



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Automatización del proceso de asignación vehicular para la recolección
de material reciclable.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

Presentado por:

Adriana Gabriela González Muro

Jefferson Alejandro Muentes Suárez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi familia, sobre todo a mis padres que siempre me han apoyado a lo largo del camino y me han enseñado a esforzarme para obtener lo que deseo en la vida.

Adriana González

El presente proyecto lo dedico a Dios, a mi familia, en especial a mis padres quienes se esforzaron junto a mí para que pueda alcanzar este triunfo.

A mis amigos que siempre me acompañaron a lo largo de este camino y me apoyaron ante cualquier caída.

Jefferson Muentes

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por forjarnos con altos estándares, permitiéndonos ser líderes creativos e innovadores.

A nuestros profesores M.Sc. Guillermo Baquerizo y Ph.D. Xavier Cabezas por guiarnos alrededor de este camino, y siempre brindarnos su apoyo para el desarrollo de este proyecto.

A la empresa que confió en nosotros para realizar este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Adriana Gabriela González Muro* y *Jefferson Alejandro Muentes Suárez* 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"

Adriana González

Adriana Gabriela González Muro

Jefferson Muentes S

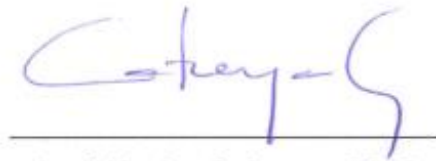
Jefferson Alejandro Muentes Suárez

EVALUADORES



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Guillermo Baquerizo", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

M.Sc. Guillermo Baquerizo
PROFESOR DE LA MATERIA
INTEGRADORA



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "José Xavier Cabezas", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

José Xavier Cabezas, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el presente proyecto se automatizó el proceso de asignación vehicular de una empresa ecuatoriana para la recolección de productos reciclables, que permita tener un control efectivo de los procesos de gestión. Por ello, se diseñó un software logístico mediante la modelización matemática, programación del problema de asignación y ruteo vehicular, para disminuir la generación de nuevos viajes, logrando una equidad en los pagos salariales a todos los transportistas que realizan alguna ruta. Es de gran importancia para evitar errores humanos en la planificación y para que los transportistas no tengan un impacto negativo en sus salarios.

Por medio de varias entrevistas, se recopiló y depuró la información necesaria para tener los parámetros de la modelización matemática y el algoritmo de asignación vehicular.

Los resultados obtenidos a partir de la modelización matemática fueron un ruteo vehicular que cumple con las restricciones del problema, del algoritmo de asignación se obtuvo una designación equitativa de transportistas según lo solicitado por la empresa, y la interfaz gráfica funcionó de forma eficaz, donde los pedidos se ingresan de forma fácil, de igual manera que la asignación y ruteo vehicular.

Mediante el análisis entre la situación actual y la propuesta se evidenció que los costos de transporte disminuyeron, así como también la asignación vehicular es más equitativa. Además, el ruteo vehicular cumple con todas las restricciones del problema.

Palabras Clave: HFVRPTW, Asignación vehicular, Automatización, Software Logístico

ABTRACT

This project automated the vehicular assignment procedure of an ecuadorian company for the collection of recyclable products, which allows to have an effective control of the management processes. For this reason, a logistic software is designed through the mathematical modelling, programming of the assignment problem and vehicular routing, to reduce the generation of new trips, reaching an equity in salary payments of all the transporters that made a route.

It is so important for reduce human errors in the planification and for transporters to avoid a negative impact on their salaries. Through several interviews, proceeded to collect and debug the information that it is necessary for had the parameters of the mathematical modelling and vehicular assignment algorithm.

The results obtained from the mathematical modelling were a vehicular routing that fulfill with the restrictions of the problem, from the assignment algorithm was obtain one equal distribution of transporters considered the request of the company, and the graphic interface work effectively, where the requested orders are easily entered, in the same way as the assignment and vehicular routing.

Through the analysis between the current situation and the proposal it evidence that the cost of transport decreased, also the vehicular assignment is fairer. The vehicular routing meets with all the restrictions of the problem.

Keywords: HFVRPTW, Vehicular assignment, Automation, Logistic Software

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
EVALUADORES.....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	VI
<i>ABTRACT</i>	VII
ABREVIATURAS	XI
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Situación actual de la empresa	2
1.3 Descripción del problema	3
1.4 Diagrama de la Problemática.....	4
1.5 Justificación del problema.....	5
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo general	6
1.6.2 Objetivos específicos	6
1.7 Marco teórico	7
1.7.1 Revisión de la Literatura.....	7
1.7.2 Marco conceptual	10
CAPÍTULO 2.....	18
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	18
2.1 Técnicas de investigación.....	18
2.1.1 Recopilación de datos	18
2.1.2 Depuración de datos	18

2.2	Diseño de un modelo matemático de ruteo	19
2.3	Uso de Software	19
2.3.1	Microsoft Excel.....	19
2.3.2	General Algebraic Modeling Systems (GAMS)	20
2.3.3	Matrix Laboratory (MATLAB).....	20
2.4	Flujograma de actividades	21
2.5	Cronograma de actividades	22
CAPÍTULO 3.....		23
3.	ANÁLISIS DE DATOS.....	23
3.1	Obtención de parámetros para el modelo matemático	23
3.1.1	Ubicación de las bodegas en el mapa de Ecuador	23
3.1.2	Identificación de las ciudades donde se encuentran las bodegas.....	24
3.1.3	Identificación de las tarifas entre destinos.....	25
3.1.4	Extracción de las coordenadas geográficas de cada bodega	27
3.1.5	Matrices de distancias y de tiempos.....	29
3.1.6	Clasificación de los destinos	29
3.2	Modelo Matemático	32
3.3	Algoritmo.....	37
3.3.1	Pseudocódigo para la asignación vehicular equitativa	37
3.4	Resultados.....	39
3.5	Interfaz gráfica	42
3.6	Análisis de la situación actual de la empresa LMN vs la propuesta.....	45
CAPÍTULO 4.....		55
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
4.1	Conclusiones	55
4.2	Recomendaciones.....	56

BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	59

ABREVIATURAS

CPFR	Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment Planeación Participativa, Pronóstico y Reabastecimiento
CRM	Customer Relationship Management Gestión sobre la Relación con los Consumidores
DRP	Distribution Resource Planning Planeación de los Recursos de Distribución
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GAMS	General Algebraic Modeling Systems Sistema General de Modelaje Algebraico
GUIDE	Graphical User Interface Development Environment Entorno de Desarrollo de Interfaz Gráfica de Usuario
HFVRP	Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem Problema de Ruteo Vehicular con flota heterogénea
MATLAB	Programming language Matrix Laboratory Lenguaje de programación Laboratorio de Matrices
SRM	Supplier Relationship Management Gestión de Relaciones con los Proveedores
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ALEATORIEDAD: Se asocia con toda actividad donde interviene el azar mas no lo previsible.

FLETE: Se refiere al costo para poner en marcha un transporte de mercancías.

NP-HARD: Se refiere a aquellos problemas que al menos son tan difíciles como los NP. Con mayor exactitud, un problema H es considerado NP-hard cuando cada problema L en NP se lo puede reducir en tiempo polinomial al problema H.

RECICLAJE: Se refiere al proceso de convertir los desechos en una nueva materia prima, la misma que será utilizada posteriormente.

RESPONSABILIDAD SOCIAL: Contribuir voluntariamente para la mejora social, ambiental y económica. Va más allá de cumplir con las leyes relacionadas con el medio ambiente, sino responsabilizarse por las actividades realizadas por su negocio.

RESTRICCIONES: Representan los límites del problema que lo ajustan a la situación real.

RUTA: Recorrido previamente establecido que parte de un lugar a otro.

TRANSPORTISTA: Se refiere a la persona responsable y encargada de trasladar algún vehículo por diferentes destinos.

VENTANAS DE TIEMPO: Son los límites inferior y superior de tiempo en el cual el cliente está disponible para recibir el pedido.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Diagrama de la Problemática	4
Gráfico 2.1 Flujograma de actividades.....	21
Gráfico 2.2 Cronograma de actividades.....	22
Gráfico 3.1 Bodegas recicladoras ubicadas en el mapa de Ecuador.....	23
Gráfico 3.2 Diagrama de cajas comparativo	26
Gráfico 3.3 Función Objetivo obtenida de Gams	39
Gráfico 3.4 Resultados de Gams del ruteo vehicular.....	40
Gráfico 3.5 Asignación del ejemplo propuesto.....	41
Gráfico 3.6 Interfaz gráfica, ventana de pedidos	42
Gráfico 3.7 Interfaz gráfica, ventana de asignación.....	43
Gráfico 3.8 Interfaz gráfica, ventana de rutas 1	43
Gráfico 3.9 Interfaz gráfica, ventana de rutas 2	44
Gráfico 3.10 Interfaz gráfica, ventana de rutas 3	44
Gráfico 3.11 Parámetros para la modelización matemática.....	45
Gráfico 3.12 Toneladas transportadas por cada semana del mes de mayo	46
Gráfico 3.13 Toneladas transportadas por cada semana del mes de junio	46
Gráfico 3.14 Toneladas transportadas por cada semana del mes de julio	47
Gráfico 3.15 Costos de transporte de los meses de análisis	47
Gráfico 3.16 Costos de transporte situación propuesta	48
Gráfico 3.17 Pedidos generados en cada uno de los meses.....	49
Gráfico 3.18 Vehículos utilizados para satisfacer la demanda en la situación actual	49
Gráfico 3.19 Vehículos utilizados para satisfacer la demanda en la situación propuesta.....	50
Gráfico 3.20 Sueldos de transportistas en una semana del mes de mayo con la situación actual	51
Gráfico 3.21 Sueldos de transportistas en una semana del mes de mayo con la situación propuesta.....	51
Gráfico 3.22 Sueldos de transportistas en una semana del mes de junio con la situación actual	52

Gráfico 3.23 Sueldos de transportistas en una semana del mes de junio con la situación propuesta.....	52
Gráfico 3.24 Sueldos de transportistas en una semana del mes de julio con la situación actual	53
Gráfico 3.25 Sueldos de transportistas en una semana del mes de julio con la situación propuesta.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Destino de las recicladoras	25
Tabla 3.2 Tarifas para recicladoras con valores atípicos	27
Tabla 3.3 Tarifas para recicladoras con valores dentro de los límites.....	27
Tabla 3.4 Coordenadas geográficas de las recicladoras	29
Tabla 3.5 Criterio de clasificación de destinos	30
Tabla 3.6 Clasificación de destinos por proveedor	32

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se busca automatizar el proceso de asignación vehicular para la recolección de materia prima, evitando el uso de métodos empíricos que pueden causar una comunicación no efectiva entre los eslabones de la cadena, el aumento de los costos de transporte e inequidad en los sueldos de los transportistas; además esta automatización va a permitir tener un control efectivo de los procesos de gestión.

