CLIENTES := \{1..N - 1\} \text{ Conjunto de clientes a visitar ordenados}. \quad (2)$$

$Geo := \{Latitud, Longitud\}$  Conjunto de coordenadas geograficas. (3)

$ARCOS := \{i \in NODOS, j \in NODOS\} \ i \neq j.$  (4)

$VH := \{1 \dots 11\}$  Conjunto de vehículos. (5)

Estos parámetros y conjuntos se utilizan en el modelo de optimización para el diseño del proceso de planeación de rutas de recolección de donaciones del BAC. Inicialmente, el parámetro N representa el conjunto de nodos, cada uno asociado a una ubicación, como donantes, y se establece que N debe ser no negativo. El parámetro coord asigna coordenadas geográficas (LAT y LON) a cada nodo en el conjunto NODOS. La demanda de cada donante, representada por el parámetro D, se asocia a cada nodo y se especifica como un valor no negativo en kilogramos.

El parámetro C modela las distancias entre nodos distintos (i, j) en el conjunto de ARCOS, y se asegura de que estas distancias sean valores no negativos. La capacidad de cada camión se define mediante el parámetro CAP en el conjunto VH, garantizando que la capacidad sea un valor no negativo. El tiempo de servicio en cada cliente por estiba se especifica con el parámetro s, asegurando que sea no negativo, y el tiempo administrativo en cada cliente se modela mediante el parámetro tf, también no negativo.

La velocidad promedio de cada vehículo se representa con el parámetro VEL, mientras que los parámetros a y b definen las ventanas de tiempo, indicando el tiempo de inicio y cierre de estas ventanas para cada nodo en el conjunto NODOS. Es decir, el parámetro M establece un número positivo muy grande, conocido como "gran M", y se utiliza en restricciones para modelar condiciones lógicas en el problema de optimización.

$N \geq 0$ , representa el conjunto de nodos cada uno asociado a un donante. (6)

$coord \{NODOS, Geo\}$ , asignar las coordenadas geograficas de cada nodo. (7)

$D \in NODOS \geq 0$ , demanda del donante j dada en. [Kg] (8)

$C (i, j \in ARCOS) \geq 0$ ,  $i \neq j$  distancia entre los nodos distintos i, j en el conjunto de arcos. [Km] (9)

$CAP (v \in VH) \geq 0$ , capacidad del camión. [Kg] (10)

$S \geq 0$ , tiempo de servicio en cada nodo donante por cada estiba. [min] (11)

$tf \geq 0$ , tiempo administrativo en cada nodo donante. [min] (12)

$Vel \geq 0$ , velocidad promedio de cada vehículo. [Km/hr] (13)

$a (i \in NODOS) \geq 0$ , tiempo de inicio ventana de tiempo. [min] (14)

$b (i \in NODOS) \geq 0$ , tiempo de cierre de ventana de tiempo. [min] (15)

$M \geq 0$ , la gran M (16)

La variable de decisión X está definida como binaria y se encuentra indexada por los conjuntos ARCOS y VH, representando la presencia o ausencia de arcos entre los nodos en el problema de rutas de vehículos (VRP). La indexación abarca todos los pares distintos de nodos en el conjunto de nodos ARCOS y cada vehículo en el conjunto VH. La variable toma el valor de 1 si el vehículo realiza el recorrido desde el nodo origen hasta el nodo destino, y 0 en caso contrario. Esta variable juega un papel crucial en la formulación del modelo, determinando las conexiones entre nodos y vehículos en la solución óptima del problema de diseño de rutas de recolección de donaciones del BAC.

La variable de decisión adicional `w` se define como una variable continua no negativa, indexada por los conjuntos de nodos NODOS y vehículos VH. Representa el tiempo de inicio del servicio en cada nodo cuando es atendido por un vehículo específico. La variable `w` es esencial para modelar las restricciones de tiempo en el problema, garantizando que se cumplan las ventanas de tiempo asociadas con cada cliente.

$$X = \begin{cases} 1 & \text{si } (i,j) \in \text{ARCOS}, v \in \text{VH} \\ 0 & \text{e. o. c} \end{cases} \quad i \neq j \text{ la variable toma el valor de 1 si realiza el recorrido del nodo origen al nodo destino, o en otro caso.} \quad (17)$$

$$W_{(i,j) \in \text{NODOS}, v \in \text{VH}} \geq 0 \quad \text{el tiempo de inicio de servicio en cada nodo cuando es atendido por un vehículo en específico} \quad (18)$$

Se busca minimizar el costo total asociado con las rutas de recolección de donaciones del BAC. La expresión se compone de dos sumatorias anidadas sobre los conjuntos de nodos (i, j) en los arcos y el conjunto de vehículos (v). La función suma el producto de la distancia entre los nodos i y j, representada por C[i, j], y la variable binaria X[i, j, v], que toma el valor de 1 si el vehículo v se desplaza desde el nodo i al nodo j, y 0 en caso contrario.

$$\text{Min costo total} = \sum_{i,j \in \text{ARCOS}, v \in \text{VH}} C_{i,j} * X_{i,j,v} \quad (19)$$

Las restricciones en el modelo tienen como objetivo reflejar de manera precisa las características y limitaciones específicas del problema de diseño de rutas de recolección de donaciones del BAC. La restricción *salida* garantiza que cada cliente sea visitado exactamente una vez, controlando el flujo de salida de cada nodo cliente. La restricción *Capacidad* asegura que la capacidad de cada vehículo no sea sobrepasada, considerando las demandas de los clientes y las decisiones de rutas. Las restricciones relacionadas con los flujos de vehículos, tanto hacia como desde el depósito, controlan la salida y llegada de cada vehículo. Por otro lado, las restricciones de *Computa\_TW* y *Ventana\_a* y *Ventana\_b* gestionan las ventanas de tiempo, asegurando que los servicios a los clientes y el inicio de las rutas respeten las restricciones temporales establecidas. Finalmente, las restricciones *Flujo\_deposito1* y *Flujo\_deposito2* evitan flujos directos desde y hacia el depósito, garantizando la integridad del diseño de las rutas.

$$\text{R1: Salida vehiculos} \quad (20)$$

$$\sum_{\substack{j \in \text{NODOS}, \\ v \in \text{VH}}} X_{i,j,v} = 1, \forall i \in \text{CLIENTES}$$

$$\text{R2: Capacidad Vehiculo} \quad (21)$$

$$\sum_{\substack{i \in \text{CLIENTES}, \\ j \in \text{NODOS}}} X_{i,j,v} \leq \text{Cap}_v, \forall v \in \text{VH}, i \neq j$$

$$\text{R3: Flujo de llegada y salida} \quad (22)$$

$$\sum_{\substack{i \in \text{NODOS} \\ h \neq i}} X_{i,h,v} - \sum_{\substack{j \in \text{NODOS} \\ j \neq h}} X_{h,j,v} \leq 0, \forall h \in \text{CLIENTES}, v \in \text{VH}$$

$$\text{R4: Salida vehiculo del BAC} \quad (23)$$

$$\sum_{\substack{j \in \text{NODOS}, \\ j < N, j > 0}} X_{0,j,v} = 1$$

$$\text{R5: Llegada vehiculo del BAC} \quad (24)$$

$$\sum_{\substack{i \in \text{NODOS}, \\ i < N, i > 0}} X_{i,N,v} = 1$$

R6: Ventana de tiempo (25)

$$\frac{w_{i,v} + s * D_i + tf + C_{i,j}}{Vel} - M * (1 - X_{i,j,v}) \leq w_{j,v}, \forall i, j \in \text{ARCOS}, v \in \text{VH}, i \neq j$$

