

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

**DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS
FRESCOS PARA UNA CADENA DE SUPERMERCADOS**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

Presentado por:

Brenda Del Rocío Morales Puchuela

María Cristina Oviedo Velásquez

GUAYAQUIL- ECUADOR

Año: 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Superior del Litoral, a nuestro tutor Xavier Cabezas y al profesor Alfredo Varas que fue nuestro consejero a lo largo de la carrera. A demás de la serie de profesionales que nos acompañaron durante este proceso de formación académica.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo principalmente a mi mamá Vezka Velásquez, que ha sido mi consejera y guía. A mi familia, y amigos que poco a poco me apoyaron a ser mejor, en especial a mi amiga Brenda.

Cristina

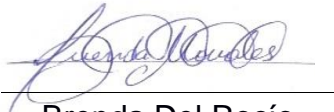
A Dios por brindarme la fuerza y determinación para lograr cada una de mis metas. A mis padres Rocío Puchuela y Víctor Morales por el apoyo incondicional e impulsarme a ser mejor a pesar de las adversidades.

A mis hermanos y amigos por su compañía en este proceso, en especial a mi compañera de tesis.

Brenda

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Brenda Del Rocío Morales Puchuela* y *María Cristina Oviedo Velásquez* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”




Brenda Del Rocío
Morales Puchuela



María Cristina Oviedo
Velásquez

EVALUADORES

CARLOS ALFREDO  Firmado digitalmente por
CARLOS ALFREDO
RONQUILLO FRANCO
Fecha: 2021.10.20 10:00:43
-05'00'

.....
Nombre del Profesor

CARLOS RONQUILLO FRANCO



Firmado electrónicamente por:
**JOSE XAVIER
CABEZAS
GARCIA**

.....
Nombre del Profesor

JOSÉ CABEZAS GARCÍA

RESUMEN

La distribución de productos perecederos representa un gran desafío para las cadenas de supermercados que buscan satisfacer a sus clientes en cuanto a la calidad de sus productos. Por lo cual, para la cadena de supermercado en estudio es necesario que cada semana la demanda de estos productos sean distribuidos de manera correcta a las diferentes sucursales desde un centro de distribución con los vehículos adecuados. El presente proyecto, planea diseñar un modelo matemático para la distribución de productos perecederos con el objetivo de minimizar los costos de transporte y distancia recorrida para una cadena de supermercados. Con la finalidad de enfrentar esta situación, se empleó el problema de ruteo vehicular capacitado considerando flota heterogénea, el cual fue diseñado en el lenguaje de programación Python con librerías abiertas para poder facilitar el acceso de cualquier usuario. Además, se realizó un interfaz que permite la carga de un archivo con la demanda semanal y la descarga de un archivo resultante del calendario semanal con las rutas de entregas. Los resultados permiten comprobar la funcionalidad del modelo ya que disminuyó los costos de transporte en un 3.65% y distancia recorrida 15.91% semanal en promedio. Para concluir, el proyecto mejoró tanto en la distribución como en la interacción del programa con el usuario, pero existen algunas limitaciones que presenta esta solución al aplicar una fase previa de *clusterización*.

Palabras Clave: clúster, calendario, ruteo, perecederos, supermercados.

ABSTRACT

The distribution of perishable products represents a great challenge for supermarket chains seeking to satisfy their customers in terms of the quality of their products. Therefore, for the supermarket chain under study, it is necessary that each week the demand for these products be distributed correctly to the different branches from a distribution center with the appropriate vehicles. This project plans to design a mathematical model with the objective of minimizing transportation costs and distance traveled for this supermarket chain. To address this situation, the capacitated vehicle routing problem considering heterogeneous fleet was used, which was designed in the Python programming language with open libraries to facilitate access by any user. In addition, an interface was created that allows the loading of a file with the weekly demand and the downloading of a file resulting from the weekly calendar with the delivery routes. The results allow to prove the functionality of the model since it decreased transportation costs by 3,65% and distance traveled 15,91% in a week. To conclude, the project improved both in the distribution and in the interaction of the program with the user, but there are some limitations that this solution presents when applying a previous phase of clustering.

Keywords: *cluster, calendar, routing, perishables, supermarkets.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
GLOSARIO.....	V
ÍNDICE DE tablas.....	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.1.1 Contexto del problema	1
1.1.2 Características del problema	2
1.1.3 Explicación del problema	3
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Marco conceptual.....	5
1.4.2 Estado del arte	8
CAPÍTULO 2.....	11
2. METODOLOGÍA	11
2.1 Diseño de la solución.....	11
2.2 Plan de trabajo.....	14
2.3 Análisis de la información recopilada.....	15
2.3.1 Entrevista semiestructurada.....	15
2.3.2 Análisis de datos.....	16
2.4. Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados (CVRP).....	18
2.4.1 Modelo matemático.....	18
2.5 Uso de software	20
2.3.3 Lenguajes de programación.....	20

2.6	Consideraciones éticas y legales.....	22
2.7	Cronograma de trabajo.....	24
CAPÍTULO 3.....		26
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		26
3.1	Datos resultantes de aplicar la solución diseñada.....	26
3.1.1	Poder computacional.....	28
3.1.2	Cumplimiento de los objetivos.....	28
3.2	Análisis de costos.....	29
3.2.1	Rutas realizadas	30
3.2.2	Visualización de una ruta	31
3.2.3	Otras consideraciones para los costos	31
3.3	Análisis comparativos.....	31
CAPÍTULO 4.....		33
4. Conclusiones Y Recomendaciones		33
	Conclusiones.....	33
	Recomendaciones.....	33
Bibliografía.....		34

GLOSARIO

GAP: Distancia o diferencia excesiva que existe entre elementos relacionados entre sí.

Solver: Solucionador en inglés.

Dataframes: Estructura de datos de dos dimensiones.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Proporciones de la demanda	12
Tabla 2.2- Información relevante de la entrevista al Jefe Logístico	15
Tabla 2.3- Pre-cronograma para los días de distribución del clúster 1 de la cantidad de gavetas a entregar	18
Tabla 2.3 Cronograma de actividades	24
Tabla 3.1- Matriz de distancia del clúster 2	27
Tabla 3.2- Resultado final: calendario de las rutas semana del 07 al 13 de junio 2021 (lunes)	28
Tabla 3.3- Tarifas de transporte.....	29
Tabla 3.4 Resultados de la semana 31/05/2021 (miércoles) en el clúster 2.....	31
Tabla 3.5 Resultados comparativos de la semana 31/05/2021	32
Tabla 3.6 Resultados comparativos de la semana 7/06/2021	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1-Representación gráfica del VRP	6
Figura 2.1-Interfaz para el usuario final	13
Figura 2.2- Sucursales de la ciudad de Guayaquil	17
Figura 3.1- Sucursales de la ciudad de Guayaquil con la asignación de clústere	26
Figura 3.2- Una de las rutas del clúster dos el miércoles	31

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo industrializado de hoy, es común tener al alcance alimentos frescos en cualquier momento, ya sean de temporada o hasta de exportación con tan solo ir a una tienda o un supermercado. Esto ha permitido mejorar la alimentación de las personas. El transporte de alimentos frescos puede repercutir enormemente en su calidad al momento de llegar al consumidor; ya que su manejo durante la cadena de suministro lo puede afectar negativa o positivamente. Por lo cual, la distribución de productos perecederos representa un gran desafío para las cadenas de supermercados.

Para resolver los desafíos que se presentan en la logística muchas veces es necesario recurrir a modelos matemáticos que permitan optimizar procesos o toma de decisiones; con el fin de que las empresas puedan elevar el nivel de servicio que ofrecen a sus clientes. El caso descrito anteriormente no es la excepción, y esto da una oportunidad para aplicar procedimientos que aprovechen mejor los recursos dentro de restricciones de tiempo y capacidad.

Este proyecto busca diseñar un modelo de distribución para productos perecederos cuyo objetivo es optimizar los costos de transporte desde los centros de distribución hacia las sucursales, en una empresa dedicada a la venta de productos alimenticios que cuenta con una cadena de tiendas. Por consiguiente, el modelo permite obtener las rutas óptimas para la distribución de los productos perecederos, ya sea carne, vegetal o fruta que se van a entregar a las diferentes sucursales.

1.1 Descripción del problema

En la siguiente sección se detalla el problema presentando su contexto, características y finalmente la explicación.

1.1.1 Contexto del problema

La cadena de supermercados en la que se tratará el problema cuenta con una gran cantidad de sucursales, esto quiere decir que, en cualquier zona sea urbana o rural, es probable que se encuentre un supermercado cerca. Esto permite mayor acceso a un amplio sector de la población y ciertas ventajas logísticas al momento de entregar los

productos pereceros. Ya que tienen la posibilidad de que, en el caso de una eventualidad como el daño de un camión, pueda dirigirse a una sucursal cercana.