En el presente capítulo, se expone la descripción del problema y su justificación, así como también, un diagrama de la problemática; antecedentes, situación actual de la empresa; objetivos y el marco teórico.

En el capítulo 2, se puede constatar la metodología utilizada para obtener parámetros necesarios que apoyen a la realización del modelo matemático del problema. Además, se detalla un diagrama de flujo de los procesos y el cronograma de actividades a seguir.

En el capítulo 3, se ofrece el análisis de datos y los resultados de la implementación propuesta en el capítulo anterior.

Finalmente, en el capítulo 4 se exponen las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

1.1 Antecedentes

La empresa LMN que se nombrará por confidencialidad, se originó como un programa de inclusión social y económica enfocada en el reciclaje, ante la necesidad de la responsabilidad social, que se ha convertido en una tendencia vital para este nuevo siglo. Cuentan con una red de microempresarios en las regiones de la Costa y Sierra del Ecuador dedicados a la compra y venta de

materiales reciclables, con los que mantiene una relación de confianza basada en compensaciones justas en pesos y precios razonables.

Además, esta empresa garantiza el abastecimiento de chatarra a otra empresa, la misma que es líder en la creación de soluciones de acero, convirtiéndose en su único proveedor de materiales ferrosos reciclados. Liderando el mercado del reciclaje desde el año 2009, siendo una organización de las pocas existentes en el país por la naturaleza de su negocio. Tienen la visión clara de encontrar un producto innovador, que pueda elaborarse a través de pellets de plástico que producen en una de sus plantas de procesamiento y comercializar el producto a nivel nacional e internacional.

1.2 Situación actual de la empresa

LMN es una empresa de reciclaje, que se dedica exclusivamente a convertir el producto reciclable en una nueva materia prima, lo que se conoce en la industria como economía circular. Se abastecen a través de las bodegas grandes de sus microempresarios, la mayor parte de su abastecimiento es a partir de esas 52 bodegas grandes, y en una mínima proporción de las bodegas intermedias y pequeñas. Cuentan con 32 plataformas, 2 camiones mulas y 4 camiones sencillos, los mismos se movilizan y rotan constantemente alrededor de todo el país recolectando chatarra o plásticos reciclados a través de una planificación empírica. También, cuenta con dos plantas: la Planta de Latacunga donde se encuentra situada toda la flota de transporte y la Planta de Durán donde se realiza la planificación de transporte. Por otra parte, la chatarra puede ser destinada a cualquiera de las plantas, mientras que el plástico es destinado exclusivamente a la planta de Durán.

Las plantas anteriormente citadas, se dedican al procesamiento de materia prima para la producción de materiales de acero y pellets de plástico, los productos de acero se comercializan alrededor de todo el Ecuador, mientras que los pellets que son producidos en la planta de Durán, se los vende a grandes

empresas que se dedican a la elaboración de productos plásticos (sillas, botellas, mesas, etc.).

1.3 Descripción del problema

En una empresa, sin importar su sector productivo, es muy importante la asignación vehicular debido que hay posibilidades de aumentar la productividad, reducir costos y ahorrar dinero. Para esto, es necesario contar con un programa computacional que permita gestionar de manera fácil y óptima la flota de transporte.

Para este caso de estudio, la asignación de transportistas a destinos se realiza en la planta de Durán según los pedidos de los proveedores, los cuales solicitan vehículos con ciertas características para que se trasladen a recoger la materia prima (chatarra) en sus bodegas o recicladoras. Básicamente, se designa a cualquier transportista disponible, desde la planta de Latacunga hacia dicha bodega. Generalmente, si el vehículo solicitado es un tráiler con plataforma de cualquiera de los tres tipos (cerrada piloto, cerrada copiloto, cerrada ambas) lo que los transportistas hacen al llegar a la recicladora es intercambiar la plataforma vacía que llevan por la plataforma llena de chatarra que el proveedor ya tiene lista; luego retornan a la planta ubicada en Latacunga con ese material reciclable.

Si el vehículo solicitado es un camión mula (capacidad máx. 12 Ton) o un camión sencillo (capacidad máx. 8 Ton) lo que los transportistas hacen al llegar a la recicladora es esperar a que el material sea estibado dentro del camión, para luego llevar esa chatarra o a la planta ubicada en Latacunga o a la planta ubicada en Durán en caso de que otros proveedores de la costa soliciten vehículos con esas capacidades de tonelaje. Si llevan la chatarra a la planta de Latacunga termina su recorrido, pero si la almacenan en la planta de Durán, son asignados a nuevos destinos para recoger (chatarra) y finalmente llevarla a su destino.

Para recoger el plástico, utilizan camiones desocupados que se encuentran cerca de Durán y se les paga un flete adicional. El plástico sólo debe ser transportado a la planta de Durán.

Con lo anteriormente mencionado, se puede establecer que no hay control sobre si un transportista ha sido ocupado más veces que otro, lo que trae como consecuencia que al final del mes, muchos conductores se quejen que no les asignaron la misma cantidad de destinos como a otros, provocando molestias por pagos desiguales.

1.4 Diagrama de la Problemática

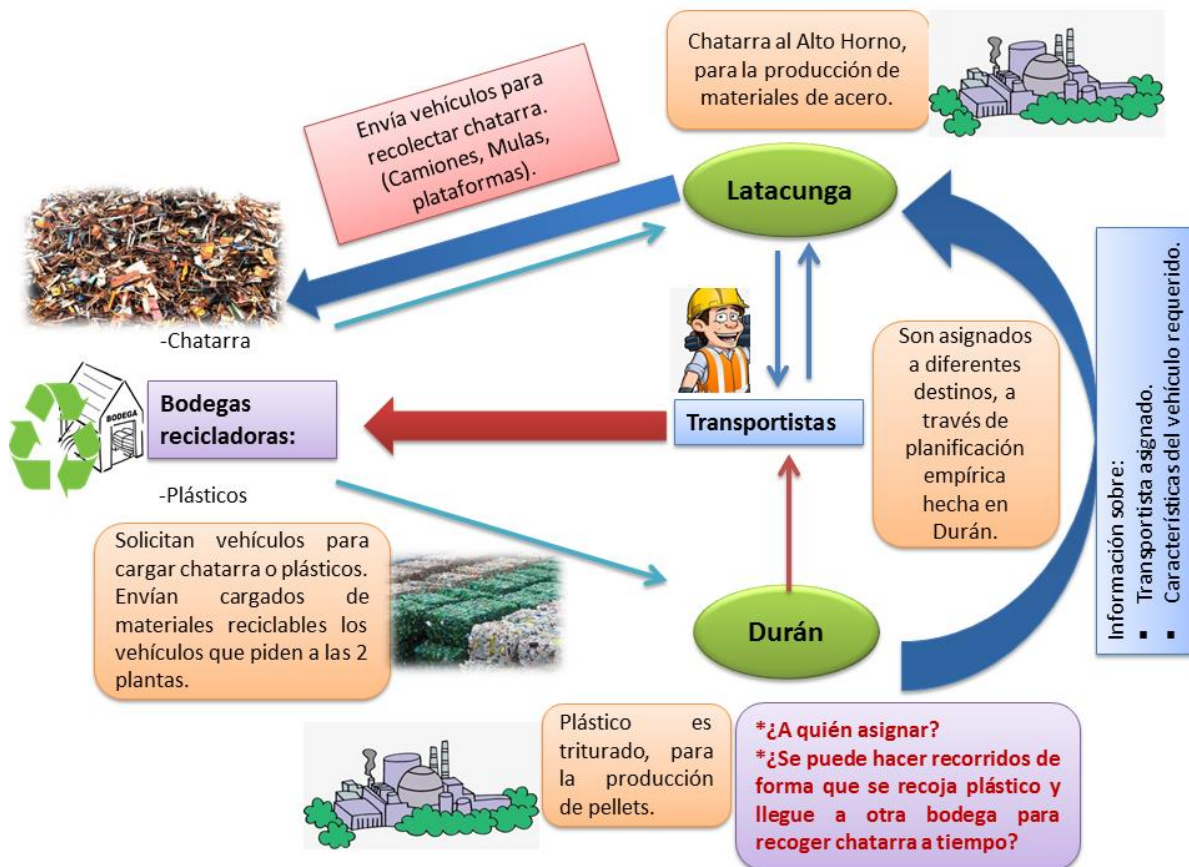


Gráfico 1.1. Diagrama de la Problemática
Fuente: Elaboración propia

En este proyecto se llevará a cabo la automatización del proceso de asignación y ruteo vehicular, el cual en la actualidad se realiza en la planta de Durán de forma empírica.

Se realizará el análisis respectivo para implementar la recolección de plásticos a las rutas ya designadas para recolectar chatarra, y que este material sea entregado en la planta de Durán para luego continuar con su ruta designada respetando las ventanas de tiempo. Debido que al recolectar chatarra salen de la planta ubicada en Latacunga con el vehículo vacío hasta llegar a su destino, para luego volver a esta planta con el material; por lo tanto, se busca implementar la recolección de plástico para evitar que el vehículo permanezca grandes kilómetros vacío y minimizar costos.

1.5 Justificación del problema

Las empresas que realizan empíricamente los procesos de asignación vehicular no tienen la ventaja de poder controlar efectivamente aquellos procesos de la gestión de flota vehicular, además se presentan inconvenientes para prever los incrementos en los costos de transporte.

Conscientes de la importancia de la asignación vehicular surgió la necesidad de automatizar este proceso, evitando errores humanos en la planificación y así equilibrar la asignación de los transportistas para que no tengan un impacto negativo en sus salarios.