R7: Cumplir ventana de apertura (26)

$$a_i \leq w_{i,v}, \forall v \in \text{VH}, i \in \text{NODOS}$$

R8: Cumplir ventana de cierre (27)

$$w_{i,v} \leq b_i, \forall v \in \text{VH}, i \in \text{NODOS}$$

R9: Evitar flujos directos desde el deposito (28)

$$\sum_{v \in \text{VH}} X_{0,N,v} = 0$$

R10: Evitar flujos directos hacia el deposito (29)

$$\sum_{v \in \text{VH}} X_{N,0,v} = 0$$

## B. Validación del diseño propuesto

En el proceso de validación del diseño propuesto, se seleccionaron 100 puntos de recolección de donaciones, cada uno acompañado de su respectiva demanda, representada por la cantidad de kilogramos recolectados en cada punto. Para iniciar la validación, se siguió el procedimiento detallado en el apartado anterior. Se recopilaron las coordenadas geográficas de estas ubicaciones junto con sus respectivas demandas, configurando así el entorno para la ejecución del diseño propuesto, el cual involucra el proceso de optimización de rutas logísticas para la eficiente recolección de donaciones en base a los datos recolectados.

En la Fig. 30 se presentan los resultados obtenidos durante la validación. El mejor valor de beta para la optimización resultó ser 0.18, logrando un costo total de 291.68 kilómetros. Estos resultados reflejan la eficiencia alcanzada en la recolección de donaciones a través de la implementación de rutas optimizadas. El análisis detallado de las rutas óptimas muestra la distribución de los puntos de recolección en itinerarios específicos. Por ejemplo, la ruta identificada como 1 recorre los puntos 0-15-4-35-11-48-60-5-37-34-74-59-70-36-23-32-50-91-67-31-2-16-27-52-0, con un costo de 18.42 kilómetros. Cada ruta exhibe los puntos de recolección visitados junto con su respectivo costo. El cálculo del GAP, que evidencia la diferencia porcentual respecto a un valor de referencia, revela una mejora del 81.95%. Esta diferencia refleja el alto nivel de optimización logrado en la distribución de las rutas para la recolección eficiente de donaciones, para una mejor visualización se incluye el pseudocódigo:

```

EL MEJOR BETA DE TODOS FUE: 0.18
EL MEJOR COSTO DE TODOS FUE: 291.6834977672057
LA MEJOR RUTA DE TODAS ES:
Route: 0-15-4-35-11-48-60-5-37-34-74-59-70-36-23-32-50-91-67-31-2-16-27-52-0 || cost =
18.42
Route:
0-26-24-19-8-7-57-20-55-58-66-46-41-71-75-44-69-87-63-54-21-92-84-12-61-42-40-43-18-22-45
-13-9-72-0 || cost = 47.96
Route: 0-14-49-88-1-10-6-62-83-85-65-73-0 || cost = 6.68
Route: 0-80-30-86-3-17-89-33-29-39-56-47-25-51-82-38-53-28-68-0 || cost = 185.23
Route: 0-79-64-76-90-77-78-81-93-0 || cost = 10.34
Route: 0-94-0 || cost = 2.94
Route: 0-95-0 || cost = 5.80
Route: 0-96-0 || cost = 3.65
Route: 0-97-0 || cost = 4.93
Route: 0-98-0 || cost = 3.53
Route: 0-99-0 || cost = 2.21
GAP= -81.9502786029257

```

Fig. 26. Resultados de las rutas a realizar.

En la Fig.19 se evidencia el análisis de la asignación de los 100 puntos a recolectar entre los 11 vehículos revela un proceso de distribución que tiene en cuenta tanto la capacidad de carga de cada vehículo, fijada en 4700 unidades, como la proximidad geográfica de los puntos. Se observa una distribución eficiente en la mayoría de los vehículos, donde se asignan puntos cercanos

entre sí para minimizar la distancia total recorrida. Sin embargo, este análisis visual se desarrolla solamente con el Método de los ahorros sin ninguna mejora heurística.

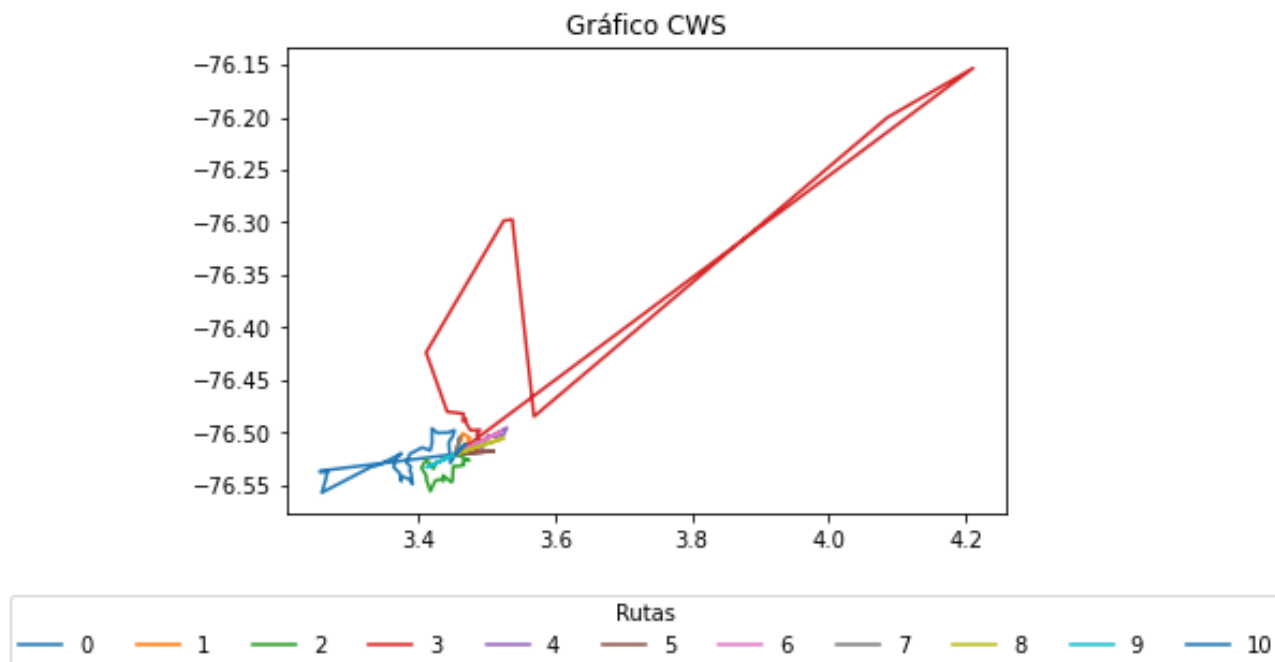


Fig. 27. Rutas con el Método de los Ahorros.

La visualización gráfica de las rutas optimizadas utilizando la heurística de mejora 2-opt refleja una clara mejora en la eficiencia de las rutas de recolección de donaciones. Este método de mejora local ha permitido optimizar las rutas previamente establecidas, reduciendo algunos cruces realizados por los vehículos. En la Fig. 32 se observa una reorganización y reajuste en los recorridos de los vehículos, donde se han intercambiado segmentos de las rutas para disminuir la distancia total.