La cadena de suministro de la empresa se encuentra conformada por los productores, los centros de distribución y las sucursales, estas últimas son las que tienen contacto con el cliente final. Para desarrollar la logística donde intervienen los procesos de distribución, entre productores de alimentos pereceros y la cadena de supermercados se realiza acuerdos de entrega para concretar una cantidad de productos, ya sea carnes, vegetales y/o frutas.

1.1.2 Características del problema

Para conocer las condiciones iniciales del problema es necesario identificar las siguientes características:

- Esta cadena de supermercados cuenta con una política que permite realizar la orden del pedido de cada sucursal hasta cuatro días previo al proceso de distribución. En este caso particular, las diferentes sucursales envían sus órdenes de pedido a los centros de distribución los viernes y reciben sus pedidos el lunes.

- Los centros de distribución, por su parte, realizan su entrega tres veces por semana. A parte, cuentan con disposición vehículos con diferentes capacidades siendo de 215 gavetas la capacidad mínima y 560 gavetas la capacidad máxima para la distribución. Es necesario que al momento de establecer el número de tiendas visitadas por camión no exceda el parámetro de capacidad.

- Hay que considerar que los productos pereceros tienen su propia cadena de frío, esto quiere decir que, se debe mantener a una temperatura específica para cada producto, sea fruta, vegetal o carne, para que no pierdan su frescura. Por ejemplo, todos los cítricos deben ser enviados en un vehículo que cumpla con la temperatura adecuada para este tipo de frutas.

El problema parte de la distribución, debido a que actualmente la planificación de rutas se realiza de forma empírica bajo el criterio de que tan cercanas se encuentren las sucursales dentro de la ruta generada con el fin de satisfacer la demanda de cada sucursal.

Este problema se debe solucionar para reducir costos y fortalecer el uso de herramientas que permitan mejorar la toma de decisiones en cuanto al proceso de distribución de productos perecederos. La distribución es importante para brindar un mejor nivel de servicio hacia las sucursales y mejorar el nivel de utilización de la flota.

1.1.3 Explicación del problema

Con lo dicho anteriormente, el problema consiste en generar rutas para el transporte de productos perecederos desde un centro de distribución hacia una cantidad determinada de sucursales repartidos geográficamente. También se debe generar una matriz de distancia entre todos los nodos (sucursales y centro de distribución) y la demanda del producto requerido por cada sucursal debe ser conocida. Otro dato que es necesario considerar es la capacidad y tipo de cada vehículo de la flota disponible para el transporte, teniendo en cuenta que la flota es heterogénea, es decir que, cuenta con vehículos con sistema de refrigeración, pero de diferentes capacidades.

1.2 Justificación del problema

En una sociedad donde los consumidores se vuelven cada vez más exigentes, el transporte de mercancías resulta más complejo y demandante, sobre todo al tratarse de productos tan sensibles como los perecederos. Ya que estos productos necesitan de un sistema refrigerado en el transporte para conservar su buen estado y vida útil hasta llegar a sus destinos correspondientes. Por lo cual, en la actualidad, la distribución de productos perecederos juega un papel fundamental para las cadenas de suministro.

Mediante la implementación de un modelo matemático que espera optimizar el proceso de distribución de productos perecederos en cuanto a sus costos de transporte y cantidad de producto a distribuir. Con el fin, de minimizar la distancia del viaje de cada ruta creada y satisfacer la demanda diaria de cada sucursal considerando el nivel de ventas de cada uno de ellos.

El impacto que generaría este proyecto al brindar un correcto servicio de distribución a cada sucursal acorde a la demanda es que permite mejorar la rentabilidad de cada sucursal al momento de entregar la cantidad necesaria de productos que requieren y se reduciría los costos de transporte en cuanto a este proceso de distribución.

Al momento de realizar un modelo de distribución es conveniente apoyarse en lenguajes de programación de licencia libre como Python y módulos que resuelven modelo de programación lineal de igual acceso como Pyomo o PuLP.

La implementación de este proyecto beneficiaría directamente a la cadena de supermercados y a las sucursales ya que representaría reducción en sus costos de transporte, mejora en el nivel de utilización de la flota, y a la vez, cumpliría con la demanda semanal de cada sucursal con lo que podría incrementar sus ventas.

1.3 Objetivos

Se presentan los siguientes objetivos que permiten delimitar el proyecto. El objetivo general permite tener una clara perspectiva de lo que se realiza y los objetivos generales que describen cada una de las acciones para resolver la problemática.

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo matemático para la distribución de productos perecederos de una cadena de supermercados mediante la minimización del costo de transporte y distancia recorrida.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Aplicar el método de *clustering* para poder mermar la cantidad de puntos que evaluará el modelo matemático.
- Formular un modelo matemático que permita minimizar los costos de transporte en el proceso de distribución.
- Diseñar un cronograma de entregas a partir de la demanda semanal de cada una de las sucursales.
- Diseñar un interfaz que permita obtener el calendario de entregas a partir de la demanda semanal mediante librerías de acceso libre.
- Evaluar los resultados obtenidos para realizar una comparación de la situación actual con la propuesta.

1.4 Marco teórico

En la siguiente sección se detalla conceptos importantes para comprender la metodología y el estado del arte, donde se analizan trabajos relacionados.

1.4.1 Marco conceptual

A continuación, se repasará brevemente algunas de las definiciones necesarias para la realización de este proyecto.

1. Logística secundaria

Council of Supply Chain Management Professionals define la logística de salida como "el proceso relacionado con el movimiento y el almacenamiento de productos desde el final de la línea de producción hasta el usuario final" (2013, pág. 139), y desempeña un papel fundamental en la gestión general de las relaciones con los clientes de un proveedor. El área de actividades abarca la planificación, control y seguimiento del flujo físico de mercancías, así como el flujo de información asociado. El desempeño de la logística de salida representa un factor importante en la decisión de un minorista de almacenar o no los productos de un proveedor y, por lo tanto, también representa un determinante importante de la cadena de suministro y el éxito comercial de un proveedor.

- **Modelo matemático**

Según Stewart (2012), un modelo matemático es una descripción matemática (a menudo por medio de una función o una ecuación) de un fenómeno real en donde el propósito del modelo es comprender el fenómeno y tal vez hacer predicciones sobre su comportamiento futuro. A su vez, estos modelos nunca son una representación completamente precisa de una situación física: es una idealización. Por lo cual, un buen modelo simplifica la realidad lo suficiente para permitir hacer cálculos matemáticos, pero es razonablemente preciso para proporcionar valiosas conclusiones y es importante percatarse de las limitaciones del modelo.

- **Modelos NP HARD**

Cuando se habla acerca de un modelo NP HARD (no determinística en tiempo polinómico), se refiere a que tiene una propiedad que se define de una clase informalmente como “los más difíciles de todos los problemas”, por lo que son los más desafiantes entre todos los modelos matemáticos. (ZHANG, 2012)

- **El Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)**

El problema de ruteo de vehículos (Vehicle Routing Problem) se basa en la existencia de un depósito central que cuenta con una flota de vehículos y debe atender a un conjunto de clientes que se encuentran geográficamente dispersos. El objetivo de este problema es entregar la cantidad demanda conocida de bienes a este conjunto de clientes, al mínimo costo, con el fin de encontrar las rutas óptimas que se originan y terminan en el depósito. Cada cliente es atendido una sola vez, para lo cual se asignan vehículos que entreguen la demanda requerida por ese cliente sin exceder la capacidad máxima del transporte. (Barán B. y Hermosilla A., pág. 2)

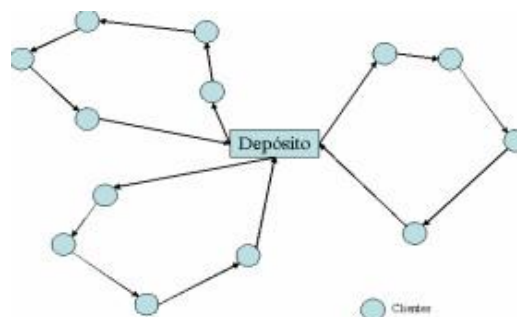


Figura 1.1-Representación gráfica del VRP. Fuente: Laguna (2004)

En la figura 1.1, se observa gráficamente el funcionamiento del problema de ruteo de vehículos que parten desde un depósito y culmina su recorrido en su lugar de origen. Las características de los clientes, depósitos y vehículos dan lugar a diferentes variantes del problema.

- **El Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados (CVRP)**

El Problema de Ruteo de Vehículos con capacidad limitada (CVRP) es una de las variantes del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP). Este problema consiste en encontrar un conjunto de rutas con la menor distancia posibles que empiezan y terminan en un almacén en común y a su vez, les permita a los vehículos de una empresa entregar los pedidos solicitados por sus clientes. Para la empresa esto representa un menor costo posible en cuanto al transporte, así como la identificación del orden de visita a los mismos. (Orrego J., 2016)

- **Metaheurística**

Una metaheurística “es un método de solución general que proporciona tanto una estructura general como criterios estratégicos para desarrollar un método heurístico específico que se ajuste a un tipo particular de problema” (Hillier & Liberman, 2010). El objetivo de las metaheurísticas es resolver problemas cuyo modelo no puede ser tratado por los métodos convencionales debido a su complejidad y tiempo de ejecución. Por lo cual, las metaheurísticas permiten moverse relativamente rápido hacia soluciones muy buenas, proporcionando una forma muy eficiente de resolver problemas complejos. La principal desventaja es que no existe la garantía de que la mejor solución que se obtenga sea una solución óptima o incluso cerca de serlo.