Se realizará un programa computacional orientado al transporte; en el cual la persona responsable de la planificación ingresará el pedido del proveedor con las especificaciones provistas por él mismo, mostrándose una lista de los transportistas disponibles para luego asignarlos equitativamente por medio de un sólo clic, dependiendo del histórico de destinos ya visitados por cada uno de ellos. Esta automatización es necesaria para crear un ambiente de trabajo justo para los operarios de los vehículos.

El software logístico propuesto no va dirigido solo para empresas dedicadas a la recolección de materiales reciclables, sino también para aquellas empresas que entre sus actividades de negocio está incluida la distribución, y esperan contar con algún software que ayude a distribuir la carga de trabajo por conductor, así

como también obtener la ruta óptima que debe seguir el transportista para no incurrir en costos innecesarios en el transporte.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Un objetivo general es la meta por alcanzar cuando se comienza a desarrollar un proyecto, describe claramente lo que se logrará al final del trabajo.

Para este proyecto, el objetivo general es:

Diseñar un software logístico que permita a través de ciertas restricciones, una asignación vehicular hacia una red de recicladoras en diferentes puntos del Ecuador, mediante la modelización matemática, programación del problema de asignación y ruteo vehicular, disminuyendo la generación de nuevos viajes con equidad en los pagos salariales a todos los transportistas.

1.6.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los diferentes pasos o estrategias por seguir para alcanzar el objetivo general.

Los objetivos específicos para este proyecto son los siguientes:

- Analizar la información sobre los transportistas y proveedores de materiales reciclables, provistos por la empresa.
- Crear un modelo matemático de ruteo ajustado al problema a tratar.
- Implementar el modelo matemático mediante el software Gams.
- Utilizar Gams obteniendo recorridos factibles para la recolección del material reciclable en los diferentes destinos.
- Emplear Matlab para programar la asignación vehicular.
- Diseñar mediante Matlab la interfaz gráfica del software, con todos sus componentes y ventanas.

1.7 Marco teórico

1.7.1 Revisión de la Literatura

En esta sección, se describirán investigaciones o artículos que están vinculados con la problemática de este proyecto, los mismos que brindarán información relevante y de gran utilidad para la elaboración de este trabajo.

Artículo No. 1

Título de publicación: “Improving logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling.”

Autores: Valerio Elia, María Grazia Gnoni, Fabiana Tornese.

Institución / Universidad: Universidad del Salento. (Italia)

Fecha de publicación: 13 noviembre 2017

Resumen:

El artículo presenta una planificación dinámica para la recolección de residuos donde no se establece con anterioridad la frecuencia de recolección, es decir, no existe un plan fijo, sino que se basan en los niveles de llenado actuales de los contenedores de residuos.

Permitiendo a los proveedores planificar la recolección siguiendo la demanda real, dando un servicio más receptivo y a su vez mejorando la logística.

En el documento se comparan tres alternativas; una planificación fija de recolección, una dinámica y una mixta, aplicados a un caso de prueba con datos del municipio italiano para la recolección de diferentes tipos de residuos WEEE (WEEE: Residuos de equipos eléctricos y electrónicos).

Se utilizaron simulaciones con técnicas de modelización de Sistemas Dinámicos basado en los niveles de stocks y los flujos, y luego se modelaron a través de una distribución de Pet considerando los factores de ubicación.

Los resultados obtenidos demuestran un rendimiento prometedor de la planificación dinámica en comparación con los de la planificación fija, mientras que la mixta combina las ventajas de ambas permitiendo ganar flexibilidad en la demanda del cliente y mejorando la utilización de los recursos.

Dirección electrónica:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17308152>

Artículo No. 2

Título de publicación: “Optimización del proceso de recolección de desechos sólidos de la ciudad de Ambato mediante el diseño de un modelo de distribución de redes.”

Autores: Ángel Geovanny Guamán Lozano, Gloria Elizabeth Miño Cascante, Juan Carlos Cayán Martínez.

Institución / Universidad: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fecha de publicación: 27 noviembre 2017

Resumen:

El documento presenta un modelo de redes que ayuda a minimizar los costos relacionados a la recolección de desechos sólidos en un cantón de la provincia de Tungurahua, permitiendo una adecuada distribución del peso por cada viaje realizado en dicha red.

El diseño de la red resultó bastante flexible, y para ello se tuvo que tomar en cuenta variables como la distancia de cada viaje, toneladas recolectadas, cantidad de camiones, capacidad de carga de cada camión, y sobre todo los costos relacionados a la operación.

En este proyecto, también se implementó un modelo de ruteo que de igual manera logró reducir costos a través de la recolección de más desechos, que se planificaron mediante una asignación de vehículos recolectores a diversas áreas específicas.

Para la realización exitosa del artículo mencionado, se tuvo que recurrir al uso de la programación lineal aplicando herramientas informáticas para encontrar una solución óptima. Los resultados finales mostraron la forma de reducir los costos, y también se evidenció la posibilidad de reducir la flota de camiones.

Dirección electrónica: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6230340.pdf>

Artículo No. 3

Título de publicación: “Propuesta de mejora para el servicio de recolección de basuras del área urbana del municipio El Retiro.”

Autores: Santiago Jaramillo Muñoz.

Institución / Universidad: Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Fecha de publicación: 2018

Resumen:

El artículo plantea como problema principal el incremento de la población de la ciudad y lo que ha generado como consecuencia, que está directamente relacionado al aumento de la demanda de servicios públicos de calidad y de

mayor cobertura, entre los cuales está la recolección de basura del sector de dicha ciudad.

Para abordar dicho problema se lo subdividió en cuatro etapas, entre las que están la fase del entendimiento de los componentes, la modelización de la situación, la evaluación del modelo, finalmente un análisis de criterios para llegar a la mejor solución.

Una vez culminada las cuatro etapas, se identificaron los criterios críticos de la problemática, para luego elaborar una combinación de escenarios diferentes en la recolección de basura, escogiendo la mejor opción posible que ayudará a satisfacer las necesidades de toda la población que esperaba ser atendida por el servicio de recolección.

Dirección electrónica: <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2228>

1.7.2 Marco conceptual

A continuación, se presentarán algunas definiciones que serán una guía para el desarrollo efectivo de este proyecto.

1.7.2.1 Problema de asignación

Este modelo pertenece a un problema de programación lineal en el cual existen recursos que deben ser asignados a la realización de tareas. “Los recursos asignados no necesariamente tienen que ser personas, también pueden ser vehículos, máquinas.” (Jason, 2016)

El objetivo del modelo es realizar una asignación óptima que garantice tanto el cumplimiento de tareas a las que los recursos fueron asignados, pero también que se lo haga a un costo mínimo posible.

En este tipo de problema deben de tenerse en cuenta varios supuestos:

1. La cantidad de recursos ya asignados va a ser igual a la cantidad de tareas existentes.
2. Cada recurso es asignado a una sola tarea.
3. Cada tarea únicamente puede ser gestionada o trabajada por sólo un asignado.
4. Por cada recurso que sea asignado a una tarea, existirá un costo asociado.
5. La finalidad es conocer de qué manera hacer las asignaciones de forma que se minimicen los costos totales.

1.7.2.2 Modelo de asignación vehicular

En este problema se debe considerar los supuestos 3, 4, 5 del modelo de asignación que se encuentran previamente descritos. Para este modelo los recursos serán los camiones, mientras que las tareas serán visitar a algún cliente diferente, a través de ciertas rutas. El objetivo es que se le asigne a cada camión clientes para que puedan visitarlos, de forma que se minimice la distancia total recorrida.

Formulación matemática

Índices o conjuntos

$k = \{1, 2, \dots, K\}$ Conjunto de vehículos

$j = \{1, 2, \dots, n\}$ Conjunto de clientes

Data

d_{kj} : Distancia entre el centroide k y el cliente j

c_k : Capacidad de carga máxima del camión k

b_j : Demanda de cada cliente j

Variables de decisión

$$x_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } k \text{ visita al cliente } j \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

Función objetivo

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{kj} d_{kj} \quad (1.1)$$

Restricciones

$$\sum_{j=1}^n x_{kj} b_j \leq c_k \quad \forall_{k=1,2,\dots,K} \quad (1.2)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{kj} = 1 \quad \forall_{j=1,2,\dots,n} \quad (1.3)$$

$$x_{kj} \in (0,1) \quad (1.4)$$

En cuanto a la explicación de las restricciones, la ecuación (1.2) significa que la demanda de los clientes asignados al camión k no podrá exceder la capacidad del camión. Por otro lado, la ecuación (1.3) hace referencia a que todo cliente deberá ser asignado a exactamente un camión. Finalmente (1.4) muestra que la variable de decisión x es binaria.

1.7.2.3 Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidades y Ventanas de Tiempo (CVRPTW)

Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidades y Ventanas de Tiempo o *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) es una variante del Problema de ruteo de vehículos con Capacidades o *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), donde se consideran los intervalos de tiempo en los cuales empezará el servicio de cada uno de los clientes. Las ventanas de tiempo pueden llegar a complicar la planificación e incurrir en costos de penalización; las mismas se presentan naturalmente en negocios que trabajan

con horarios programados como, por ejemplo: distribución del periódico, ruteo del bus escolar, entre otros.

“En la literatura del CVRPTW el número de vehículos disponibles para servir a los clientes son usualmente considerados como ilimitados y la función objetivo depende de la naturaleza del método de solución escogido. Para métodos exactos el objetivo es minimizar la distancia total recorrida. Para heurísticas el principal objetivo es minimizar el número de vehículos usados y secundariamente minimizar la distancia total recorrida. Pueden existir excepciones para esta declaración general” (Paolo Toth, 2002)

CVRPTW es un problema NP-hard, también es considerado un problema NP-Completo a pesar de que se le encuentre una solución viable.

El CVRPTW está definido por el grafo dirigido $G = (V, A)$, donde los depósitos están representados por los nodos fuente y sumidero. Donde $N = V/\{0, n + 1\}$ es el conjunto de vértices de los clientes. Los caminos entre el nodo fuente y sumidero en G representan todas las rutas viables.