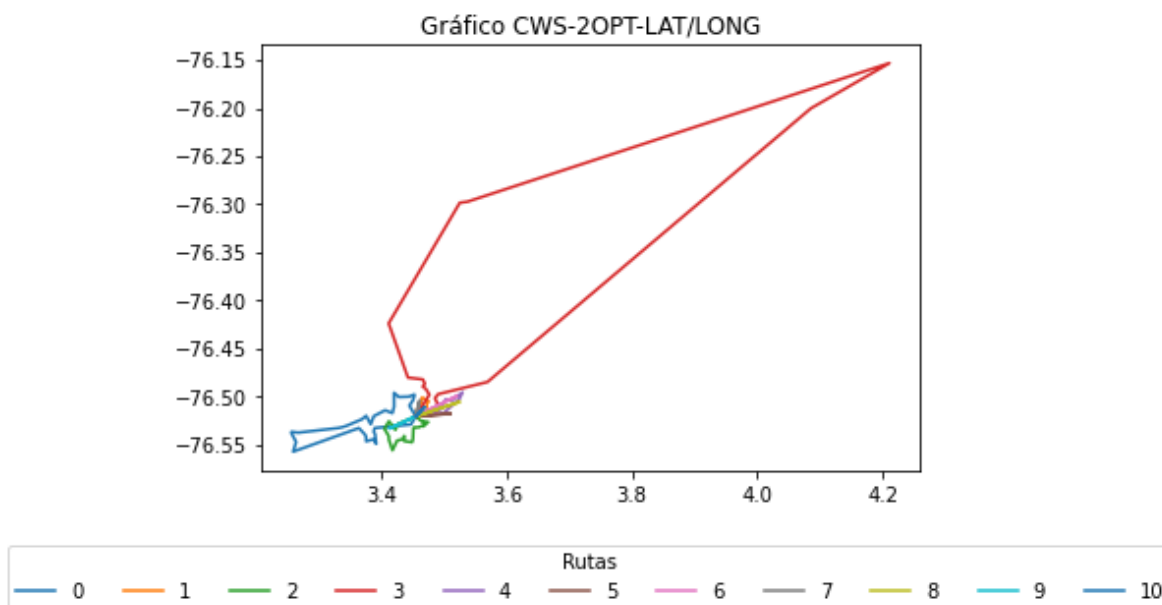


Fig. 28. Rutas del Método de los Ahorros con la heurística de Mejora 2-Opt.

La visualización revela una disposición más cohesiva y mejorada de las rutas, donde se evitan recorridos innecesarios o subóptimos, evidenciando una optimización significativa en la logística de recolección de donaciones. Esta mejora en las rutas

sugiere una mejor utilización de los recursos vehiculares y una reducción notable en los costos operativos, reflejando un avance significativo hacia una estrategia logística más eficiente y económica.

En la TABLA IX se proporciona detalles sobre la distribución de donaciones de alimentos por parte de varios donantes a el Banco de Alimentos de Cali, organizado por vehículo de transporte. Cada vehículo recoge donaciones de un cierto número de donantes y realiza un recorrido para recolectar las donaciones.

Los dos primeros campos, "N° donantes" y "Distancia ruta método ahorros [Km]", muestran la cantidad de donantes contribuyentes y la distancia total recorrida por cada vehículo, respectivamente, al utilizar el método de ruta que optimiza los ahorros en términos de distancia. Sin embargo, el tercer campo, "Distancia ruta considerando TW [Km]", añade una capa adicional de complejidad al considerar las ventanas de tiempo (TW) para la entrega de las donaciones. Esto puede significar que, aunque el vehículo pueda haber optimizado su ruta en términos de distancia pura, debe ajustarse a ciertos horarios para satisfacer las restricciones de tiempo de los donantes o del banco de alimentos. Por lo tanto, esta columna muestra la distancia total recorrida por cada vehículo cuando se tienen en cuenta estas restricciones de tiempo.

Al analizar la tabla en su totalidad, se puede observar que la distancia total recorrida aumenta significativamente cuando se consideran las ventanas de tiempo, lo que indica que el cumplimiento de estos horarios impone una carga adicional en los recorridos de los vehículos. Esta información es crucial para la planificación logística y puede ayudar a optimizar futuras operaciones de recolección y entrega de alimentos para el banco de alimentos.

*TABLA IX.  
RESUMEN DE RESULTADOS DIARIO POR VEHICULO*

<b>Vehículo</b>	<b>N° donantes</b>	<b>Distancia ruta método ahorros [Km]</b>	<b>Distancia ruta considerando TW [Km]</b>
1	31	47,32	69,62
2	11	6,32	28,62
3	23	18,66	40,96
4	19	185,23	207,53
5	10	16,43	38,73
6	1	22,94	22,94
7	1	50,80	50,8
8	1	33,65	33,65
9	1	42,93	42,93
10	1	36,53	36,53
11	1	24,21	24,21
Total	100	485,02	596,52

En esta fase de validación, se examina la metodología propuesta a través de tres escenarios distintos para demostrar su eficacia en abordar el problema de investigación. En el primer escenario, se emplea el método de ahorros para la optimización de rutas. En el segundo escenario, se enfoca exclusivamente en la consideración de las ventanas de tiempo para las recolecciones. Por último, en el tercer escenario, se proyecta una situación hipotética en la que se prevé un aumento en el número de donantes en el futuro.

<b>Escenario</b>	<b>Distancia</b>	<b>Variación</b>
1	485,02	0%
2	596,90	23%
3	616,03	27%

*Fig. 29. Comparación de Escenarios.*

La tabla proporciona una comparación de tres escenarios diferentes en términos de la distancia recorrida por los vehículos. En el primer escenario, la distancia es de 485,02 kilómetros, que sirve como punto de referencia con una variación del 0%. Sin embargo, en el segundo escenario, la distancia aumenta significativamente a 596,90 kilómetros, representando un incremento del 23% respecto al primer escenario. Este aumento se incrementa aún más en el tercer escenario, donde la distancia alcanza los 616,03 kilómetros, marcando un incremento del 27% en comparación con el primer escenario. Estos resultados destacan cómo diferentes consideraciones, como las ventanas de tiempo y el aumento en el número de donantes, pueden influir en la distancia total recorrida por los vehículos de recolección de donaciones.

Por consiguiente, el método de los ahorros junto con el algoritmo 2-opt serían una la opción seleccionada para la optimización del ruteo de recolección de donaciones del Banco de Alimentos de Cali debido a diversas razones y sus comparaciones con otras heurísticas con las ventanas de tiempo:

- **Eficiencia en la Reducción de Costos:** La combinación del método de los ahorros con el algoritmo 2-opt permite una optimización inicial sólida utilizando ahorros de distancia y, posteriormente, mejora las soluciones obtenidas para reducir aún más los costos. Esta combinación suele generar soluciones de alta calidad al reducir eficientemente la distancia total recorrida por los vehículos.
- **Adaptabilidad a Restricciones Específicas:** El método de los ahorros junto con 2-opt pueden acomodar una variedad de restricciones, como ventanas de tiempo, múltiples vehículos o depósitos, y capacidades de vehículos. Esta flexibilidad los hace aptos para adaptarse a las necesidades logísticas específicas del Banco de Alimentos de Cali.
- **Combinación de Eficiencia y Mejora de Soluciones:** Mientras que el método de los ahorros permite la generación rápida de soluciones iniciales, el algoritmo 2-opt se enfoca en mejorar las soluciones existentes mediante el intercambio de segmentos de rutas. Esta combinación ofrece un equilibrio entre eficiencia computacional y mejora continua de las soluciones, resultando en soluciones óptimas en términos de distancia recorrida.