- **Algoritmo K-means**

K-means es un algoritmo basado en *clustering*. Por ende, su principal objetivo es optimizar la partición de la imagen dado o zona en áreas conforme a unas características estipuladas (2007, pág. 460). Este método de partición permite agrupar los objetos de modo que la varianza dentro del grupo sea minimizada.

- **Método de restricción ϵ**

El método de restricción ϵ es usado para problema de optimización que sean multiobjetivo, ya que este puede convertir algoritmos no restringidos en restringidos, utilizando la comparación del nivel del mismo nombre. (Yang, 2014) (Yang, 2014)

- **Método CPLEX**

CPLEX es el solver más extendido entre los más extendidos entre estos. Siendo uno de los que más rápido puede encontrar resultados y con una buena calidad. Está bajo la compañía IBM, el cual puede descargarse fácilmente.

1.4.2 Estado del arte

A través de los años, se han construido diferentes modelos de distribución con distintas características y restricciones dependiendo del problema. Esto ha permitido el desarrollo de modelos que requieran más poder computacional, para el objetivo en cuestión, sea integrar el inventario y la producción o hacer cronogramas para la distribución. A su vez, también han perfeccionado los diferentes procesos para resolver estos problemas, como las metaheurísticas o el método de la restricción ϵ .

Para un modelo de distribución para productos perecederos, se puede tener en cuenta algunos factores, como el tipo de vehículo a utilizar, la temperatura y la frescura del producto. Se analiza cómo se ha trabajado anteriormente con respecto al problema, qué funciones objetivo se suelen usar y los diferentes experimentos computacionales, para finalmente dar pie a las conclusiones de la revisión.

Se describe tres trabajos relacionados con el proyecto a realizar. El primer enfoque es por el artículo de los autores V. Cacchiani, VC. Hemmelmayr y F. Tricoire (2014) en el cual desarrollan un algoritmo de optimización híbrido para la programación lineal de enteros mixtos, donde se incorpora componentes heurísticos como exactos. Dicho algoritmo es basado en cobertura de conjuntos para el problema de rutas periódicas de vehículos. La finalidad de esta aplicación es determinar un conjunto de rutas de costo mínimo para cada día de un horizonte de planificación dado con las limitaciones brindadas por el cliente. Los autores presentan este algoritmo en el cual es necesaria la relajación de la programación lineal para que se pueda resolver mediante el método de generación de columnas. Estas se generan heurísticamente por un algoritmo de búsqueda local iterado. A partir de la solución brindada por la programación lineal, se aplica técnicas de fijación y liberación de las columnas como una búsqueda local, haciendo uso de una lista tabú para evitar el ciclo.

El artículo presenta cómo se trabaja para este tipo de modelos de programación lineal, formando algoritmos con elementos heurísticos y exactos para poder aproximarse a la solución mientras se obtiene una solución en tiempos considerables. El enfoque se relaciona con el presente trabajo y nos orienta a cómo generar un modelo de distribución para productos de manera periódica. La diferencia radica en que el ensayo no considera las restricciones de transportar productos perecederos.

El segundo enfoque se centra en el proyecto de D. Priyantha, W. Ferrell y N. Geismar (2017) que se basa en el trabajo “Programación integrada de producción y distribución con un producto perecedero”. En este proyecto se realizó el problema de IPDSP (Integrated Production and Distribution Scheduling Problem) que busca principalmente solucionar los retos presentados en la logística en cuanto a la toma de decisiones con respecto al inventario y distribución. El objetivo es minimizar el costo total en un horizonte de tiempo, donde el costo fijo es por usar un vehículo y el costo variable es el de la distancia. Por lo cual, se debe tener en cuenta las diferentes restricciones como: la cantidad de plantas de producción, la capacidad del camión, las coordenadas de los clientes. En este modelo se plantea que los productos tienen un tiempo límite de vida y que está comienza a partir de su salida del lote de inventario, esto se entiende porque sale de la cadena de frío en ciertos momentos.

Para demostrar la complejidad del problema, se evaluó el modelo con el método CPLEX empezando con 4 clientes y finalizando con 20. Se pudo evidenciar que, con 4 clientes se formaron 2921 variables y 6295 restricciones, se obtuvo un tiempo de 36 segundos y un GAP (que es la diferencia entre la solución óptima y la obtenida) de 0. Pero a partir de 5 clientes se formaron 4836 variables y 10551 restricciones, por lo que se demoró más de 20 horas y un GAP de 21,71%. A partir de 10 clientes, el problema tarda más de diez días. Cuando se compara estos 3 casos con los resultados de los modelos heurísticos se puede apreciar una clara disminución de los tiempos obteniendo menos de un minuto hasta 6 clientes y con 20 clientes, 5 minutos.

Se observa cómo es necesario la implementación de los modelos heurísticos y cómo se puede desarrollar diferentes variaciones de los modelos matemáticos de distribución a partir de la combinación de dos problemas que se relacionan lo cual da paso a problemas NP- HARD.

Otro proyecto importante por mencionar es el de P. Amorim, B. Almada-Lobo (2014) donde difiere de los demás modelos de distribución al tener dos funciones objetivo, esto se debe porque tratan de asemejarse a una situación más real. La finalidad de este modelo es mejorar el nivel de servicio a los clientes al maximizar la frescura de los productos, pero a la vez minimizar los costos de transporte. Por lo que la primera función objetivo se centra en maximizar la frescura promedio de cada producto y la segunda función es la clásica de un VRP donde se minimizan los costos de ir desde un cliente i hasta otro cliente j multiplicado por la distancia entre esos dos clientes.

Se pudo concluir que en ciertos casos cuando se trabaja con instancias pequeñas se forma el diagrama de Pareto, permitiendo evidenciar que para mantener hasta 80% de la frescura se necesita el primer 20% de los costos posibles. Como conclusión, para una planificación de la distribución donde la frescura es importante, se debe tener cuenta que exista una gran compensación, esto quiere decir que se va a perder frescura para disminuir costos o viceversa. Además de que las ventanas de tiempo juegan un fuerte papel en estos modelos, porque pueden aumentar la complejidad de este.

A partir de este artículo científico se pudo destacar que la compensación de dos factores en cuanto a la frescura y costos de transporte son importantes en la logística de productos perecederos. Incluso, se pudo evidenciar la necesidad de nuevos modelos que consideren más factores al mismo tiempo.

En este ensayo se analizaron tres trabajos relacionados con nuestro problema de distribución de productos perecederos, con lo que se puede concluir lo siguiente:

- En general, se usan soluciones metaheurísticas por la complejidad matemática de los modelos NP-HARD, ya que, si se los trata de solucionar de manera exacta, tomaría días y ya no sería plausible.

- A medida que pasan los años, el poder computacional aumenta, permitiendo que los modelos puedan ser más complejos, como vimos en el caso que se usó dos funciones objetivo con diferentes instancias, sean pequeñas o grandes.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se evidencia los pasos a seguir para conseguir los objetivos planteados en este proyecto para el desarrollo de la solución al problema descrito previamente.

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos en la entrevista semiestructurada, lo cual permitió conocer el proceso actual de distribución de productos perecederos, las restricciones y aspectos a mejorar dentro del proceso. Luego se procedió con el diseño del modelo matemático utilizado en la tercera fase de la solución conocido como ruteo, el cual permite obtener una solución óptima para el problema de distribución referente a productos perecederos.

2.1 Diseño de la solución

Para formular un diseño de la solución se requirió el análisis de los datos entregados por la empresa. Lo que llevo al desarrollo de nuevos antecedentes que fueron usados para la solución.

Para analizar la demanda era importante determinar la unidad de medida, puesto que puede variar dependiendo del problema. De manera que, en este caso, como la demanda semanal de cada tienda estaba en unidades de los productos, fue posible convertirla a volúmenes diarios. Esta fue la unidad de medida de las solicitudes manejada en el proyecto.

Se decidió que el diseño de la solución esté dividido en tres fases descritas a continuación:

1) *Clustering*:

Al realizar un modelo de distribución en la ciudad de Guayaquil es preciso agrupar a las diferentes sucursales de la cadena de supermercados para obtener rutas principales en las cuales se tenga una cercanía moderada entre cada tienda para reducir los tiempos de los viajes. Por consiguiente, se puede separar en zonas conocidas de la ciudad.