Formulación matemática

Índices o conjuntos

$V = \{0, 1, 2, \dots, n, n+1\}$ Conjunto de clientes incluyendo el depósito

$k = \{1, 2, \dots, K\}$ Conjunto de vehículos

$N = \{1, 2, \dots, 20\} \quad \forall (i, j) \in V$ Conjunto de clientes

Data

C_{ij} : Costo de viaje desde el nodo i al nodo j (Incluyendo el depósito)

t_{ij} : Tiempo del recorrido desde el nodo i al nodo j (Incluyendo el depósito)

a_i : Límite inferior de la ventana de tiempo de cada cliente i

b_i : Límite superior de la ventana de tiempo de cada cliente i

S_i : Tiempo de duración de servicio para cada cliente i

Q_k : Capacidad de carga de cada tipo de vehículo k

q_i : Demanda de cada cliente i

Variables de decisión

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } k \text{ va de } i \text{ a } j \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

T_{ik} : Instante en que el vehículo k llega al cliente i

T_{jk} : Instante en que el vehículo k llega al cliente j

Función objetivo

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} X_{ijk} \quad (1.5)$$

Restricciones

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (1.6)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (1.7)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} X_{ijk} - \sum_{i \in \delta^+(j)} X_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, j \in N \quad (1.8)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(n+1)} X_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (1.9)$$

$$X_{ijk}(T_{ik} + S_i + t_{ij} - T_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (1.10)$$

$$a_i \leq T_{ik} \leq b_i \quad \forall k \in K, i \in V \quad (1.11)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \sum_{j \in \delta^+(i)} X_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (1.12)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (1.13)$$

La restricción (1.5) busca asignar a cada cliente exactamente una ruta del vehículo. La siguiente restricción (1.6) hace referencia al número de veces que un vehículo sale del depósito y la (1.8) al número de veces que un vehículo llega al depósito. La restricción (1.7) asegura que a cada cliente le llega un vehículo, y que el mismo sale de él. La ecuación (1.9) asegura que un vehículo no empiece el servicio si no cumple con la restricción de tiempo, en la (1.10) hace referencia al tiempo en el que llega el vehículo esté dentro de la ventana de tiempo. Por último, las restricciones (1.11) y (1.12) busca que la demanda no exceda la capacidad del vehículo.

Para transformar el modelo anterior a un modelo lineal, se cambia la restricción (1.10) por la siguiente: $T_{ik} + S_i + t_{ij} - T_{jk} \leq (1 - x_{ijk})M_{ij} ; \forall k \in K, (i, j) \in A$, en donde M_{ij} , $(i, j) \in A$ debe ser una constante grande que puede estar como máximo entre $(b_i + s_i + t_{ij} - a_j, 0)$.

1.7.2.4 Problema de Ruteo de Vehículos con Flota Heterogénea (HFVRP)

El VRP con flota heterogénea considera diferentes tipos o grupos de vehículos, estos pueden diferir en ciertos aspectos como: la capacidad, velocidad, costos variables, clientes a los que pueden acceder, entre otros; siendo la capacidad de cada uno de los vehículos lo más importante a considerar. HFVRP busca determinar la composición vehicular a utilizar y la ruta de vehículos heterogéneos que servirán a los clientes, minimizando la distancia total recorrida.

Dado que es una variante del VRP, puede considerar tanto una flota heterogénea como una flota homogénea; debido que considera una restricción en la que influye la capacidad de cada uno de los vehículos. Además, asume una flota de vehículos limitada.

A continuación, se presenta la modelización matemática del HFVRP.

Formulación matemática

Índices o conjuntos

$V = \{0, 1, 2, \dots, n, d\}$ Conjunto de clientes incluidos los vértices 0 y d

Siendo los vértices "0" y "d" el punto de inicio y punto final de una ruta

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ Conjunto de clientes por visitar

$K = \{1, 2, \dots, k\}$ Conjunto de tipos de vehículos

Data

D_{ij} : Distancia desde el cliente i al cliente j , incluyendo al depósito

b_j : Demanda del cliente j

Q_k : Capacidad del vehículo k

Variables de decisión

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } k \text{ va de } i \text{ a } j \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

$$Y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{si el cliente } i \text{ es atendido por el vehículo } k \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

u_i^k : Carga del vehículo k al visitar al cliente i

u_j^k : Carga del vehículo k al visitar al cliente j

Función objetivo

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in V} D_{ij} X_{ijk} \quad (1.14)$$

Restricciones

En la ecuación (1.15) se busca visitar a cada cliente por algún vehículo, una sola vez

$$\sum_{k \in K} Y_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (1.15)$$

Las ecuaciones (1.16) y (1.17) son restricciones de flujo. Donde si el vehículo k visita al cliente j este salga del depósito, y sea el mismo vehículo el que realice la ruta entre i y j

$$\sum_{j \in V} X_{0jk} - \sum_{j \in V} X_{j0k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (1.16)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} - \sum_{j \in V} X_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, \forall i \in V \setminus \{d\} \quad (1.17)$$

Las ecuaciones (1.18) y (1.19) emparejan las dos variables de decisión

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} = Y_{ik} \quad \forall k \in K, \forall i \in V \setminus \{d\} \quad (1.18)$$

$$\sum_{j \in V} X_{adjk} = Y_{ak} \quad \forall k \in K, \quad (1.19)$$

Restricciones MTZ para controlar la capacidad y la formación de subciclos

$$u_i^k - u_j^k + Q_k \cdot X_{ijk} \leq Q_k - b_j \quad \forall (i, j) \in V, \forall k \in K \quad (1.20)$$

$$b_i \leq u_i^k \leq Q_k \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (1.21)$$

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El capítulo que se presenta a continuación explica los métodos empleados para lograr los objetivos planteados en este trabajo.

2.1 Técnicas de investigación

La técnica de investigación realizada fue la entrevista, donde se llevaron a cabo preguntas específicas para obtener información clara del problema. Su diseño se elaboró en base a los problemas detectados dentro de la organización.

2.1.1 Recopilación de datos

Se realizaron dos entrevistas, la primera fue con el gerente general de la empresa, en la cual se conoció a detalle la situación actual de la organización, sus antecedentes, y en general la actividad principal del negocio. La segunda entrevista se realizó con el responsable del transporte en la empresa, con la finalidad de obtener los datos necesarios para la modelización matemática, como la lista de proveedores y transportistas.

2.1.2 Depuración de datos

La empresa cuenta con 52 bodegas recicladoras ubicadas alrededor de todo el país. La base de datos que nos proporcionó la empresa cuenta con la dirección de cada una de dichas bodegas separadas por regiones. Se procedió a localizarlas en el mapa del Ecuador, por medio de la aplicación My maps de Google, con la finalidad de obtener las coordenadas geográficas exactas para la generación de la matriz de distancias, la misma se obtuvo por medio del solver VRP Spreadsheet v3.01 de la Universidad de Bath (Erdogan, 2017). Siendo la matriz de distancias indispensable para la modelización del problema a resolver.

Una vez obtenidas las distancias, se realizó a una clasificación de los destinos, a través de parámetros de distancias proporcionados por la empresa, separándolos en función de destinos cortos, medianos y largos.

La base de datos proporcionada por la empresa cuenta con información sobre distancias, tiempos y tarifas desde la planta de Latacunga hacia todos los destinos. Es por ello, que se hizo un análisis de las variables anteriormente mencionadas, relacionando a todos los destinos y plantas.

Además, la empresa proporcionó la información sobre los pagos realizados en los meses de mayo, junio y julio separadas por transportistas. La información incluye: la fecha que realizaron el recorrido, el destino final, la compañía transportista, y el costo de la ruta realizada. Por lo tanto, se consideró los pedidos de una semana de cada mes para realizar un análisis de los gastos de transporte y una comparación de la situación actual con la propuesta en este proyecto.

2.2 Diseño de un modelo matemático de ruteo

El modelo matemático que se toma como referencia para la modelización del problema de este proyecto es HFVRP, pues cumple con las características necesarias como lo son: contar con depósitos, clientes dispersos, flota vehicular con diferentes tipos de capacidades, y el objetivo de minimizar los costos de transporte a través del ruteo vehicular.

2.3 Uso de Software

Para este proyecto se utilizó tres software que fueron de gran ayuda, los mismos se detallan a continuación.

2.3.1 Microsoft Excel

Microsoft Excel es una aplicación enfocada en el área financiera y contable permitiendo realizar estas tareas a través de fórmulas y gráficos, además cuenta con un lenguaje de programación basado en Visual Basic el cual permite realizar funciones específicas al usuario y automatizar tareas.

Se utilizó el solver VRP Spreadsheet v3.01 obteniendo las matrices de distancias y tiempos, que se convirtieron en parámetros de la modelación matemática. Este solver utiliza Bing Maps para obtener las distancias a través de

algoritmos de geolocalización, para el cual se tuvo que ingresar la data de latitud y longitud de cada una de las bodegas obtenidas por medio de My Maps.

2.3.2 General Algebraic Modeling Systems (GAMS)

GAMS es una herramienta líder en la industria de la optimización matemática, este sistema combina el álgebra matemática con los conceptos de programación computacional para la resolución y modelación de problemas de optimización entera mixta, lineales, y no lineales.

Mediante este software se implementó el modelo matemático ajustado al problema del proyecto, con la finalidad de obtener soluciones exactas de diferentes escenarios y analizar el tiempo que se toma para la obtención de dichas soluciones. El solver utilizado dentro de este software fue CPLEX con licencia full, con una versión de Gams 23.3. La máquina y procesador utilizados para ejecutar los diferentes escenarios fueron HP LAPTOP modelo 14-BS026LA, e INTEL® CORE™ I5-7200U CPU @2.50 GHz 2.71 GHz con un sistema operativo de 64 bits.

2.3.3 Matrix Laboratory (MATLAB)

MATLAB es un lenguaje de programación propio, el cual combina un análisis iterativo, y permite operaciones de matrices y vectores, funciones, programación orientada a objetos, entre otras. El cual, se lo utilizó como una herramienta para la programación del algoritmo de asignación vehicular para lograr una planificación equitativa de los transportistas.

Además, se usó para realizar la interfaz gráfica a través de GUIDE el editor de interfaz de usuario, donde la empresa podrá realizar la asignación y ruteo vehicular por medio de unos clics sin necesidad de tener conocimientos en el lenguaje de programación utilizado.