Después de mantener comunicaciones con el jefe de logística del Banco de Alimentos de Cali, se ha determinado que la implementación del método de ahorros junto con la heurística de mejora es la opción más adecuada para el BAC. Esta elección se fundamenta en el hecho de que la mayoría de los donantes no establecen un horario específico para la recolección, y cuando lo hacen, generalmente se encuentran fuera de la ciudad. Además, estas donaciones suelen ser de gran volumen, lo que significa que solo un vehículo se destina a esa ruta, atendiendo a un único donante. Por lo tanto, esta estrategia no afecta negativamente a otras recolecciones, permitiendo así una recolección eficiente de los recursos y una optimización en la logística de transporte.

En resumen, el método de los ahorros con 2-opt se destaca por su eficiencia y adaptabilidad para problemas logísticos, como los enfoques basados en ventanas de tiempo, pueden ser más adecuadas para problemas con restricciones específicas o cuando se requieren soluciones óptimas en situaciones complejas. La elección dependerá de las necesidades específicas del Banco de Alimentos de Cali y de la importancia relativa entre la calidad de las soluciones y la eficiencia computacional.

En el análisis de la optimización de la recolección de donaciones del Banco de Alimentos de Cali, se consideraron tres indicadores claves de desempeño (KPIs) fundamentales. El tiempo de planeación de las rutas, tras la introducción del método de los ahorros y la heurística 2-opt, ha sido un elemento central. Una reducción en este tiempo podría indicar una mejora en la eficiencia del proceso logístico. Además, se ha evaluado la eficiencia de recolección, observando cómo estas estrategias han contribuido a maximizar la cantidad de donaciones recolectadas en rutas óptimas. Por último, se ha analizado el impacto en los costos por flota, examinando posibles reducciones de gastos operativos en el mantenimiento y operación de la flota de vehículos utilizados en el proceso de recolección. Estos KPIs brindan una perspectiva integral sobre el rendimiento y la efectividad de las nuevas estrategias implementadas.

TABLA X.  
TABLA DE KPIs - MEJORA

Variable	Actualidad	Meta	Después	Variación
Tiempo de planeación de las rutas.	5 a 7 días	< 2 días	1 día	6 días
Eficiencia de recolección	22,87%	>50%	41,32%	18,45%

Costos por Flota	\$ 1.971,783	Reducir mínimo un 10% el costo por la flota	\$1.672,701	\$ 299,081
------------------	--------------	---	-------------	------------

La finalidad de esta etapa es detallar como la solución planteada influye sobre el proceso de planeación de las rutas. De este modo es posible realizar una comparación de la tabla de KPI's antes de la implementación y una vez ya implementados, logrando evidenciar una clara mejoría. El tiempo de planificación de las rutas ha experimentado una notable reducción de 85,71%, permitiendo que el proceso sea más ágil y eficiente. La eficiencia de recolección ha mejorado considerablemente, alcanzando un 41,32% y mostrando un incremento del 55,34% con respecto al valor inicial lo que significa para la empresa poder abarcar más donantes y así suplir a las fundaciones en espera o incluso proveer diferentes alimentos a sus beneficiarios. Además, los costos por flota se han reducido en un 15,2%, cumpliendo con la meta de disminuir al menos un 10% los gastos asociados a la flota de vehículos utilizados en la recolección. Estos cambios evidencian el impacto positivo de las estrategias implementadas en la optimización y eficiencia del proceso de recolección de donaciones del Banco de Alimentos de Cali.

## VI. CONTROLAR

### A. Medición de los Impactos

El análisis financiero se lleva a cabo en el Anexo 16 como una herramienta esencial para la evaluación estratégica de proyectos. En primer lugar, se realizó el cálculo de la nómina relacionada con el proceso logístico. Esta nómina mensual está conformada por dos operarios del proceso y un supervisor, pero para este primer mes se añadirán dos profesores y cuatro estudiantes que brindarán asesoría para la implementación del proyecto (Figura 21). Cada profesor percibirá un salario hipotético de \$10,000,000 COP, mientras que los estudiantes recibirán un salario supuesto de \$2,000,000 mensuales por estudiante. El supervisor tendrá un salario de \$4,000,000, y finalmente, cada operario recibirá el salario mínimo mensual de \$1,160,000 COP.

<b>SALARIOS + COTOS ASOCIADOS</b>	<b>3.184.766</b>	<b>13.065.280</b>	<b>3.402.519</b>	<b>4.545.441</b>
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>	<b>6.369.532</b>	<b>13.065.280</b>	<b>13.610.076</b>	<b>4.545.441</b>

Fig. 30. Análisis Financiero - Nomina.

Después de haber realizado el respectivo cálculo de la nómina total necesaria para el proyecto, se muestran a continuación en la Figura 22, dos casos. Primero, el total necesario mensual para mantener el proceso, segundo, el costo total de la nómina, el primer mes que se pone en marcha el proyecto, en este caso, un proceso de enrutamiento dentro de las instalaciones del Banco de Alimento de Cali.

Total Nomina Mensual del Proyecto	10.914.973
Total Nomina Puesta en Marcha	37.590.329

Fig. 31. Total Nómina Inicial y en Marcha.

Después de examinar la figura, explicaremos la fuente de los dos valores: \$10,914,973 y \$37,590,329. El primer valor se derivó de la suma de la nómina total de los 2 operarios, junto con la suma de la nómina del supervisor. Solo se consideraron estas nóminas porque este valor representa aproximadamente el costo mensual de mantener el proyecto en funcionamiento adecuado en términos de nómina. Sin embargo, este valor podría variar debido a cambios en las normativas, políticas del país o reglas internas de la empresa.

El segundo valor se calcula a partir de la suma mencionada anteriormente, pero esta vez se agrega el costo de contratar a un profesor de la Universidad Javeriana de Cali, con amplia experiencia en el tema, además de cuatro estudiantes de la misma institución con un sueldo de prácticas. Se determinó el valor de las horas tanto para los profesores como para los estudiantes, multiplicándolas por la cantidad de horas al mes dedicadas al proyecto, y luego se sumó a la nómina mensual de los operarios y el supervisor. Es importante tener en cuenta que ni los profesores ni los estudiantes están presentes todos los días del mes ni dedican jornadas completas al proyecto, por lo que se realizó su cálculo en horas.

En la Fig. 23 se muestra detalladamente cada uno de los apartados de costos fijos y su respectivo valor, asimismo se calculó el total de costos fijos al mes y al año si se implementara el proceso propuesto en el proyecto.

Sueldo Básico Mano de Obra directa al mes, 3 operarios	\$ 3.400.000
Prestaciones Sociales y parafiscales al mes	\$ 2.969.532
Teléfono al mes	\$ 180.000
Serv. Públicos (agua, energía) al mes	\$ 7.000.000
Transporte y Fletes al mes	\$ 240.000
Costo Arrendamiento al mes	\$ 5.000.000
Mantenimiento y Misceláneos al mes	\$ 500.000
Depreciaciones al mes	\$ 3.673.333
<b>Total Costos Fijos al mes</b>	<b>\$ 22.962.865</b>
<b>Total Costos Fijos al año</b>	<b>\$ 275.554.384</b>

Fig. 32. Costos Fijos anuales.