Para el proyecto se posee los datos de la latitud y longitud de las ubicaciones de las sucursales, por lo que se puede realizar un *clúster*. Un *clúster* está compuesto por

una serie de objetos similares recopilados o agrupados (A. & R., 1948). A través de un algoritmo de *clustering* llamado *k-means* para determinar las dos agrupaciones mencionadas.

2) Matriz de distancias

Después de realizar los diferentes *clústeres* fue posible realizar las matrices de distancia. Se requirió que las distancias sean reales, porque consideran el recorrido de las vías para llegar y salir de los diferentes puntos.

3) Distribución de la demanda

Para definir la cantidad de la demanda semanal que se va a distribuir en cada día, se decidió multiplicarla para una proporción. Esta proporción es de acuerdo con el día que se va a entregar, por lo que el viernes se va a entregar una mayor cantidad de producto. En la siguiente tabla se muestra el rango de la proporción por día, además se consideró que las proporciones sean aleatorias.

Tabla 2.1 Proporciones de la demanda Fuente: elaboración propia

	Lunes	Miércoles	Viernes
Proporción de la demanda	Número aleatorio entre 0.25 y 0.35	La unidad menos la proporción del viernes y lunes	Número aleatorio entre 0.35 y 0.50

Como se puede ver en la tabla 2.1 para el primer día que es el lunes se tiene un número aleatorio entre 0.25 y 0.35, este número será diferente cada que se ejecute el programa. Así mismo, para el viernes fue establecido un rango de proporción más alto para asegurar la entrega de la demanda del fin de semana. Y finalmente la del miércoles que es la resta entre los días.

4) Pre-cronograma de entregas

En esta fase de la solución fue necesario la demanda semanal de cada sucursal y los *clústeres* encontrados en la etapa anterior. Previamente, se estableció que tres días son destinados a la distribución de productos perecederos, por lo tanto, se planteó que los lunes, miércoles y viernes sean los días en donde la distribución de estos

productos será efectuada. Luego, la demanda semanal fue multiplicada por la proporción aleatoria que le corresponde a la tienda y de esta forma se conoció el volumen diario a entregar en los días asignados anteriormente. Finalmente, se agrupó las sucursales que pertenecían al mismo *clúster* en conjunto con sus demandas para obtener el pre-cronograma semanal por *clúster*.

5) Ruteo

Para esta última fase, se realizó la asignación de vehículos y creación de rutas por cada *clúster* cubriendo la demanda requerida para ese día de distribución. Cabe mencionar, que una de las limitaciones para este problema fue que cada camión puede visitar por lo máximo cuatro tiendas de acuerdo con las especificaciones del cliente. De modo que, fue necesario implementar una variante del Problema de Ruteo Vehicular (VRP) conocido como Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados (CVRP, por sus siglas en inglés) el cual consiste en encontrar un conjunto de rutas con la menor distancia posibles que empiezan y terminan en un centro de distribución en común y a su vez, les permita a los vehículos de una empresa entregar los pedidos solicitados por sus clientes.

6) Interfaz

Para una mejor experiencia del usuario se consideró pertinente el desarrollo de una interfaz que permita limitar al máximo la cantidad de pasos que realice, siendo los siguientes:

- Abrir el archivo formato (.xlsx) que contenga todas las sucursales con las cantidades de las gavetas totales de la semana.
- Descargar el archivo formato (.xlsx) que contiene todas las rutas de la semana.

Por ello se llevó a cabo esta acción con un módulo de Python (también de acceso libre) llamado Tkinter. Este está diseñado para un fácil entendimiento de cómo desarrollar interfaces en el lenguaje de Python.

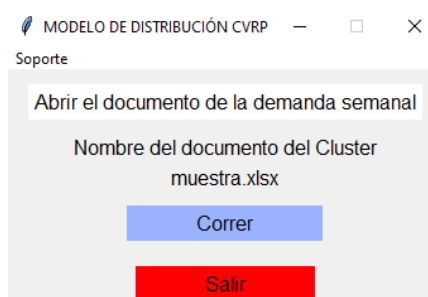


Figura 2.1-Interfaz para el usuario final Fuente: elaboración propia

2.2 Plan de trabajo

Para la realización de este proyecto previamente se realizó una reunión con el Jefe Logístico de la cadena de supermercados para conocer a fondo el problema presentado en cuanto a la distribución de los productos perecederos hacia cada sucursal. A partir de la información recopilada, se identificó la problemática a tratar. Se realizó una reunión con el tutor del proyecto. Se indicó el problema presentado e indicó cómo abordar el problema.

Una vez claro cómo se realizaría el proyecto, se mantuvo conversaciones con el Jefe Logístico solicitando los datos necesarios para la realización del trabajo. Se solicitó información referente a:

- La flota, cantidad de vehículos, tipo de cada vehículo (si es pequeño, mediano o grande), también el costo dependiendo del tipo y la capacidad de cada vehículo.
- Productos perecederos, el nombre del producto, volumen de las unidades.
- Sucursales, en donde se obtuvo la ubicación lo que quiere decir las latitudes y longitudes, el nombre de la tienda, el stock y demanda diaria de este.

Se analizó los posibles modelos para la distribución de productos perecederos considerando las necesidades de la cadena de supermercados. Por lo tanto, se realizó una reunión con el Jefe Logístico de la empresa para conocer más a fondo ciertos detalles con respecto al modelo de distribución que manejan actualmente y se estableció una fecha para realizar una visita técnica a sus instalaciones, específicamente, al área de fríos. Esta área es en donde manejan el almacenamiento y distribución de los productos perecederos.

A partir de los datos brindados por la empresa, se efectuó el correcto análisis y extracción de aquellos datos necesarios para empezar a trabajar con la solución planteada para el problema. Luego, se ejecutó cada fase de la solución. En la primera fase se realizó *clustering*, en donde se dividió los datos las tiendas en cuatro grupos según la distancia por la cual se encontraban alejadas y se obtuvo la matriz de distancias de cada clúster. Luego, se procedió con la segunda fase que es el cronograma de entregas en donde se conoce qué tiendas en conjunto con su demanda requerida serán atendidas los lunes, miércoles y viernes. Por último, se realizó la fase de ruteo para

generar las debidas combinaciones de rutas respetando las restricciones dadas por el problema.

Finalmente, se hará la respectiva entrega de modelo matemático, de la información recopilada y de los diferentes cronogramas realizados durante las pruebas del programa.

2.3 Análisis de la información recopilada

En esta sección se presentan las informaciones más relevantes obtenidas por medio de la entrevista realizada y los datos brindados por la empresa para la ejecución del proyecto.

2.3.1 Entrevista semiestructurada

En virtud de preguntas abiertas y flexibles, se entrevistó al Jefe Logístico de la cadena de supermercados que nos permitió conocer el actual proceso de distribución de productos perecederos que realizan desde el centro de distribución hacia las diferentes tiendas. A continuación, en la siguiente tabla se observa información relevante de la entrevista semiestructurada realizada:

Tabla 2.2-Información relevante de la entrevista al Jefe Logístico

Fuente: elaboración propia

TÓPICO	Cargo: Jefe Logístico Tipo de empresa: Cadena de supermercados
Modelo actual de distribución de productos perecederos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A partir de la demanda que envía cada sucursal hasta con cuatro días de anticipación del día de entrega, se procede armar un cronograma de entrega con la cantidad de productos disponibles en el centro de distribución. ✓ La flota es tercerizada y cuenta con vehículos refrigerados de diferentes capacidades el cual es asignado por el operador logístico acorde a la cantidad de productos que desea enviar.
Consideraciones al momento de distribuir productos perecederos a las diferentes sucursales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cada camión puede entregar como máximo cuatro tiendas con la finalidad de no abrir tantas veces las puertas del camión y de esa forma conservar la frescura del producto. ✓ A su vez, cada vehículo lleva diferentes productos por lo cual para transportar los productos a la temperatura adecuada se utiliza mantas térmicas que permiten manejar diferentes temperaturas dentro de un mismo camión.

El Jefe logístico reveló cómo se realiza la asignación de los días de abastecimiento para las diferentes sucursales. También, comentó sobre el tipo de flota con la que cuentan para llevar a cabo esta actividad y que este servicio lo realiza un operador logístico (tercerizado).

Luego, mencionó ciertos aspectos que toman en cuenta para la conservación de los productos perecederos en el proceso de distribución ya que cada camión puede visitar más de una tienda y tiene asignado como máximo cuatro tiendas; ya que de esta forma se abren las puertas del camión la menor cantidad de veces posibles con la finalidad de conservar la frescura del producto. Por último, se comentó qué aspectos desean mejorar en este proceso para que sea más eficiente y óptimo a partir de los recursos con los que cuenta la empresa.