2.4 Flujograma de actividades

Es una representación en forma de diagrama donde se explica de manera lógica y ordenada los diferentes procesos a realizar, para conseguir el objetivo final del proyecto. A continuación, se detallan los procesos que se realizaron:

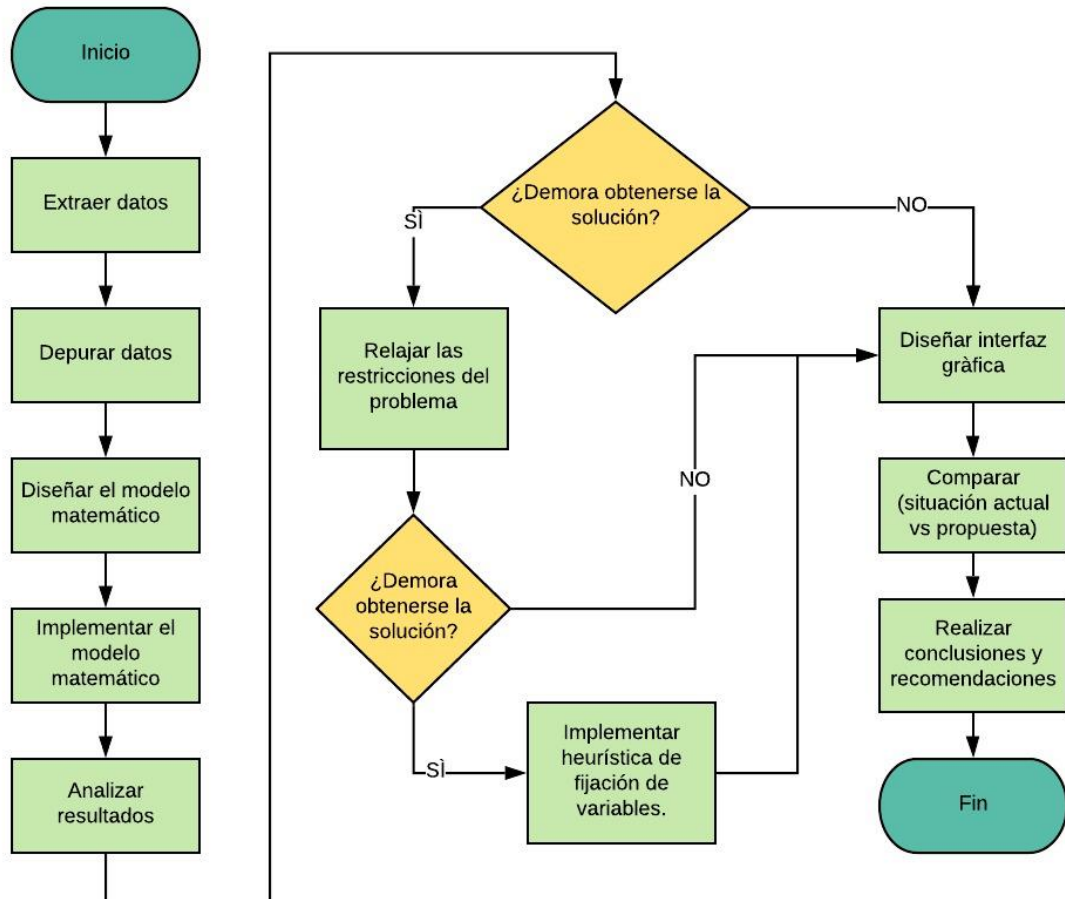


Gráfico 2.1 Flujograma de actividades
Fuente: Elaboración Propia

2.5 Cronograma de actividades

En él se establecen los tiempos que duran cada una de las actividades a realizar de un proyecto. En el siguiente gráfico se estableció cada una de las actividades a realizar en este proyecto, así como los tiempos estimados de duración.

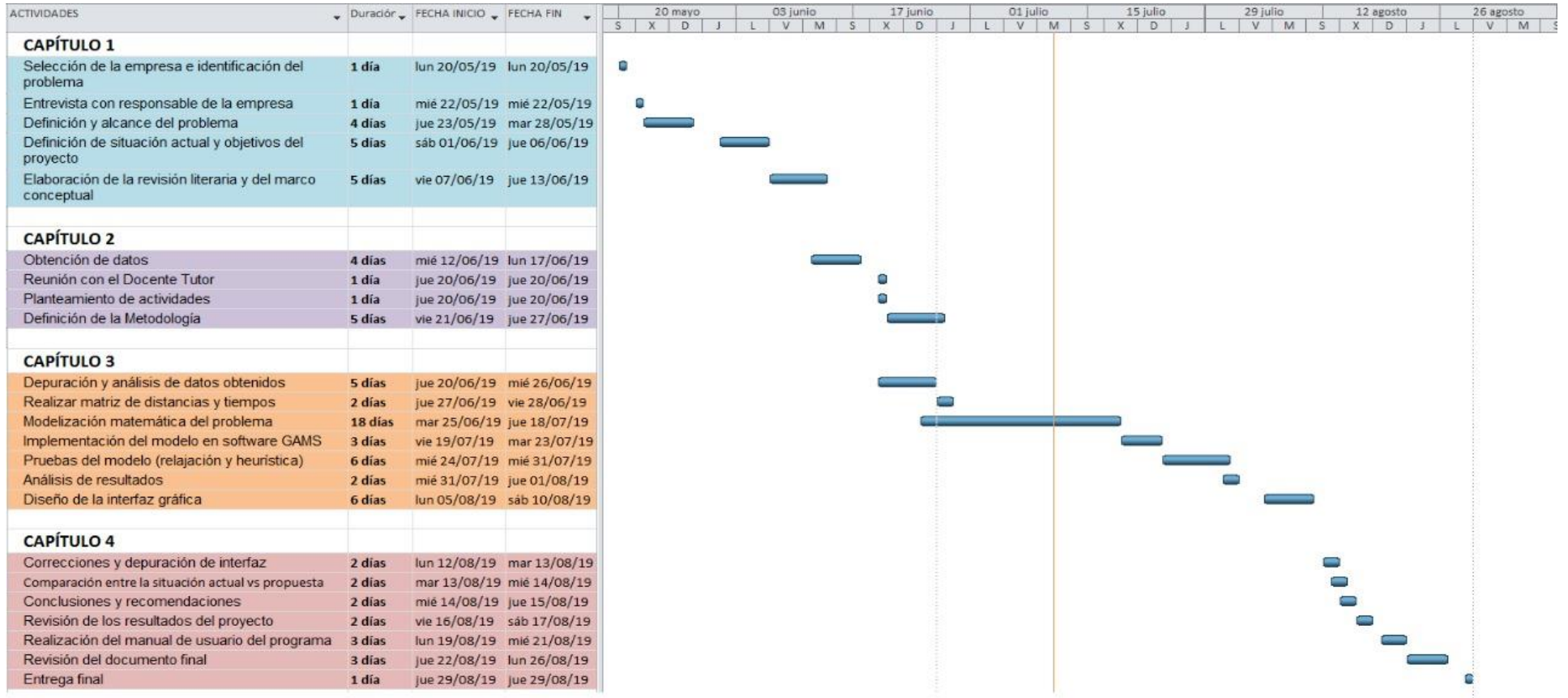


Gráfico 2.2 Cronograma de actividades
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE DATOS

3.1 Obtención de parámetros para el modelo matemático

En este apartado se describe la forma de cómo se obtuvieron los parámetros para el modelo matemático de ruteo, a partir de datos e información que la empresa en estudio cuenta o ya tenía analizada.

3.1.1 Ubicación de las bodegas en el mapa de Ecuador

Dada las direcciones de las bodegas ubicadas alrededor del Ecuador, se procedió a ubicarlas en el mapa del país utilizando la aplicación de Google My Maps.

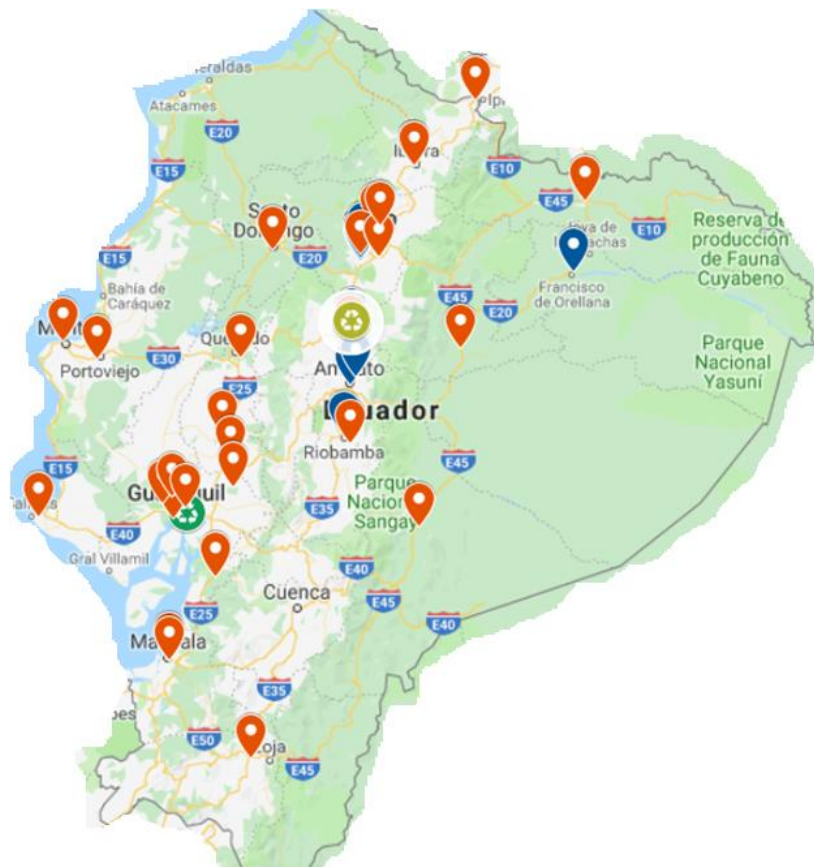


Gráfico 3.1 Bodegas recicladoras ubicadas en el mapa de Ecuador
Fuente: Elaboración Propia

Las direcciones de las bodegas recicladoras se pueden observar detalladamente en el **Anexo A**.