Adicionalmente, se deben evidenciar otros impactos como el social y el ambiental, ya que este proyecto busca además de reducir tiempos, costos y recolectar más donaciones, generar un mayor beneficio en la comunidad. En cuanto a los impactos ambientales, podemos ver que mensualmente cada vehículo del Banco de alimentos de Cali recorre un aproximado de 1 200 km, llegando a consumir alrededor de 38,5 galones de combustible por recorrido, por lo tanto, el consumo total de la flota será de un aproximado de 423,8 galones al mes o lo equivalente a 16 042.5 litros. Teniendo en cuenta estas cifras, un litro de combustible produce 2,68 kg de CO<sub>2</sub>, por lo cual los 16 042,5 litros consumidos al mes por la flota del BAC generarían alrededor de 43 958 kg de CO<sub>2</sub> y como bien sabemos la huella de carbono de la gasolina tiene impactos significativos en el medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero.

La principal contribución de la gasolina al impacto ambiental es a través de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante su combustión en motores de vehículos. El CO<sub>2</sub> es un gas de efecto invernadero que atrapa el calor en la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático. Otro impacto es que debido a la quema de gasolina en motores de combustión interna también emite contaminantes atmosféricos como óxidos de nitrógeno (NOx), partículas finas y compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos contaminantes pueden tener impactos negativos en la calidad del aire y la salud humana, contribuyendo a problemas como la formación de smog, problemas respiratorios y otros efectos adversos para la salud. Entre otros impactos que afectan la población.

La medición de esta huella tiene en cuenta diversas etapas, y se expresa comúnmente en términos de equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La cantidad exacta de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la gasolina puede variar según factores como la fuente de petróleo crudo, la eficiencia de la refinación, los métodos de transporte y otros. Sin embargo, en general, el uso de gasolina contribuye significativamente a las emisiones totales de gases de efecto invernadero a nivel mundial. por lo tanto, al implementar la propuesta se podrían recorrer más puntos que al ser distancias más cortas el consumo de combustible se reduce en un 15% y la huella de carbono también disminuirá, pasando de producir 43 958 kg de CO<sub>2</sub> a 37 364 kg de CO<sub>2</sub> lo que ayudaría a mitigar impactos ambientales negativos asociados con el uso de gasolina.

En cuanto al impacto social, al aumentar la eficiencia en la recolección se podrán recoger más donaciones, lo que influirá en la reducción de la inseguridad alimentaria, ya que se espera que la cantidad de donaciones aumente al menos un 10% y con esto llegar a más fundaciones o más personas que lo necesiten, lo que también se traduce en reducir la desnutrición y mejoras en la salud, el cual no está en el alcance del proyecto, pero se está viendo impactado de una forma positiva.

Esta mejora permitirá reducir el desperdicio de alimentos, pues se podrán rescatar más alimentos que normalmente son desperdiciados, ya sea debido a excedentes de producción, fecha de vencimiento cercana, daños en el embalaje o productos de alta maduración que no se lograban a recoger a tiempo por los altos tiempos de espera al diseñar una nueva ruta. Aportando así al uso más eficiente de los recursos alimenticios. Como es de saber, los bancos de alimentos responden rápidamente a situaciones de crisis como desastres naturales o emergencias económicas y el tener más recursos les permitirá proporcionar más alimentos a las personas afectadas y socorrer en caso de una situación de emergencia.

Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta es que el Banco de Alimentos de Cali debe seguir implementando estrategias para concientizar a los donantes, ya que de acuerdo con el jefe de logística, las empresas que realizan donaciones los

buscan no como una prioridad, sino cuando necesitan salir de la mercancía para liberar espacios de almacenamiento o donan productos en mal estado no aptos para el consumo los cuales podrían afectar la salud de los beneficiarios e involucrar al BAC en problemas graves.

## *B. Estandarización de la Solución*

Para la estandarización de la solución según las necesidades vistas por el Banco de Alimentos de Cali y para garantizar un buen empleo del diseño expuesto, hemos desarrollado el siguiente manual del usuario, el cual cumple la función de guiar en el uso de sus funciones:

### **Manual del diseño del proceso de la planeación de las rutas de las donaciones del Banco de Alimentos de Cali**

**Código: POE -01**

**Versión: 1.0**

#### **Introducción**

El presente manual tiene como objetivo describir el uso de las herramientas utilizadas en el proyecto de diseño de la planeación de las rutas de las donaciones del Banco de Alimentos de Cali para que los tomadores de decisiones interactúen con ellas y comprendan mejor su funcionamiento. Estas herramientas fueron seleccionadas para optimizar el proceso de planeación de las rutas, reduciendo costos y tiempos de entrega.

#### **Objetivo**

El objetivo es desarrollar un algoritmo de optimización de rutas para la recolección de donaciones del Banco de Alimentos de Cali, con el fin de reducir los tiempos de viaje.

#### **Alcance:**

Este procedimiento aplica para el proceso de la planeación de las rutas de las donaciones del BAC, que se realiza mensualmente por el coordinador de logística y el analista de rutas, con el apoyo de las herramientas informáticas de geo codificación y optimización de rutas. Cabe aclarar que esté no aplica para el proceso de ejecución de las rutas, que se realiza diariamente por los conductores y los auxiliares de carga, ni para el proceso de seguimiento y control de las rutas, que se realiza semanalmente por el coordinador de logística y el supervisor de calidad.

#### **Responsabilidad:**

- El coordinador de logística es el responsable de liderar, coordinar y supervisar el proceso de la planeación de las rutas de las donaciones del BAC, así como de validar y aprobar el diseño de las rutas propuesto por el analista de rutas.
- El analista de rutas se encarga de analizar la demanda, la oferta y las restricciones de las rutas de las donaciones del BAC, de diseñar y proponer las rutas óptimas usando herramientas informáticas de georreferenciación.
- El coordinador de logística y el analista de rutas deben tener conocimientos y experiencia en logística, transporte, distribución, georreferenciación y optimización de rutas, así como en el manejo de las herramientas informáticas que se usan para el diseño de las rutas.

#### **Definición:**

- Ruta: es el recorrido que se realiza desde el punto de origen (BAC) hasta los puntos de destino (organizaciones sociales beneficiarias) y de regreso al punto de origen, transportando y entregando los alimentos donados.
- Geo codificación: es el proceso de asignar coordenadas geográficas (latitud y longitud) a una dirección o ubicación, usando un sistema de referencia espacial.
- Optimización de rutas: es el proceso de encontrar la mejor combinación de rutas que minimice el tiempo, el costo y la distancia recorrida, y que maximice la calidad y la satisfacción del servicio, teniendo en cuenta la demanda, la oferta y las restricciones de las rutas.
- Herramientas informáticas: son los programas o aplicaciones que se usan para facilitar el diseño de las rutas, como Google My Maps, Google Sheets y Python.

## Herramientas utilizadas

*Las herramientas utilizadas en el proyecto fueron las siguientes:*

**Algoritmos de optimización:** se utilizaron métodos de ahorros con mejoras para generar las rutas óptimas para la recolección de las donaciones.

**Software de planificación de rutas:** se utilizó para implementar las rutas óptimas generadas por los algoritmos.

### Uso de las herramientas:

**Python:** Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado, dinámico y multiplataforma. Se caracteriza por su sintaxis clara y legible, y por su versatilidad para adaptarse a diferentes paradigmas y aplicaciones. En este caso, Python se utiliza para el desarrollo web, el análisis de datos, el aprendizaje automático y la automatización.