2.3.2 Análisis de datos

Mediante las bases de datos brindadas por la empresa se realizó el debido análisis para la extracción de los datos necesarios para el proyecto. Se procedió a filtrar las sucursales ubicadas en la ciudad de Guayaquil de la base de tiendas y se realizó una intersección con la base de latitudes y longitudes de las tiendas para obtener las coordenadas de cada sucursal de la ciudad para realizar la fase uno de la solución que se enfoca en diseñar cuatro *clústeres* en conjunto con sus matrices de distancias reales encontradas a partir de sus coordenadas por medio de un *solver* conocido como *VRP Spreadsheet Solver*. En la siguiente figura 2.2, se aprecia las sucursales de la ciudad de Guayaquil.

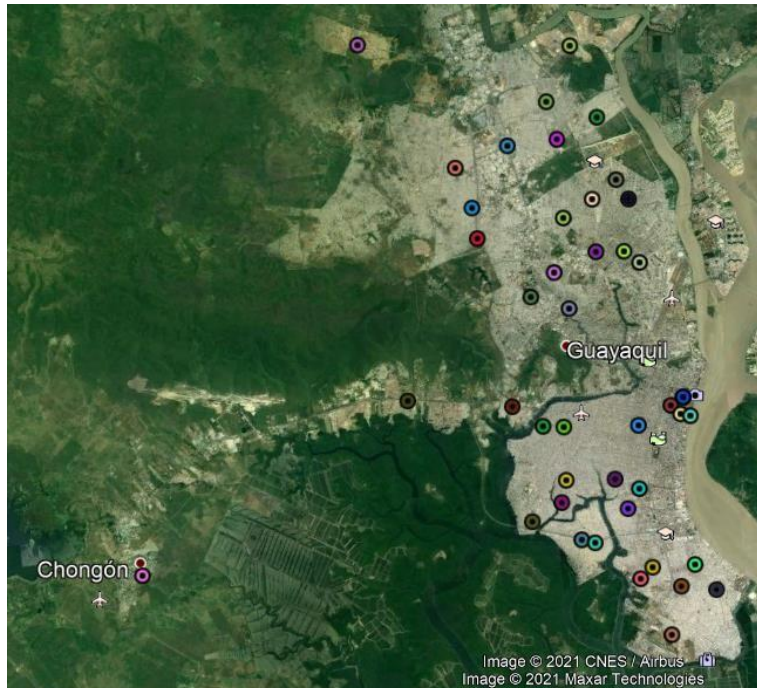


Figura 2.2- Sucursales de la ciudad de Guayaquil Fuente: elaboración propia.

Luego, a partir de la base de volumen de los productos y demanda diaria de productos perecederos de cada sucursal, con la ayuda del lenguaje programación Python, se realizó una tabla en donde se muestra la asignación de la cantidad de gavetas que deben ser entregadas a la sucursal en día asignado para distribución. Esto se efectuará según el clúster en el que están agrupadas las sucursales, por lo cual se obtuvieron así cuatro tablas de asignación siguiendo el modelo que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.3-Pre-cronograma para los días de distribución del clúster 1 de la cantidad de gavetas a entregar Fuente: elaboración propia

SUCURSALES	DEMANDA (GAVETAS)		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
168	36	29	59
167	63	49	96
171	38	35	76
503	48	29	55
123	50	39	83
392	33	27	52
175	16	11	26
151	49	47	78
544	41	34	60
549	27	21	43
120	37	38	57

La extracción de estos datos fue de vital importancia para la realización del proyecto, ya que son datos necesarios para la implementación del modelo matemático enfocado en el problema de distribución de productos perecederos.

2.4. Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados (CVRP)

A continuación, se describe el Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados (CVRP) el cual será utilizado para el desarrollo de la fase tres de la solución.

2.4.1 Modelo matemático

Para ejemplificación del modelo matemático, se muestra el CVRP para el clúster 1 en el lunes.

Definición de las variables y parámetros:

$G(V,E)$: grafo de las locaciones de los clientes

V : conjunto de tiendas

E : conexiones de todas las tiendas (i,j)

i,j : conjunto de clientes, $i = j = \{1, \dots, 12\}$

K : conjunto de vehículos, $K = \{1, \dots, 25\}$

Dem_i : demanda de los clientes, $Dem_i = \{36, 63, \dots, 37\}$

C_k : Costo de utilizar el vehículo k

Cap_k : Capacidad del vehículo k

D_{ij} : Matriz ij de distancias desde el cliente i hasta el cliente j

Definición de variables de decisión:

X_{ij}^k : Variable binaria, 1 si la tienda i a j en el vehículo k va a ser usado, 0 caso contrario X_{ijk}

Y_k : Variable binaria, 1 si el vehículo k es seleccionado, 0 caso contrario

u_i : Variable entera, representa la cantidad a transportar al cliente i

A continuación se presenta el modelo de programación entero:

$$\text{Minimizar } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} D_{ij} * X_{ij}^k + \sum_{k \in K} C_k * Y_k \quad (2.1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V, i \neq j} X_{ij}^k \leq 1 \quad \forall j \in V / \{0\} \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in V / \{0\}} X_{ij}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} X_{ij}^k = \sum_{i \in V} X_{ji}^k \quad \forall j \in V, \forall k \in K \quad (2.4)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V / \{0\}} Dem_j * X_{ij}^k \leq Cap_k \quad \forall k \in K \quad (2.5)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} X_{ij}^k \leq 4 \quad \forall k \in K \quad (2.6)$$

$$u_j - u_i \geq Dem(j) * X_{ij}^k + ((X_{ij}^k - 1) * Cap_k) \quad \forall i \in V > 1, \forall j \in V > 1, \forall k \in K \quad (2.7)$$

$$u_i \geq Dem_i \quad \forall i \in V > 1 \quad (2.8)$$

$$u_i \leq Cap_k \forall i \in V, \forall k \in K \quad (2.9)$$

$$X_{ij}^k, Y_k \in \{0,1\} \forall k \in K, \forall (i,j) \in E \quad (2.10)$$

$$u_i \in Z \forall i \in E \quad (2.11)$$

Definimos la función objetivo para minimizar la distancia recorrida y la cantidad de vehículos a utilizar porque suponen un costo importante que es la restricción (2.1). La restricción (2.2) asegura una visita por vehículo para cada cliente.

La restricción (2.3) permite que cada vehículo parta del origen que es el centro de distribución. La restricción (2.4) confirma que el flujo de los vehículos de salida y de entrada sea el mismo. La restricción (2.5) certifica que la cantidad transportada en un vehículo no exceda la capacidad de este. La restricción (2.6) es la que permite que no se abran las puertas más de 4 veces, ya que como son productos perecederos no se puede exceder esa cantidad. La restricción (2.7), (2.8) y (2.9) son las que impiden que no se creen subciclos. La restricción (2.10) y (2.11) sirven para definir las variables binarias X_{ij}^k , Y_k y u_i .

2.5 Uso de software

Para el proyecto era significativo usar una herramienta en la que sea idóneo ejecutar diferentes actividades que requería el mismo. Esto es, que se pueda tanto, analizar los datos para hallar la información pertinente, así como poder visualizarlos en diferentes gráficas. Proceder a aplicar modelos matemáticos y examinar los resultados encontrados, por lo que se decidió utilizar el lenguaje de programación Python.

2.3.3 Lenguajes de programación

Python es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum a principios de los años 90 que cuenta con una sintaxis simple, clara y sencilla; tipado dinámico, el gestor de memoria, y una gran cantidad de librerías disponibles actualmente como Numpy, Pandas, Pyomo, etc. La potencia del lenguaje hace que desarrollar un análisis en Python sea sencillo y rápido. (I., R., & R., 2014)

- **Librerías para el análisis de los datos y matriz de distancia.**

Como se mencionó anteriormente, las librerías usadas para el desarrollo de la información en el lenguaje de programación Python fueron:

- **Análisis de datos: Numpy y Pandas**

Numpy es un proyecto de código abierto creado en el 2005 que tiene como objetivo permitir la computación numérica con Python (Numpy, 2019). Y Pandas, que comenzó su desarrollo en el 2018 en el *AQR Capital Management* (AQR corporation, 2021), una empresa que desarrolla investigaciones para clientes, un año después se convirtió en código abierto. Python con pandas se usa en una amplia variedad de dominios académicos y comerciales, que incluyen finanzas, neurociencia, economía, estadísticas, publicidad, análisis web y más.

Estas dos librerías fueron de vitales porque se efectuó el manejo de arreglos, que son matrices que pueden ser de diferentes tamaños, y el uso de *dataframes*, que son estructuras de dos dimensiones en las que se puede guardar diferentes tipos de datos. A través de estos recursos, la manipulación y manejo de los datos fue mucho más cómoda ya que permitían exportar/importar los archivos de Excel o CSV (Archivo delimitado por comas), configurar los *dataframes* y demás funciones para el estudio de los datos.

- **Visualización de los datos: Matplotlib y Seaborn**

Matplotlib es una biblioteca completa para crear visualizaciones estáticas, animadas e interactivas en Python, mientras que Seaborn basada en la anterior librería mencionada. Estas dos proporcionan una interfaz de alto nivel para dibujar gráficos estadísticos atractivos.