3.1.2 Identificación de las ciudades donde se encuentran las bodegas

Con ayuda de las direcciones exactas de las bodegas recicladoras, se procedió a identificar por cada una; la ciudad en dónde estaban situadas, con la finalidad de conocer el valor de flete que se debería pagar a los transportistas por trasladarse hacia cada destino. A continuación, se presentan los nombres de las recicladoras y el nombre de la ciudad, pueblo o cantón de localización.

Nombre de recicladoras	Destino
RECICLADORA MATEO	SUCUMBIOS
RECICLADORA SAN GREGORIO	GUAYAQUIL
RECICLADORA MONTE SINAI	GUAYAQUIL
GRUPO KELVI BOLAÑO	LA TRONCAL
RECICLADORA LATACUNGA	LATACUNGA
RECICLADORA PORTOVIEJO	PORTOVIEJO
ACERO METAL	QUITO NORTE
NOVARED "QUEVEDO"	QUEVEDO
RECICLADORA "MC"	VALLE DE LOS CHILLOS
RECICLADORA JC	IBARRA
COMPAÑÍA INTERNACIONAL DE RECICLAJE	PENINSULA
RECICLADORA RECIPEN	MANTA
RECICLADORA MEGA METAL	RIOBAMBA
RECICLADORA GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
FERNANDO JUELA	MACAS
RECICLADORA AZUR	MACHALA
RECICLADORA DE METALES "LOS CHILLOS"	VALLE DE LOS CHILLOS
RECICLADORA LOS CHILLOS	VALLE DE LOS CHILLOS
MG GESTORES AMBIENTALES S.A	DURAN
RECICLADORA DEL NORTE PATIO #12	TULCAN
RECICLADORA BABAHOYO NOVARED	BABAHOYO
RECICLADORA HNOS. OROZCO	BABAHOYO
RECICLADORA EL MILAGREÑO	NARANJAL
RECICLAJE BLANCA	LATACUNGA
RECICLADORA RJ CALDERÓN	QUITO
RECICLADORA ROGEL	MACHALA

REMISURSA S.A	MACHALA
RECI KLANDO	TENA
RECI METAL	CATAMAYO
NOVAVIC SZ	SANTO DOMINGO
NO TIENE NOMBRE	LATACUNGA
GRUMERI S.A	LATACUNGA
RECICLADORA DE METALES	QUITO
RECICLADORA METALES Y METALES	QUITO
RECICLADORA RIOBAMBA	RIOBAMBA
RECICLADORA PICHINCHA	QUITO
NO TIENE NOMBRE	QUITO
RECICLADORA CHUQUITARCO CANDO	FRANSICO DE ORELLANA
ECORECICLAR G&P	QUITO SUR
MUNDI RECICLAJE DEL ECUADOR	QUITO
RECINEC	QUITO
REICLAJE SUR	QUITO
RECICLADORA INTERNACIONAL	QUITO
PATIO DE RECICLAJE	QUITO
RECICLADORA TUNGURAHUA	AMBATO
RECICLADORA FERNANDO	QUITO
RECICLADORA COTOPAXI	LATACUNGA
RECICLADORA DEL NORTE	IBARRA
NUEVA RECICLADORA	AMBATO
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 1	QUITO
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 2	QUITO
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 3	QUITO

Tabla 3.1 Destino de las recicladoras
Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Identificación de las tarifas entre destinos

El tarifario provisto por empresa se muestra en el **Anexo B**, el mismo que está dado por destinos partiendo desde la planta ubicada en Latacunga, siendo para la situación propuesta indispensable relacionar todas las plantas y recicladoras entre sí, y para ello se realizó el siguiente procedimiento.

Mediante un diagrama de cajas, el cual se puede observar en el gráfico 3.2, se determinaron los destinos que son numéricamente distantes de los demás, es decir, los valores atípicos por cada tipo de vehículo.

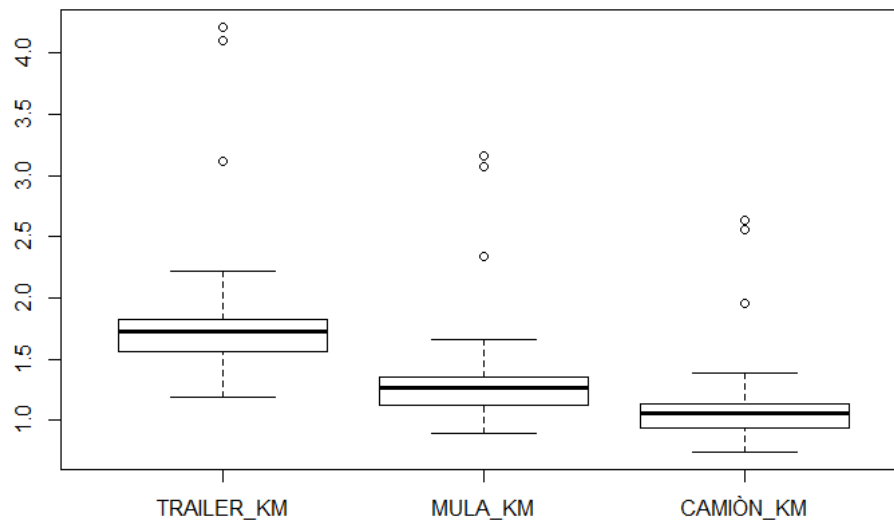


Gráfico 3.2 Diagrama de cajas comparativo
Fuente: Elaboración propia

Siendo estos valores atípicos los destinos de: Latacunga, Quito Sur y Pujilí en cada tipo de vehículo. Mientras que las recicladoras que están ubicadas en los destinos antes mencionados son: RECICLADORA LATACUNGA, RECICLAJE BLANCA, NO TIENE NOMBRE, GRUMERI S.A., ECORECICLAR G&P, y RECICLADORA COTOPAXI.

Dado que estos destinos son valores atípicos deben ser diferenciados de los demás, por lo tanto, los costos de transporte para estas recicladoras hacia cualquier otra en cada tipo de vehículo se consideran como el límite admisible superior del diagrama de cajas, es decir, el tercer cuartil más 1,5 del rango intercuartílico. Obteniendo los siguientes costos de transporte por kilómetro para las recicladoras mencionadas anteriormente:

Desde	Hasta	Tipo de vehículo		
		Trailer	Camión Mula	Camión Sencillo
Recicladoras identificadas	Cualquier destino	2,21 \$/km	1,69 \$/km	1,41 \$/km

Tabla 3.2 Tarifas para recicladoras con valores atípicos
Fuente: Elaboración propia

Para las recicladoras que se encuentran dentro de los límites admisibles se considera al costo de transporte por kilómetro como la media aritmética de las tarifas proporcionadas por la empresa de cada tipo de vehículo.

Desde	Hasta	Tipo de vehículo		
		Trailer	Camión Mula	Camión Sencillo
Recicladoras	Cualquier destino	1,78 \$/km	1,31 \$/km	1,09 \$/km

Tabla 3.3 Tarifas para recicladoras con valores dentro de los límites
Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Extracción de las coordenadas geográficas de cada bodega

Por medio de la localización de las bodegas en la aplicación My Maps se procedió a obtener las coordenadas geográficas de cada una de éstas. Obteniendo latitud y longitud. Se las registró en una tabla Excel, para su posterior uso.

A continuación, se presentan las coordenadas de latitud y longitud de cada recicladora.

RECICLADORA	Y(LATITUD)	X(LONGITUD)
PLANTA LASSO	-0,78985	-78,61519
PLANTA DURÁN	-2,19809	-79,82800
RECICLADORA MATEO	0,08348	-76,90749
RECICLADORA SAN GREGORIO	-2,23755	-79,92387
RECICLADORA MONTE SINAI	-2,12659	-79,99814
GRUPO KELVI BOLAÑO	-1,62772	-79,56129
RECICLADORA LATACUNGA	-0,92159	-78,62639

RECICLADORA PORTOVIEJO	-1,07114	-80,49004
ACERO METAL	-0,10588	-78,44102
NOVARED "QUEVEDO"	-1,06886	-79,43132
RECICLADORA "MC"	-0,30331	-78,54971
RECICLADORA JC	0,34177	-78,15846
COMPAÑÍA INTERNACIONAL DE RECICLAJE	-2,23414	-80,91074
RECICLADORA RECIPEN	-0,94705	-80,73470
RECICLADORA MEGA METAL	-1,68725	-78,62914
RECICLADORA GUAYAQUIL	-2,08972	-79,93393
FERNANDO JUELA	-2,30888	-78,12031
RECICLADORA AZUR	-3,28702	-79,95763
RECICLADORA DE METALES "LOS CHILLOS	-0,33103	-78,42326
RECICLADORA LOS CHILLOS	-0,32517	-78,41725
MG GESTORES AMBIENTALES S.A	-2,16591	-79,83852
RECICLADORA DEL NORTE PATIO #12	0,82667	-77,70258
RECICLADORA BABAHOYO NOVARED	-1,80952	-79,50919
RECICLADORA HNOS. OROZCO	-2,00471	-79,48416
RECICLADORA EL MILAGREÑO	-2,67156	-79,61449
RECICLAJE BLANCA	-0,92542	-78,62955
RECICLADORA RJ CALDERÓN	-0,10207	-78,40994
RECICLADORA ROGEL	-3,25189	-79,95308
REMISURSA S.A	-3,28457	-79,95772
RECI KLANDO	-1,00477	-77,81069
RECI METAL	-3,99337	-79,35522
NOVIC SZ	-0,27404	-79,20040
NO TIENE NOMBRE	-0,88360	-78,61487
GRUMERI S.A	-0,95536	-78,61472
RECICLADORA DE METALES	-0,32898	-78,55505
RECICLADORA METALES Y METALES	-0,34314	-78,55056
RECICLADORA RIOBAMBA	-1,63902	-78,67839
RECICLADORA PICHINCHA	-0,25066	-78,52108
NO TIENE NOMBRE	-0,32703	-78,55563
RECICLADORA CHUQUITARCO CANDO	-0,43623	-76,99203
ECORECICLAR G&P	-0,34475	-78,54919
MUNDI RECICLAJE DEL ECUADOR	-0,35315	-78,54978
RECINEC	-0,35399	-78,54913
REICLAJE SUR	-0,29697	-78,55858

RECICLADORA INTERNACIONAL	-0,31063	-78,53415
PATIO DE RECICLAJE	-0,32508	-78,55204
RECICLADORA TUNGURAHUA	-1,26302	-78,62985
RECICLADORA FERNANDO	-0,25659	-78,51412
RECICLADORA COTOPAXI	-0,91625	-78,62829
RECICLADORA DEL NORTE	0,33918	-78,16471
NUEVA RECICLADORA	-1,21269	-78,58496
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 1	-0,25700	-78,54287
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 2	-0,32589	-78,55146
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 3	-0,33927	-78,55419

Tabla 3.4 Coordenadas geográficas de las recicladoras
Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Matrices de distancias y de tiempos

Se utilizó el solver VRP Spreadsheet v3.01 para obtener la matriz de distancias y tiempos, a través de las coordenadas geográficas obtenidas anteriormente. Se ingresó la latitud y longitud de cada una de las bodegas, además de ciertos parámetros como: el número de depósitos, el número de clientes, velocidad promedio de los vehículos, entre otras. Cabe recordar, que dicho solver utiliza Bing Maps para obtener las distancias y tiempos a través de algoritmos de geolocalización

En el **Anexo C** se puede visualizar la matriz de distancias para este proyecto. Mientras, en el **Anexo D** se puede visualizar la matriz de tiempos. Las dos matrices implican ir desde una recicladora a otra cualquiera que pertenezca a la red de microempresarios.