Para utilizar este software una vez descargado e instalado el programa, se pasa a la creación de un Script:

Se abre el editor de código o IDE preferido y se crea un nuevo archivo con la extensión ".py" (por ejemplo, mi\_programa.py). Este será el script de Python. Seguidamente se escribe el código en el archivo creado. Y finalmente se ejecuta el código creado.

**Geo codificación:** Geo codificación en Google Sheets es el proceso de convertir direcciones en coordenadas geográficas (latitud y longitud) o viceversa, usando una hoja de cálculo de Google. También tendremos una columna para cada coordenada geográfica, una para guardar la latitud y otra para la longitud.

Lo siguiente que se debe hacer es crear mediante código un pequeño menú, que al seleccionar ejecute una función propia llamada geo codificar. El cual ya fue creado por el equipo entonces lo que resta por hacer es recorrer todas las filas a partir de la segunda y utilizar el geocoder de Google Maps para enviarle las direcciones en texto, y del resultado que nos devuelva, extraer la parte que nos interesa, que es la latitud y la longitud.

Para utilizar el software de planificación de rutas, se debe primero importar el modelo de red generado por el Geo codificación. Luego, se deben definir los parámetros de la ruta, como la capacidad de los vehículos o las horas de trabajo disponibles. Finalmente, se debe ejecutar el software para generar las rutas. El manual de uso de las herramientas utilizadas proporciona una descripción detallada de cómo utilizar las herramientas para diseñar la planeación de las rutas de las donaciones del Banco de Alimentos de Cali. Las herramientas utilizadas son efectivas para optimizar el proceso de planeación de las rutas, reduciendo costos y tiempos de entrega.

### Desarrollo:

El desarrollo del procedimiento se divide en las siguientes fases:

#### Fase 1: Análisis de la demanda

En esta fase, el analista de rutas realiza el análisis de la demanda de las rutas, es decir, la cantidad y el tipo de alimentos que se deben recolectar a cada organización social beneficiaria, así como la frecuencia y el horario de entrega. Para ello, sigue los siguientes pasos:

1. Accede al sistema de información del BAC y consulta el reporte de la demanda de las rutas, que contiene la siguiente información: nombre, dirección, teléfono, contacto, cantidad y tipo de alimentos solicitados, frecuencia y horario de entrega de cada organización donante.
2. Descarga el reporte de la demanda de las rutas en formato Excel y guárdalo en el computador con el nombre "Demanda Rutas BAC".
3. Abre el archivo "Demanda Rutas BAC" y verifica que la información sea completa, consistente y actualizada. Si se encuentra algún error, omisión o inconsistencia, se deberá comunicar con el coordinador de logística para corregirlo.
4. Orden del archivo "Demanda Rutas BAC" por frecuencia de entrega, de mayor a menor, y por tipo de alimento, no perecedero a perecedero. Esto permitirá priorizar las rutas según la urgencia y la durabilidad de los alimentos.

#### Fase 2: Ingreso de datos al geo codificador:

Con la nueva dirección del donante se procede a ingresarla a la hoja de cálculo de Google Sheets, es decir, al geo-coding el cual contiene un código de programación que nos arroja las coordenadas en latitud y longitud para después correr el código.

### Fase 3: Asignación de rutas

Posterior a la realización de las anteriores fases, con los datos ya seleccionados según el interés y orden, se procede a ingresar el archivo que contiene las coordenadas, el cual debe estar en formato texto (.txt), ya que es el formato que corre el programa de Python, para finalmente correr el algoritmo y que brinde la solución, el cual nos arrojará la ruta con los kilómetros recorridos.

#### Uso de Python:

Para la implementación del algoritmo seguimos el paso anterior de asignación de rutas, ingresamos los datos en formato texto .txt al programa previamente instalado en el computador.

Este manual del usuario proporciona una guía paso a paso para utilizar un algoritmo implementado en Python. El algoritmo está diseñado para procesar datos contenidos en un archivo de texto con un formato específico y realizar ciertas operaciones según la lógica del algoritmo, por tal motivo se sugiere seguir las instrucciones detalladas a continuación para utilizar el algoritmo de manera efectiva:

**Requisitos previos:** antes de utilizar el algoritmo, asegúrate de tener instalado Python en tu sistema. Puedes descargar e instalar Python desde tu página de preferencia siguiendo las instrucciones proporcionadas en el sitio web oficial.

**Paso 1, preparación del archivo de texto:** el algoritmo requiere que los datos de entrada estén en un archivo de texto con un formato específico, con latitud, longitud y demanda. Asegúrate de preparar este archivo antes de ejecutar el algoritmo.

**Paso 2, guardar el archivo de texto:** una vez que hayas preparado el archivo de texto con los datos de entrada en el formato correcto, guárdalo en una ubicación accesible en tu sistema. Recuerda el nombre y la ubicación exactos del archivo de texto, ya que necesitarás esta información para ejecutar el algoritmo en el paso siguiente.

**Paso 3, ejecución del algoritmo:** abre tu entorno de desarrollo de Python (por ejemplo, Spyder, Jupyter Notebook o cualquier otro editor de código). Luego, abre el archivo que contiene la implementación del algoritmo. Dentro del código del algoritmo, busca la sección donde se define el nombre del archivo de texto que contiene los datos de entrada.

```
filename = instance_name + '_input_nodes.txt'
```

Asegúrate de que el nombre del archivo coincida exactamente con el nombre y la ubicación del archivo que guardaste en el Paso 2. Una vez que hayas verificado el nombre del archivo de texto en el código, ejecuta el script de Python. El algoritmo procesará los datos de entrada del archivo de texto y realizará las operaciones especificadas en la implementación del algoritmo.

**Paso 4, revisión de los resultados:** después de que el algoritmo haya terminado de ejecutarse, revisa los resultados generados. Dependiendo de la lógica del algoritmo, los resultados pueden ser desplegados en la consola de salida donde se suministra los nodos a visitar por cada vehículo, la cantidad de kilómetros recorridos y una gráfica de donde se evidencia las rutas a recorrer.

#### Nota:

- Asegúrese de comprender completamente el proceso de recolección de datos y los requisitos de formato del archivo de texto antes de intentar ejecutar el algoritmo. Los errores en el formato del archivo pueden conducir a resultados incorrectos o a fallos en la ejecución del código.

#### Planes de control adicionales

Además de los planes de control descritos en el manual, se pueden aplicar los siguientes planes de control, porque estos planes de control ayudarán a garantizar que la planeación de las rutas sea efectiva y que se cumplan los objetivos del Banco de Alimentos de Cali.

**Revisión mensual de las rutas:** Se debe revisar mensualmente las rutas para detectar posibles desviaciones de la planificación.

**Auditoría anual de las rutas:** Se debe realizar una auditoría anual de las rutas para verificar que se cumplen los objetivos de la planeación.

**Implementación de un sistema de seguimiento de las rutas:** Se debe implementar un sistema de seguimiento de las rutas para monitorear el progreso de las entregas.

Para el Banco de Alimentos de Cali, se pueden aplicar los siguientes planes de control específicos:

**Revisión de la capacidad de los vehículos:** Se debe revisar mensualmente la capacidad de los vehículos para verificar que se ajusta a las necesidades de las entregas.

**Revisión de los tiempos de entrega:** Se debe revisar mensualmente los tiempos de entrega para verificar que se cumplen los objetivos del Banco de Alimentos de Cali.