- **Librerías para el desarrollo del modelo matemático**

Para el desarrollo del clustering y el modelo matemático se usó:

- **Sklearn.cluster KMeans**

Es una librería exclusivamente para desarrollar *clustering*.

➤ PuLP

PuLP es un modelador de programación lineal escrito en el lenguaje de programación Python. Esta librería puede llamar a glpk, coin-or clp/cbc, cplex, entre otros, para resolver problemas lineales. (Pypi, 2021)

2.3.4 Uso de herramientas

Otra de las exigencias fue conseguir una matriz de distancias reales entre las diferentes sucursales de la cadena de supermercados asignados a cada *clúster*. Fue conseguida a través de *solver* especializado. Se usó el *VRP Spreadsheet Solver* que es un solucionador específico para encontrar distancias reales usando los datos de Bing Maps. (Erdoğan, 2017)

- **Solucionador de la librería PuLP**

Se usó el solucionador llamado GLPK que significa GNU Linear Programming Kit, está diseñado para resolver programación lineal LP a gran escala, programación de enteros de mixtos y otros problemas de la misma área. Está escrito en un conjunto de rutinas de ANSI C y organizadas en forma de biblioteca. (2012)

2.6 Consideraciones éticas y legales

Las consideraciones éticas y legales son importantes porque permiten garantizar que las implementaciones hechas a partir de los datos sean correctamente utilizadas o se aprecie las diferentes normas de calidad relacionadas a la problemática.

El proceso de consentimiento de la información es cuando se realiza una entrevista donde sea necesario que ser confidencial y los datos e información entregada se respeten y no sean usados con otras intenciones, además de asegurar que su aplicación se realice de manera correcta para un uso únicamente académico. Todo ello se garantiza a lo largo del proyecto.

Otra acción que se debe considerar es la no manipulación de los datos a conveniencia del problema porque se requiere que los resultados esperados sean confiables y brinden una solución al dilema que se trata durante el proyecto.

➤ **Normas de transportación en el Ecuador**

La calidad de los productos perecederos se degrada con el paso del tiempo y por las condiciones del medio ambiente. Por lo cual se debe considerar las características químicas y/o fisiológicas que determinan el tiempo de vida útil, que, por lo general, es corto con relación a otros productos que no caducan.

Otro rasgo es que son más susceptibles a sufrir daños severos e irremediables durante su transportación, entonces es necesario que se tenga cuidado con el manejo de estos productos. Ya sea por las pérdidas económicas que afectarían negativamente el comercio y la confianza de los consumidores.

De la misma forma, para realizar este modelo de distribución se debe tomar en cuenta que se esté cumpliendo con la norma NTE INEN 2917 establecida por el INEN (Instituto Nacional de Normalización). Así, en la norma se detallan los requisitos de transporte que garantiza que los productos sean transportados de forma correcta y por el medio de correcto para conservar en buen estado el producto y su vida útil con la finalidad de que los alimentos sean inocuos y aptos para el consumo humano. (INEN - Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

En la norma de transporte podemos destacar los siguientes puntos en relación con el proyecto:

- No se deben transportar productos alimenticios junto a sustancias tóxicas, plaguicidas, por lo tanto, se asegura que no se afecte el producto al estar en contacto con este tipo de material.
- En los vehículos destinados al transporte a temperatura controlada, pueden realizarse cargas de otro tipo de mercancías distintas de productos alimenticios, aprovechando los retornos o los trayectos en vacío para recoger su carga específica, siempre que se trate de productos que no alteren, por un lado, por emanaciones, los productos transportados en cargas sucesivas, y por otro, por acciones corrosivas, las superficies interiores de los vehículos.
- Durante el transporte debe mantenerse la temperatura exigida.

Por lo que podemos apreciar de que se mantienen estos puntos en la solución que se propone.

➤ Reducción de la huella de carbono

Al minimizar la distancia recorrida se reduce la cantidad de gasolina utilizada por los vehículos destinados a la distribución, por ende, la producción de los gases de invernadero que emiten será menor, permitiendo un eficiente uso de la flota a la vez de que si tiene en consideración los efectos secundarios que tiene el transporte de mercancías repercute en el medio ambiente.

2.7 Cronograma de trabajo

En la siguiente tabla, se detalla cada una de las actividades realizadas con el correspondiente tiempo de duración de estas:

Tabla 2.3 Cronograma de actividades Fuente: elaboración propia

Actividades	Fecha inicio	Fecha Fin	Duración días	Meses/Semanas														
				Mayo				Junio					Julio		Agosto			
				1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	1	2		
Entrevista con el jefe logístico.	12/5/2021	13/5/2021	1															
Identificación de la problemática.	18/5/2021	19/5/2021	1															
Obtención de datos.	28/5/2021	5/6/2021	8															
Análisis de los datos.	7/6/2021	9/6/2021	2															
Extracción de los datos correspondientes a la ciudad de Guayaquil.	9/6/2021	16/6/2021	7															
Creación de <i>clústeres</i> y asignación de las tiendas	16/6/2021	20/6/2021	4															
Visita técnica al centro de distribución	18/6/2021	18/6/2021	1															
Realización de matrices de distancias de cada <i>clúster</i> .	20/6/2021	22/6/2021	2															
Elaboración de cronograma de días entregas a las tiendas con su respectiva demanda.	20/6/2021	23/6/2021	3															
Diseño del modelo matemático para el ruteo.	16/6/2021	30/6/2021	14															
Programación del modelo matemático.	30/6/2021	4/7/2021	4															
Verificación de la factibilidad.	30/6/2021	4/7/2021	4															
Desarrollo de la interfaz	2/08/2021	8/08/2021	7															
Análisis del resultado.	9/08/2021	12/08/2021	4															

Se puede evidenciar que la extracción de los datos correspondientes a la ciudad de Guayaquil fue una de las actividades que tomo mayor tiempo en vista que se identificó que datos eran necesarios para resolución del proyecto. Otra actividad que representaron mayor tiempo en la ejecución fue el diseño y programación del modelo matemático, debido a que se iba ajustando acorde a lo planteó solucionar previamente.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se mostrará el análisis de los resultados obtenidos al implementar el problema de ruteo de vehículos capacitados con los datos proporcionados por la empresa correspondientes a las ubicaciones de las sucursales, flota, volúmenes de productos y demanda diaria de cada sucursal.

3.1 Datos resultantes de aplicar la solución diseñada

Se comenzó con la visualización de todos los puntos de las ciudades de Guayaquil. A partir de los datos entregados por la empresa en cuanto a las ubicaciones en coordenadas de las sucursales, se realizó el proceso de *clustering* en lenguaje de programación Python con la librería *Sklearn.cluster KMeans* y como resultado se obtuvo cuatro *clústeres*, que se muestran en la ilustración 3.1.

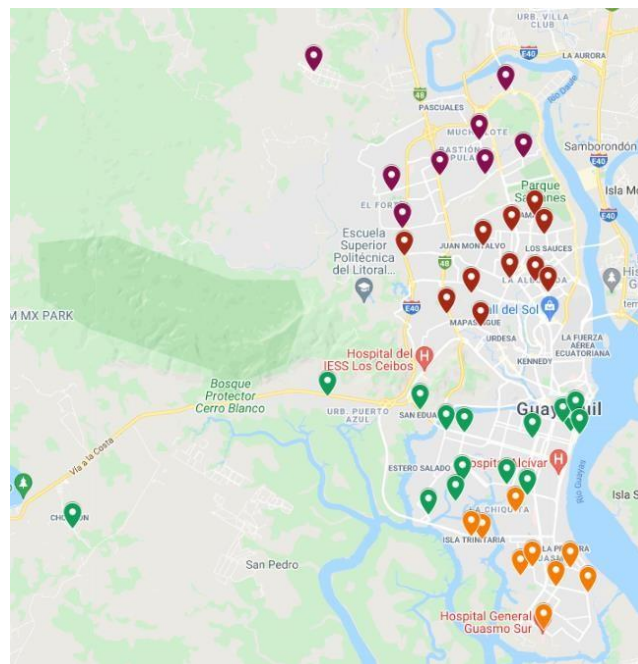


Figura 3.1- Sucursales de la ciudad de Guayaquil con la asignación de *clústeres* Fuente: elaboración propia.

El programa segmentó los clientes en 4 clústeres y se los clasificó de la siguiente manera: clúster 1 es el color morado, clúster 2 es el color café, clúster 3 es el color verde y clúster 4 es el color naranja. Se puede observar cómo se ha dividido en dos los sectores norte y sur de la ciudad de Guayaquil.

Para poder generar las rutas a seguir, se calculó las matrices de distancia de cada clúster. En la siguiente tabla se muestra la matriz de distancia del clúster 2. Estas distancias están medidas en kilómetros.

Tabla 3.1- Matriz de distancia del clúster 2. Fuente: elaboración propia.