3.1.6 Clasificación de los destinos

A través de la coordinación de transporte actual de la empresa en estudio, se obtuvieron los criterios para considerar una distancia como corta, mediana o larga. Estos criterios se los resume en la siguiente tabla.

DISTANCIA (Km)	CLASE
<=174 Km	CORTO
(174,345] Km	MEDIANO
>345 Km	LARGO

Tabla 3.5 Criterio de clasificación de destinos
Fuente: Elaboración propia

Con ayuda de estos criterios, se pudo clasificar a los destinos de las bodegas. Como cortos, medianos o largos. Pues, son de vital importancia para la programación de una asignación vehicular más equitativa.

A continuación, se muestra la clasificación de los destinos por proveedores.

Lista proveedores	Clase
RECICLADORA MATEO	MEDIANO
RECICLADORA SAN GREGORIO	LARGO
RECICLADORA MONTE SINAI	LARGO
GRUPO KELVI BOLAÑO	MEDIANO
RECICLADORA LATACUNGA	CORTO
RECICLADORA PORTOVIEJO	MEDIANO
ACERO METAL	CORTO
NOVARED "QUEVEDO"	MEDIANO
RECICLADORA "MC"	CORTO
RECICLADORA JC	MEDIANO
COMPAÑÍA INTERNACIONAL DE RECICLAJE	LARGO
RECICLADORA RECIPEN	LARGO
RECICLADORA MEGA METAL	CORTO
RECICLADORA GUAYAQUIL	MEDIANO
FERNANDO JUELA	MEDIANO
RECICLADORA AZUR	LARGO

RECICLADORA DE METALES "LOS CHILLOS	CORTO
RECICLADORA LOS CHILLOS	CORTO
MG GESTORES AMBIENTALES S.A	MEDIANO
RECICLADORA DEL NORTE PATIO #12	MEDIANO
RECICLADORA BABAHOYO NOVARED	MEDIANO
RECICLADORA HNOS. OROZCO	MEDIANO
RECICLADORA EL MILAGREÑO	MEDIANO
RECICLAJE BLANCA	CORTO
RECICLADORA RJ CALDERÓN	CORTO
RECICLADORA ROGEL	LARGO
REMISURSA S.A	LARGO
RECI KLANDO	MEDIANO
RECI METAL	LARGO
NOVAVIC SZ	CORTO
NO TIENE NOMBRE	CORTO
GRUMERI S.A	CORTO
RECICLADORA DE METALES	CORTO
RECICLADORA METALES Y METALES	CORTO
RECICLADORA RIOBAMBA	CORTO
RECICLADORA PICHINCHA	CORTO
NO TIENE NOMBRE	CORTO
RECICLADORA CHUQUITARCO CANDO	LARGO
ECORECICLAR G&P	CORTO
MUNDI RECICLAJE DEL ECUADOR	CORTO
RECINEC	CORTO
REICLAJE SUR	CORTO
RECICLADORA INTERNACIONAL	CORTO
PATIO DE RECICLAJE	CORTO
RECICLADORA TUNGURAHUA	CORTO
RECICLADORA FERNANDO	CORTO
RECICLADORA COTOPAXI	CORTO
RECICLADORA DEL NORTE	MEDIANO
NUEVA RECICLADORA	CORTO

ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 1	CORTO
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 2	CORTO
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 3	CORTO

Tabla 3.6 Clasificación de destinos por proveedor
Fuente: Elaboración Propia

3.2 Modelo Matemático

Una vez obtenidos todos los parámetros del modelo matemático junto con otras consideraciones necesarias para la programación del software, se precedió a diseñar una modelización que reflejará de la forma más conveniente el modelo Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem (HFVRP), teniendo algunas variaciones y agregando restricciones conforme a las actividades logísticas de la empresa. A continuación, se detalla la modelización paso a paso.

Índices o conjuntos

$I = \{L, D, 1, 2, \dots, 52, L + 1\}$ Conjunto de clientes y depósitos

$N = \{1, 2, \dots, 52\}$ Conjunto de clientes

$H = \{L, 1, 2, \dots, D\}$ Conjunto de clientes que demandan plástico y depósitos

$W = \{L, 1, 2, \dots\}$ Conjunto de clientes que demandan plástico y depósito

$G = \{1, 2, \dots\}$ Conjunto de clientes que demandan chatarra

$K = \{1, 2, 3\}$ Conjunto de tipos de vehículos

$J_k = \{1, 2, 3, \dots\}$ Conjunto de vehículos de tipo de k

Parámetros

Q_{j_k} : Capacidad de carga de cada vehículo j_k

d_i : Cantidad a recoger en tonelada en el cliente i

$D_{ij}^{j_k}$: Distancia desde el nodo i al nodo j en el vehículo j_k

t_{ij} : Tiempo de viaje desde el nodo i al nodo j

Variables de decisión

$$X_{ij}^{j_k} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } j_k \text{ va de } i \text{ a } j \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

$$Y_i^{j_k} = \begin{cases} 1, & \text{si el veh\u00edculo } j_k \text{ va al cliente } i \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

$u_i^{j_k}$: Carga del veh\u00edculo j_k luego de visitar al cliente i

$u_j^{j_k}$: Carga del veh\u00edculo j_k luego de visitar al cliente j

Funci\u00f3n objetivo:

$$\text{Min } z = \sum_i \sum_j \sum_{j_k} D_{ij}^{j_k} \cdot X_{ij}^{j_k} \cdot C_{j_k} \quad (3.1)$$

Restricciones:

La ecuaci\u00f3n (3.2) asegura que, un veh\u00edculo visite exactamente a un cliente

$$\sum_{j_k \in J_k} Y_n^{j_k} = 1 \quad \forall n \in N \quad (3.2)$$

La ecuaci\u00f3n (3.3) asegura que, si un veh\u00edculo sale de la planta de Latacunga y visita un cliente de pl\u00e1stico, este mismo veh\u00edculo no puede regresar a la planta de Latacunga

$$\sum_{j \in H} X_{Lj}^{j_k} - \sum_{j \in H} X_{jL}^{j_k} = 1 \quad \forall j_k \in J_k \quad (3.3)$$

La ecuaci\u00f3n (3.4) asegura que, si un veh\u00edculo visita un cliente de pl\u00e1stico este mismo veh\u00edculo salga de \u00e9l

$$\sum_{j \in H} X_{wj}^{j_k} - \sum_{j \in H} X_{jw}^{j_k} = 0 \quad \forall w \in W \setminus \{L\}, \forall j_k \in J_k \quad (3.4)$$

La ecuaci\u00f3n (3.5) asegura que, si un veh\u00edculo a llegado a un cliente de

plástico, desde este cliente visite a otro cliente de plástico

$$\sum_{j \in H} X_{wj}^{jk} = Y_w^{jk} \quad \forall w \in W, \forall j_k \in J_k \quad (3.5)$$

La ecuación (3.6) asegura que, si ha visitado un cliente de plástico este debe llegar a la planta de Durán

$$Y_D^{jk} = \sum_{j \in H} X_{jD}^{jk} \quad \forall j_k \in J_k \quad (3.6)$$

Las ecuaciones (3.7) y (3.8) son las restricciones MTZ para evitar los subciclos y controlar la capacidad

$$u_i^{jk} - u_j^{jk} + Q_{j_k} \cdot X_{ij}^{jk} \leq Q_{j_k} - d_j \quad \forall (i, j) \in H, \forall j_k \in J_k \quad (3.7)$$

$$d_i \leq u_i^{jk} \leq Q_{j_k} \quad \forall i \in H, \forall j_k \in J_k \quad (3.8)$$

La ecuación (3.9) asegura que, la duración de la ruta de un vehículo no exceda de 24 horas

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in I} X_{ij}^{jk} \cdot t_{ij} \leq 24 \quad \forall j_k \in J_k \quad (3.9)$$

La ecuación (3.10) asegura que, si un vehículo sale de la planta de Durán a visitar un cliente de chatarra ese mismo vehículo no permanezca en la planta de Latacunga

$$\sum_{j \in G} X_{Dj}^{jk} = (1 - X_{LD}^{jk}) \quad \forall j_k \in J_k \quad (3.10)$$

La ecuación (3.11) asegura que, si sale de la planta de Durán hacia un cliente de chatarra, desde ese cliente de chatarra se dirija directamente a la planta de Latacunga

$$X_{Dj}^{jk} - X_{jL}^{jk} = 0 \quad \forall j \in G, \forall j_k \in J_k \quad (3.11)$$

La ecuación (3.12) asegura que, si ha llegado un vehículo al cliente de chatarra va a existir un arco de Durán al mismo cliente de chatarra

$$Y_j^{jk} = X_{Dj}^{jk} \quad \forall j \in G, \forall j_k \in J_k \quad (3.12)$$

La ecuación (3.13) asegura que, un vehículo no puede ir de un cliente de plástico y luego a un cliente de chatarra

$$\sum_{i \in W \setminus \{L\}} X_{ij}^{jk} = 0 \quad \forall j \in G, \forall j_k \in J_k \quad (3.13)$$