**Revisión de la satisfacción de los beneficiarios:** Se debe realizar una encuesta anual a los beneficiarios para verificar su satisfacción con el servicio de entrega de donaciones. Estos planes de control ayudarán a garantizar que el Banco de Alimentos de Cali pueda brindar un servicio de entrega de donaciones eficiente y eficaz.

El siguiente diagrama de flujo representa el nuevo proceso de planeación de rutas del Banco de Alimentos de Cali. El proceso se ha diseñado para ser más eficiente y eficaz, cumpliendo con los objetivos de la organización y de lo planteado alrededor de todo el documento. El proceso comienza con la recopilación de datos de los puntos de entrega, la capacidad de los vehículos, los puntos de recolección y las restricciones de estos; los datos se analizan para determinar las rutas óptimas, según lo arrojado por Python. Para finalizar las rutas óptimas se implementan en el sistema de planificación de rutas del Banco.

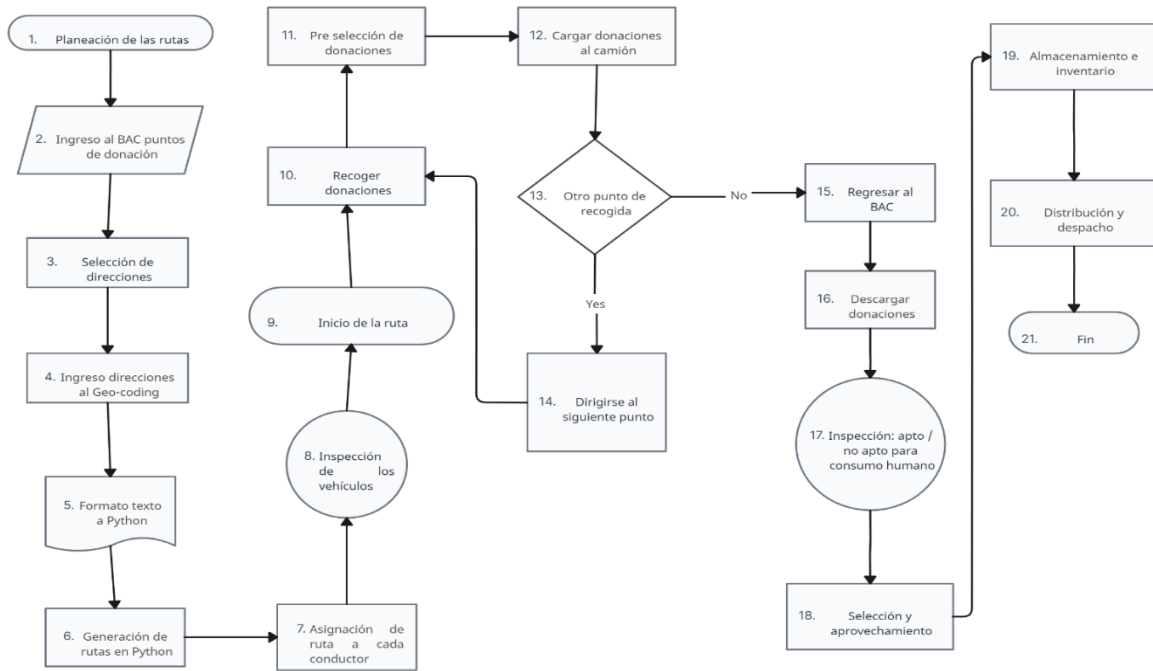


Fig. 33. Diagrama de flujo después del diseño del proceso de las rutas del BAC.

### C. Conclusiones

Después de haber identificado una oportunidad de mejora en el BAC, en donde se necesitaba diseñar el proceso de planeación de rutas, se inició un proceso de investigación literaria, un análisis por medio de herramientas que nos ayudaron a identificar las causas del problema, herramientas para la toma de decisiones, entre otras, se logró proponer un modelo, como se dijo anteriormente el cual consiste en un sistema de gestión de ruteo semi automatizado, que permite optimizar el tiempo de planeación de las rutas de recolección vinculando al método de ahorro y 2-opt, una vez probado estos métodos en 100 puntos de recolección se pudo evidenciar que el desempeño de los indicadores mejoró notablemente.

La planificación de rutas ahora requiere significativamente menos tiempo, con una reducción notable del 85,71%, lo que ha agilizado y optimizado el proceso. La eficiencia en la recolección ha experimentado una mejora considerable, alcanzando un aumento del 41,32%, representando un incremento del 55,34% en comparación con los valores iniciales. Además, los costos asociados a la flota se han reducido en un 15,2%, logrando superar la meta establecida de disminuir al menos un 10% de los gastos relacionados con los vehículos utilizados en la recolección.

Lo que significa también que el sistema de ruteo semiautomático ha demostrado ser una herramienta eficiente para la asignación de rutas en comparación con métodos manuales, ha permitido optimizar el tiempo empleado en la creación de rutas, liberando recursos para otras tareas importantes, por otro lado, también permite una reducción significativa de errores humanos en la asignación y planificación de rutas.

El Ahorro de Recursos ha llevado a una asignación más eficiente, por ende, optimizando la flota de vehículos y reduciendo los costos asociados, así como observando una disminución en los costos operativos derivados de la gestión manual de rutas. Otro punto importante es que este sistema ha demostrado ser adaptable a cambios en la demanda y fácilmente escalable para satisfacer nuevas necesidades y una respuesta ágil a cambios imprevistos.

Finalmente, pero no menos importante, al mejorar toda la planeación, se logrará recoger más donaciones, lo que permitirá beneficiar a muchas más personas, reduciendo así la inseguridad alimentaria. El haber logrado todo lo mencionado anteriormente será de gran ayuda, ya que la recolección es una de sus principales actividades y la que más estaba causando retrasos e inconvenientes, sabemos que no soluciona el problema completamente, debido a que hay diferentes factores que también influyen en estos retrasos, como el que el donante no está listo a tiempo, o entregan productos en mal estado que deben ser preseleccionados rigurosamente, pero es un gran avance para el Banco de Alimentos de Cali.

#### *D. Recomendaciones*

Como recomendaciones se identifican áreas de mejora y expansión para el sistema, como la implementación de algoritmos más avanzados o la integración con tecnologías emergentes. La implementación de un ciclo de mejora continua para el sistema de ruteo, incorporando retroalimentación del donante y ajustes periódicos para mantener la eficiencia y la relevancia en un entorno cambiante.

Programas de capacitación para el personal que utilizará el sistema de ruteo. La correcta comprensión y adopción del sistema son fundamentales para maximizar sus beneficios.

Integración con tecnologías emergentes, considerar la posibilidad de integrar el sistema de ruteo con tecnologías emergentes, como el aprendizaje automático o la inteligencia artificial, para mejorar aún más la precisión y la eficiencia del sistema.

Evaluaciones periódicas del impacto financiero del sistema a lo largo del tiempo y la relación costo-beneficio a largo plazo proporcionará perspectivas importantes. Por otro lado, implementar medidas sólidas de seguridad de datos para proteger la información sensible del sistema. Esto garantiza la confidencialidad y la integridad de los datos de ruteo.

Documentación completa y accesible sobre el funcionamiento del sistema de ruteo. Esto facilitará su mantenimiento y la resolución de problemas potenciales y a su vez herramientas de monitoreo y análisis de desempeño para evaluar continuamente la eficacia del sistema y tomar medidas proactivas en caso de desviaciones.