	0	309	371	327	300	308	345	587	305
0	0.00	37.36	41.24	39.98	41.90	39.79	41.45	37.24	38.76
309	37.44	0.00	7.16	3.67	7.80	3.13	2.35	10.44	2.45
371	38.99	6.54	0.00	8.63	5.69	3.58	5.24	11.99	7.41
327	41.21	3.79	10.38	0.00	11.03	8.93	10.59	14.21	3.18
300	41.74	5.21	5.32	11.39	0.00	3.38	2.90	14.75	10.17
308	38.28	3.06	4.88	8.55	3.56	0.00	1.90	11.29	5.12
345	41.27	2.65	6.19	7.28	3.63	1.81	0.00	14.27	6.05
587	40.82	8.90	12.78	11.51	13.43	11.33	12.98	0.00	10.30
305	39.82	2.40	9.00	2.76	9.65	7.54	9.20	12.82	0.00

En esta matriz se tiene en las filas y columnas el número identificador de las sucursales, con la primera que tiene el número 0 por ser el centro de distribución. Se puede observar que cuando las tiendas son iguales, la distancia es 0. Como se mencionó anteriormente esta matriz fue creada con el *VRP Spreadsheet Solver*.

Al finalizar el proceso de *clustering* y de insertar la demanda de cada tienda, se crearon las rutas de distribución por cada clúster, usando el problema de ruteo de vehículos capacitados (CVRP) el cual fue codificado en el lenguaje de programación Python en conjunto con la librería PuLP. Al ejecutar el modelo, se obtuvo un calendario de entregas en formato Excel, en donde se muestra las diferentes rutas de cada clúster en conjunto con el vehículo que cubra la demanda de cada grupo de clientes, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3.2- Resultado final: calendario de las rutas semana del 07 al 13 de junio 2021 (lunes). Fuente: elaboración propia.

TIPO DE VEHÍCULO	LUNES
VEHICULO 199	[' CEDI', ' LOMAS DE LA FLORIDA', ' MARTHA DE ROLDOS', ' URDESINGUE', ' EL TREBOL', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' ALBORADA', ' GARZOTA', ' LA ROTONDA', ' COOP JUAN MONTALVO', ' CEDI']
VEHICULO 211	[' CEDI', ' LOS ROSALES', ' GUAYACANES', ' SAMANES', ' CEDI']
VEHICULO 199	[' CEDI', ' MI LOTE', ' PARAISO DE LA FLOR', ' CASUARINA', ' MUCHO LOTE', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' BASTION POPULAR', ' MUCHO LOTE B', ' VERGELES', ' EL MAESTRO', ' CEDI']
VEHICULO 199	[' CEDI', ' FLORESTA', ' GUASMO PEDREGAL', ' GUASMO HOSPITAL', ' GUASMO LAS ESCLUSAS', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' ISLA TRINITARIA', ' TRINITARIA II', ' CEDI']
VEHICULO 211	[' CEDI', ' MALVINAS', ' LOS ESTEROS', ' FERTISA', ' CEDI']
VEHICULO 199	[' CEDI', ' GOMEZ RENDON', ' ACACIAS', ' CRISTO DEL CONSUELO', ' LA 38 Y PORTETE', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' 23 Y LA Q', ' 25 Y LA LL', ' 25 Y LA CH', ' 29 Y PORTETE', ' CEDI']
VEHICULO 211	[' CEDI', ' MALECON', ' MERCADO', ' OLMEDO', ' CENTRO', ' CEDI']
VEHICULO 215	[' CEDI', ' CHONGON', ' VIA A LA COSTA', ' BRISAS', ' CEDI']

En la tabla 3.2 se puede apreciar las rutas a realizar el lunes en los diferentes vehículos asignados a ella. Como se propone en cada ruta hay que visitar como máximo cuatro tiendas a visitar sin contar al CEDI ya que es el centro de distribución y la flota siempre tiene que partir y regresar a aquel punto.

3.1.1 Poder computacional

Las pruebas computacionales se realizaron en una computadora con un procesador AMD RADEON R5, de 3.1 GHz con una memoria RAM de 8 GB y un sistema operativo de 64 bits.

3.1.2 Cumplimiento de los objetivos

Antes de la formulación se aplicó el método *clustering* a los puntos, por lo que el archivo con aquella información y programación será entregado a la empresa.

Para la realización del presente proyecto se utilizó como herramienta de codificación el lenguaje de programación Python, en donde se realizó el modelo matemático y diseño del cronograma de entregas a partir de la demanda semanal. Por lo cual, se entregará los códigos que permiten ejecutar el modelo de distribución.

También, se realizará la entrega de un interfaz en donde el usuario debe ingresar únicamente un documento formato Excel (.xlsx) en donde se encuentre la demanda semanal de cada sucursal de ciudad de Guayaquil. Después de cinco minutos de la ejecución del interfaz se genera un documento formato Excel (.xlsx) en donde se encuentra el calendario de entregas para las sucursales de la ciudad de Guayaquil.

3.2 Análisis de costos

A partir de las tarifas de viaje desde el CEDI hacia cualquier sucursal de la ciudad de Guayaquil establecidas por la empresa se calculó los costos incurridos tras la aplicación del modelo de distribución desarrollado para el presente trabajo.

Tabla 3.3- Tarifas de transporte Fuente: datos proporcionados por la empresa

ID TIENDA	NOMBRE TIENDA	Km	Grande	Mediano	Pequeño	Liviano
101	Centro	53	90	78	62	50
103	Mercado	53	88	77	61	49
105	Malvinas	60	101	87	70	56
116	Olmedo	51	90	78	62	50
120	Garzota	49	83	73	61	52
123	Samanes	45	77	66	56	48
126	Esclusas	62	104	90	72	58
144	Carchi	57	96	83	67	53
151	Guayacanes	46	78	67	58	49
160	Cristo Del Consuelo	56	93	81	66	52
167	Alborada	47	80	69	59	50
168	Urdesingue	46	78	67	58	49
169	Esteros	62	104	90	72	58
171	Martha De Roldós	44	75	64	55	47
175	El Trébol	44	75	64	55	47
181	Floresta	62	104	90	72	58
184	Portete Y 29	52	87	76	60	49
185	Perimetral	57	96	83	67	53
186	Acacias	63	104	90	72	58

Se tiene en la tabla 3.3 los costos de transporte desde el centro de distribución hasta las diferentes tiendas, las primeras dos columnas refieren al número identificador y el nombre que recibe el local, luego la cantidad de kilómetros mencionada y las últimas cuatro columnas es el costo que depende del tamaño de la flota a usar.

3.2.1 Rutas realizadas

Para poder comparar nuestros resultados, se obtiene las rutas de dos semanas:

31/05/2021 y 7/06/2021, para poder comparar con los resultados obtenidos. En la tabla

3.4 se muestra las rutas de la semana 31/07/2021:

Tabla 3.4 Resultados de la semana 31/05/2021 (miércoles) en el clúster 2

TIPO DE VEHÍCULOS	MIÉRCOLES
VEHICULO 199	[' CEDI', ' LOMAS DE LA FLORIDA', ' MARTHA DE ROLDOS', ' URDESINGUE', ' EL TREBOL', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' LOS ROSALES', ' GUAYACANES', ' SAMANES', ' CEDI']
VEHICULO 211	[' CEDI', ' ALBORADA', ' GARZOTA', ' LA ROTONDA', ' COOP JUAN MONTALVO', ' CEDI']
VEHICULO 199	[' CEDI', ' MI LOTE', ' VERGELES', ' MUCHO LOTE B', ' MUCHO LOTE', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' PARAISO DE LA FLOR', ' CASUARINA', ' BASTION POPULAR', ' EL MAESTRO', ' CEDI']
VEHICULO 199	[' CEDI', ' ISLA TRINITARIA', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' FLORESTA', ' GUASMO PEDREGAL', ' GUASMO HOSPITAL', ' GUASMO LAS ESCLUSAS', ' CEDI']
VEHICULO 211	[' CEDI', ' MALVINAS', ' LOS ESTEROS', ' FERTISA', ' TRINITARIA II', ' CEDI']
VEHICULO 199	[' CEDI', ' BRISAS', ' LA 38 Y PORTETE', ' 29 Y PORTETE', ' CHONGON', ' CEDI']
VEHICULO 210	[' CEDI', ' VIA A LA COSTA', ' 25 Y LA CH', ' 23 Y LA Q', ' CEDI']
VEHICULO 211	[' CEDI', ' GOMEZ RENDON', ' ACACIAS', ' CRISTO DEL CONSUELO', ' 25 Y LA LL', ' CEDI']
VEHICULO 215	[' CEDI', ' MERCADO', ' OLMEDO', ' MALECON', ' CENTRO', ' CEDI']

3.2.2 Visualización de una ruta

Se observa en la ruta que es: centro de distribución, Mi Lote, Vergeles, Mucho Lote b, Mucho Lote, centro de distribución, en la siguiente figura