Siguiendo las sugerencias del director del proyecto, se recomienda considerar la continuación del trabajo en futuros proyectos para implementar el método de los ahorros con la heurística de mejora 2-opt con ventanas de tiempo. A pesar de su relevancia y beneficios potenciales, debido a las limitaciones de tiempo durante el desarrollo del proyecto actual, no se consideró pertinente su inclusión. La implementación de este método podría proporcionar mejoras significativas en la eficiencia y la optimización de las rutas de recolección de donaciones del Banco de Alimentos de Cali. Por lo tanto, se alienta a explorar esta opción en proyectos futuros para maximizar los resultados y alcanzar los objetivos establecidos de manera más completa.

## **VII. GLOSARIO**

**Stakeholders:** Grupos de interés o partes interesadas que han de ser identificados, ya que pueden afectar o ser afectados por el proyecto u organización, deben ser considerados dentro del marco estratégico.

**BAC:** Banco de Alimentos de Cali.

**ABACO:** Asociación banco de alimentos de Colombia.

**FABAC:** Fundación Arquidiocesana Banco de Alimentos de Cali.

**Picking:** Es la actividad de preparación de pedidos que consiste en la recogida y combinación de cargas no unitarias para conformar el pedido de un cliente. Se lleva a cabo en cualquier tipo de almacén y se produce siempre que se necesite para proceder al traslado [14].

**Transpaletas:** Herramienta utilizada en almacenes para realizar diversas tareas relacionadas con el movimiento de los productos del almacén. Además de ser usado para carga y descarga [15].

## VIII. REFERENCIAS

- [1] FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2022. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma, FAO.
- [2] “El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022”, *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022*, oct. 2022, doi: 10.4060/CC0639ES.
- [3] “Minambiente, interesado en ayudar a disminuir el desperdicio de alimentos - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible”. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico/minambiente-interesado-en-ayudar-a-disminuir-el-desperdicio-de-alimentos/> (consultado el 10 de marzo de 2023).
- [4] “Mientras 2.7 millones de colombianos sufren hambre, 10 millones de toneladas de alimentos se desperdician anualmente - Instituto de Estudios Urbanos”. <http://ieu.unal.edu.co/medios/noticias-del-ieu/item/mientras-2-7-millones-de-colombianos-sufren-hambre-10-millones-de-toneladas-de-alimentos-se-desperdician-anualmente> (consultado el 10 de marzo de 2023).
- [5] “crislealblog: Image”. <https://crislealblog.files.wordpress.com/2016/05/imagen4-matriz-influencia-impacto.jpg?w=448&h=337> (consultado el 13 de marzo de 2023).
- [6] “THE CLIRPB(TESIS VIEJO JULIO)[1]”.
- [7] J. Andrés Zapata-Cortes, Á. Rodrigo Vélez-Bedoya, y M. Darío Arango-Serna, “Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte”, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- [8] O. Alfonso Cantillo y E. Sánchez Ansole, “Computación paralela para la geocodificación de direcciones postales cubanas”, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 21, núm. 4, pp. 1–12, oct. 2020, doi: 10.22201/fi.25940732e.2020.21.4.029.
- [9] L. C. Coelho y G. Laporte, “The Exact Solution of Several Classes of Inventory-Routing Problems Bureaux de Montréal : Bureaux de Québec”, 2012. [En línea]. Disponible en: [www.cirrelt.ca](http://www.cirrelt.ca)
- [10] L. Morais, A. Lopes, J. Rocha, y P. J. Nogueira, “Beyond Usual Geographical Scales of Analysis: Implications for Healthcare Management and Urban Planning”, *Portuguese Journal of Public Health*, vol. 40, núm. 3, pp. 140–154, feb. 2022, doi: 10.1159/000527162.
- [11] M. E. Quinteros *et al.*, “Quality of automatic geocoding tools: a study using addresses from hospital record files in Temuco, Chile”, *Cad Saude Publica*, vol. 38, núm. 1, 2022, doi: 10.1590/0102-311X00288920.
- [12] E. P. Kaligari, “RUTEO DE INVENTARIOS CON VENTANAS DE TIEMPO FUERTES”, 2015.
- [13] D. F. Batero-Manso y J. A. Orjuela-Castro, “El Problema de Ruteo e Inventarios en Cadenas de Suministro de Precederos: Revisión de Literatura”, *Ingeniería*, vol. 23, núm. 2, may 2018, doi: 10.14483/23448393.12691.

[14] “El picking, ¿qué es? - Mecalux.com.co”. <https://www.mecalux.com.co/manual-almacenaje/picking> (consultado el 13 de marzo de 2023).

[15] “Transpaleta - Wikipedia, la enciclopedia libre”. <https://es.wikipedia.org/wiki/Transpaleta> (consultado el 13 de marzo de 2023).

[16] Prof. Dr. A. A. Juan, “Random Search & CWS Heuristic VRP,” Michael Smurfit Business School(Consultado el 02 de noviembre de 2023).

[17] V. Baradaran, A. Shafaei, y A. Hosseinian, "Stochastic vehicle routing problem with heterogeneous vehicles and multiple prioritized time windows: Mathematical modeling and solution approach," en Mathematical modeling and solution approach, 2019.

[18] AlekzAlekz , “Convertir direcciones a coordenadas de latitud y longitud con google sheets y google maps (geocoding),” Tesel, <https://tesel.mx/convertir-direcciones-a-coordenadas-de-latitud-y-longitud-con-google-sheets-y-google-maps-geocoding-7928/> (Consultado Nov. 13, 2023).

[19] Espol, [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/53202/1/T-111331\\_MARCILLO\\_MONCAYO\\_-\\_ZUÑIGA\\_PEÑALOZA.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/53202/1/T-111331_MARCILLO_MONCAYO_-_ZUÑIGA_PEÑALOZA.pdf) (Consultado Enero. 13, 2024).

## IX. ANEXOS

TABLA XI.  
TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)
01	2023103 - Anexo 1. Lista de Chequeo para la Revisión Documental.	Propio	Word
02	2023103 - Anexo 2. Encuesta a Grupos de Interés.	Propio	PDF
03	2023103 – Anexo 3. Plan de Recolección de Datos.	Propio	Excel
04	2023103 – Anexo 4. Hoja de Trabajo Situación actual.	Propio	Word
05	2023103 – Anexo 5. Plantilla Tiempos de Planeación.	Propio	Excel
06	2023103 – Anexo 6. Costos Kilometro Vehículos.	Tercero/Propio	Excel
07	2023103 – Anexo 7. Revisión literatura.	Propio	Excel
08	2023103 – Anexo 8. MetodoDisney - Pareto	Propio	Excel
09	2023103 – Anexo 09. Análisis Jerárquico Total AHP	Propio	Excel
10	2023103 - Anexo 10. Project Equipo 103	Propio	MPP

11	2023103 – Anexo 11. Project Charter Equipo 103	Propio	Excel
12	2023103 – Anexo 12. Geocoding	Propio	TXT - HTML
13	2023103 – Anexo 13. vrp_objects	Propio	Python
14	2023103 – Anexo 14. CWS_2OPT_PD_LAT_LONG	Propio	Python
15	2023103 – Anexo 15. A-n63-k9_input_nodes	Propio	TXT
16	2023103- Anexo 16. Impacto financiero	Propio	Excel
17	2023103 – Anexo 17. Diagrama Analítico de Recolección	Propio	Excel