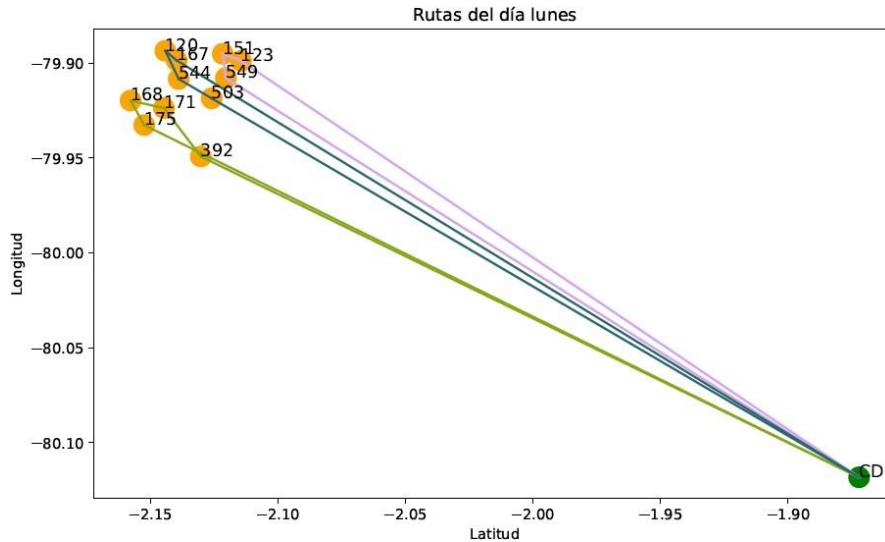


Figura 3.2- Una de las rutas del *clúster* uno en el lunes. Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.2 se entrega en la parte norte de la ciudad, en el eje de las ordenadas están las longitudes y en el eje de las abscisas la latitud. Los puntos naranjas están señalados con los identificadores de las tiendas. Se pueden ver como se forman las tres rutas que son representadas por cada color.

3.2.3 Otras consideraciones para los costos

Para realizar la implementación de un proyecto siempre es necesario tiempo para poder asimilar el cambio que se va a efectuar. Este tiempo dependerá de diversos factores, como el que tan acostumbrado estaba el usuario, o sí que tan dispuesto esté a cambiar su estructura de trabajo.

3.3 Análisis comparativos

Se realizaron cuatro instancias comparando nuestros resultados con las rutas establecida por la empresa con una flota de vehículos pequeños en donde se puede observar las siguientes diferencias:

Tabla 3.5 Resultados comparativos con respecto a costos de transporte en mayo 2021. Fuente: elaboración propia

	<i>Actual</i>	<i>Semana 1</i>	<i>Semana 2</i>	<i>Semana 3</i>	<i>Semana 4</i>
Costos	\$4409,00	\$4341,00	\$4105,00	\$4289,00	\$4257,00
Diferencia		\$68,00	\$304,00	\$120,00	\$152,00
% Ahorro		1.54%	6.89%	2.72%	3.45%

En la tabla 3.5 se encuentran los resultados del ruteo propuesto para el mes de mayo y se compara dichos resultados con el ruteo realizado por la empresa. Se evidencia que, al implementar la solución planteada, se obtiene un ahorro con respecto al ruteo actual en cuanto a los costos de transportes de cada semana del mes, los cuales son del 1,54%, 6.89%, 2,72% y 3,54% respectivamente.

Tabla 3.6 Resultados comparativos con respecto a distancias recorridas en mayo 2021 Fuente: elaboración propia

	<i>Actual</i>	<i>Semana 1</i>	<i>Semana 2</i>	<i>Semana 3</i>	<i>Semana 4</i>
Distancias recorridas (Km)	5259	4805	4187	4386	4311
Diferencia		454	1072	873	948
% Ahorro		8.64%	20.38%	16.60%	18.03%

En la tabla 3.6 se encuentran los resultados del ruteo propuesto para el mes de mayo y se compara dichos resultados con el ruteo realizado por la empresa. Se evidencia que, al implementar la solución planteada, se obtiene un ahorro con respecto al ruteo actual en cuanto a las distancias recorridas de cada semana del mes, los cuales son del 8,64%, 20.38%, 16.60% y 18.03% respectivamente.

Se observa que el ahorro presente en las tablas 3.5 y 3.6 no es un valor constante. Esto se debe a que las rutas generadas por la solución planteada van a depender de la demanda de cada sucursal, la cual va a cambiar cada semana y por ende que al ingresar la demanda semanal en el modelo se origine una planificación distinta tanto en rutas como en vehículos asignados.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para las conclusiones y recomendaciones se relacionó los objetivos específicos con los documentos, archivos y programas a entregar como resultado del proyecto.

Conclusiones

- Se puede observar una disminución semanal en las distancias recorridas en kilómetros de un 15%, lo que lleva también a una reducción de costos de transporte de un 3% en dólares.
- El diseño del cronograma o calendario de las rutas de la semana es de fácil comprensión donde el usuario pudo entender de forma clara y concisa la información de las rutas.
- La agilidad de la carga de información en el interfaz permitió que el usuario comprenda de forma rápida el manejo del programa.

Recomendaciones

- Una de las recomendaciones más pertinentes es la posibilidad de mejorar el análisis de la demanda, ya que la solución se limitó en la modelización y proceso del calendario. Por lo que puede servir para futuros trabajos donde sea preciso definir la demanda diaria a entregar acorde a sus niveles de ventas.
- Se propone una heurística sencilla para resolver las rutas que se interpongan entre ellas porque no se llega a optimalidad en todos los ruteos, ya que alcanzarla puede causar que se demore un tiempo excesivo.
- Los modelos matemáticos proporcionan respuestas exactas, pero a medida que crecen la cantidad de nodos, puede demorar un tiempo ya no considerable para el usuario, por lo que recurrir a algoritmos metaheurísticos puede ser considerado una opción viable a fin de tener resultados en tiempos cortos.

BIBLIOGRAFÍA

- A., J., & R., D. (1948). *Algorithms for Clustering Data*. (B. Martine, Ed.) New Jersey: Prentice - Hall.
Obtenido de https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/BOOKS/JAIN/Clustering_Jain_Dubes.pdf
- Amorim, A. (2014). The impact of food perishability issues in the vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 223-233.
doi:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835213003690>
- AQR corporation. (2021). <https://www.aqr.com/>. Obtenido de <https://www.aqr.com/>
- Barán B. y Herмосilla A. (2003). Comparación de un Sistema de Colonias de Hormigas y una Estrategia Evolutiva. *IX Jornadas Iberoamericana de Informática , Cartagena de Indias, Colombia., 2.*
- Coin-or. (s.f.). *GitHub*. Obtenido de Coins-or/CBC: <https://github.com/coin-or/Cbc>
- CSCMP. (2013). SUPPLY CHAIN MANAGEMENT TERMS AND GLOSSARY. En CSCMP.
- Erdoğan, G. (2 de MAY de 2017). *VRP Spreadsheet Solver*. Obtenido de <https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>
- GLPK (GNU Linear Programming Kit). (23 de Junio de 2012). *Introduction to GLPK*. Obtenido de <https://www.gnu.org/software/glpk/>
- Hillier, & Liberman. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. México.
- I., C., R., D., & R., B. (abril de 2014). El lenguaje de programación Python. (C. Holguín, Ed.) Santiago de Cuba, Santiago de Cuba, Cuba. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181531232001.pdf>
- INEN - Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). *Norma servicios de restauración requisitos de transporte*. INEN , Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2917.pdf>
- Numpy. (2019). *Numpy.org*. Obtenido de About us : <https://numpy.org/about/>
- Orrego J., O. D. (30 de Septiembre de 2016). *Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística*. Obtenido de <https://doi.org/10.22517/23447214.9013>: <https://doi.org/10.22517/23447214.9013>
- P., D., W., F., & N., G. (2017). Integrated production and distribution scheduling with a perishable product. *European Journal of Operational Research*, 906-916.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.019>.
- Pypi. (2021). *Pypi.org*. Obtenido de PuLP: <https://pypi.org/project/PuLP/>
- Stewart, J. (2012). *Cálculo de una variable. Transcendentes tempranas*. México: Cengage Learning.
- V. Cacchiani, V. H. (2014). A set-covering based heuristic algorithm for the periodic vehicle routing problem, *Discrete Applied Mathematics*. 163(Part 1), 53-64. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166218X12003320>

Yang. (12 de July de 2014). Epsilon Constrained Method for Constrained Multiobjective Optimization Problems: Some Preliminary Results. 1181–1186. doi:10.1145/2598394.2610012

ZHANG, L. (2012). *The two-machine open shop problem with time delays*. Quebec. Obtenido de <https://constellation.uqac.ca/2322/1/030297895.pdf>

ZhongxiangZhu, Bo Zhao, Enrong Mao, & Zhenghe Song. (2007). Image segmentation based on Ant. *IEEE international conference* , 460.