La ecuación (3.14) asegura que, un vehículo no puede ir de un cliente de chatarra y luego a un cliente de plástico

$$\sum_{j \in G} X_{ji}^{jk} = 0 \quad \forall i \in W \setminus \{L\}, \forall j_k \in J_k \quad (3.14)$$

La ecuación (3.15) asegura que, si un vehículo visita un cliente de chatarra no regrese a la planta de Durán

$$\sum_{i \in G} \sum_{j_k \in J_k} X_{iD}^{jk} = 0 \quad (3.15)$$

La ecuación (3.16) asegura que, si sale de la planta de Durán a un cliente de chatarra no saldrá de la planta de Latacunga a ese cliente, caso contrario sale de la planta de Latacunga a ese cliente de chatarra

$$X_{Li}^{jk} \leq (1 - X_{Di}^{jk}) \quad \forall i \in G, \forall j_k \in J_k \quad (3.16)$$

La ecuación (3.17) asegura que, sólo un cliente de chatarra salga o no a la planta de Latacunga. Es decir, si un vehículo ha realizado una ruta larga, este no realice una ruta corta

$$\sum_{i \in G} X_{iL}^{jk} \leq 1 \quad \forall j_k \in J_k \quad (3.17)$$

La ecuación (3.18) asegura que, un vehículo puede o no visitar a un cliente de chatarra

$$\sum_{i \in G} Y_i^{jk} \leq 1 \quad \forall j_k \in J_k \quad (3.18)$$

La ecuación (3.19) asegura que, si llega a la planta de Durán luego de visitar un cliente de plástico salga de Durán a visitar un cliente de chatarra

$$\sum_{w \in W \setminus \{L\}} X_{wD}^{jk} = \sum_{i \in G} X_{Di}^{jk} \quad \forall j_k \in J_k \quad (3.19)$$

La ecuación (3.20) asegura que, si un vehículo sale de la planta de Latacunga hacia un cliente de chatarra vuelva a la planta de Latacunga

$$X_{Li}^{jk} = X_{i,L+1}^{jk} \quad \forall i \in G, \forall j_k \in J_k \quad (3.20)$$

Las ecuaciones (3.21) y (3.22) aseguran que, si sale de la planta de Latacunga a un cliente de chatarra la demanda de este no sobrepase la capacidad del vehículo. De igual manera si va desde la planta de Durán hacia un cliente de chatarra.

$$X_{Li}^{jk} \cdot d_i \leq Q_{jk} \quad \forall i \in G, \forall j_k \in J_k \quad (3.21)$$

$$X_{Di}^{jk} \cdot d_i \leq Q_{jk} \quad \forall i \in G, \forall j_k \in J_k \quad (3.22)$$

La ecuación (3.23) y (3.24) son variables binarias

$$X_{ij}^{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j_k \in J_k, \forall (i,j) \in N \quad (3.23)$$

$$Y_i^{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j_k \in J_k, \forall i \in N \quad (3.24)$$

3.3 Algoritmo

3.3.1 Pseudocódigo para la asignación vehicular equitativa

Es necesario recordar que uno de los principales objetivos que se desea alcanzar en este proyecto, es que todos los transportistas sean asignados equitativamente a los destinos donde están situadas las bodegas recicladoras.

Para la asignación deseada se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Se debe asignar un transportista disponible a una bodega que necesite algún tipo de vehículo.
- A todas las bodegas que hayan solicitado un tipo de vehículo, le debe llegar un transportista.
- Se debe tener en cuenta que, si un transportista ya ha realizado un viaje hacia un destino corto, no volverá a realizar un viaje de este tipo hasta que los demás transportistas hayan hecho el suyo. Si el transportista que se encuentra disponible ya ha realizado un viaje de todas las clases de destino (corto, mediano, largo) se le podrá asignar cualquier tipo de viaje. De la misma forma sucede con viajes medianos y largos.

- Se debe considerar que el transportista asignado cumpla con las características del vehículo solicitado por el proveedor, es decir, que su vehículo tenga la capacidad para transportar la demanda del proveedor.
- Asignar a un transportista “A” en vez de asignar un transportista “B”, no tendrá ningún costo adicional, debido que la empresa les paga a los transportistas por destino sin importar quién sea el conductor.
- Al final el segmento de transportistas correspondientes a cada tipo de vehículo, deberán tener asignados un número de veces igual o semejante de destinos.

Pseudocódigo

- Se debe conocer la lista de los transportistas disponibles, de las recicladoras que necesitan ser visitadas, la capacidad de los vehículos que manejan los transportistas, los estados de los transportistas y de los proveedores.
- A través del estado de los transportistas verificar cuales son aquellos que están disponibles y pueden ser asignados.
- Con el historial de destinos visitados por los transportistas que están disponibles se determina cuáles son aquellos destinos a los que pueden ser asignados.
- Se conoce además que la clase de destinos de viaje corto representa el *valor de 1*. *Un viaje mediano representa el valor de 2*. *Un viaje largo representa el valor de 3*.
- Por cada transportista y recicladora que ha realizado un pedido se considera si dicho transportista no ha realizado ningún viaje, y puede realizar toda clase de destino. Además, si tiene la capacidad de transportar lo solicitado por el proveedor.
- Se crea una matriz aleatoria de unos y ceros para que pueda asignar a los transportistas que cumplan con las restricciones de disponibilidad y capacidad de vehículo, basándose en el historial de rutas realizadas.
- Los elementos 1 de la matriz antes mencionada representan el transportista que va a ser asignado a un destino.

3.4 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la modelización matemática ingresada en el software Gams basados en un ejemplo específico.

Se procedió al ingreso de los pedidos de un día en específico de las siguientes recicladoras:

Recicladora San Gregorio, la cual solicitó un vehículo para cargar plástico.

Recicladora Monte Sinaí, la cual solicitó un vehículo para cargar plástico.

Grupo Kelvin Bolaño, la cual solicitó un vehículo para cargar plástico.

Recicladora Latacunga, la cual solicitó un vehículo para cargar plástico.

Recicladora Mateo, la cual solicitó un vehículo para cargar chatarra.

Recicladora Guayaquil, la cual solicitó un vehículo para cargar chatarra.

Fernando Juera, la cual solicitó un vehículo para cargar chatarra.

Recicladora “Los Chillos”, la cual solicitó un vehículo para cargar chatarra.

Recicladora “El Milagreño”, la cual solicitó un vehículo para cargar chatarra.

GRUMERI S.A., la cual solicitó un vehículo para cargar chatarra.

Proven optimal solution.

MIP Solution:	2664.061200	(270 iterations, 15 nodes)
Final Solve:	2664.061200	(0 iterations)
Best possible:	2664.061200	
Absolute gap:	0.000000	
Relative gap:	0.000000	

Gráfico 3.3 Función Objetivo obtenida de Gams
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.3 se muestra el costo asociado por los pedidos de los proveedores, al igual que el número de iteraciones realizadas. Obteniendo la solución óptima; el tiempo de ejecución para este ejemplo fue de 0,58 segundos.

105 VARIABLE x.L		1 Si el vehiculo k va de i a j 0 si no					
		1	2	3	4	5	6
L .D		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	+	7	8	9	10	11	12
L .1							1.000
L .5		1.000					
L .D			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1 .L+1							1.000
2 .D		1.000					
3 .2		1.000					
4 .3		1.000					
5 .4		1.000					
14 .L		1.000					
D .14		1.000					
	+	13	14	15	16	17	18
L .D		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	+	19	20	21	22	23	24
L .23						1.000	
L .32							1.000
L .D		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
23 .L+1						1.000	
32 .L+1							1.000
	+	25	26	27	28	29	30
L .15				1.000			
L .18						1.000	
L .D		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
15 .L+1				1.000			
18 .L+1						1.000	
	+	31	32	33	34	35	36
L .D		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	+	37	38				
L .D		1.000	1.000				

Gráfico 3.4 Resultados de Gams del ruteo vehicular
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.4 se presentan las rutas que deberán realizar los transportistas para cumplir con los pedidos de los proveedores.

Donde los vehículos {1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38} permanecerán en el depósito de Latacunga sin realizar una ruta.

El vehículo 7 realiza la siguiente ruta, de la planta de Latacunga al cliente 5, del cliente 5 al cliente 4, del cliente 4 al cliente 3, del cliente 3 al cliente 2, del cliente 2 a la planta de Durán, de la planta de Durán al cliente 14 y del cliente 14 regresa a la planta de Latacunga.

El vehículo 12 realiza una ruta directa desde la planta de Latacunga al cliente 1 y luego regresa a la planta de Latacunga.

La ruta de los vehículos {23, 24, 27, 29} se interpretan de igual manera que los antes mencionados.

Mientras que en el siguiente gráfico se puede observar la asignación de los transportistas a las rutas de chatarra.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

TRANSPORTISTA	PROVEEDOR	PLACAS	DESTINO	FECHA
CENTENO PILA MARCO ANTONIO	RECICLADORA MATEO	XAA-1228	SUCUMBOS	15:15:35
CAIZALUISA LUIS MARTIN	RECICLADORA GUAYAQUIL	PAA-2464	GUAYAQUIL	15:15:35
PERDOMO VARGAS JOSE MANUEL	FERNANDO JUELA	PZX-0922	MACAS	15:15:35
SIMALUISA TIPANTUÑA JOSÉ BYRON	RECICLADORA LOS CHILLOS	TAT-0452	VALLE DE LOS CHILLOS	15:15:35
MENA RENGEL MILTON EDUARDO	RECICLADORA EL MILAGREÑO	AAX-0625	NARANJAL	15:15:35
MENA VENEGAS GIOVANY ANTONIO	GRUMERI S.A	PDA-9679	LATACUNGA	15:15:35

Gráfico 3.5 Asignación del ejemplo propuesto
Fuente: Elaboración propia

3.5 Interfaz gráfica

Se elaboró una interfaz gráfica que permita al coordinador logístico realizar el proceso de asignación vehicular de manera eficiente y fácil, mediante un sólo clic.

A continuación, se presentan cada una de las ventanas y botones que conforman la interfaz.

Además, se presenta en el **Anexo E** un manual de usuario que le permita al responsable de la actividad conocer la función en general del programa, y de cada una de las ventanas y botones, así como también preguntas frecuentes que se podrían plantear en algún momento.

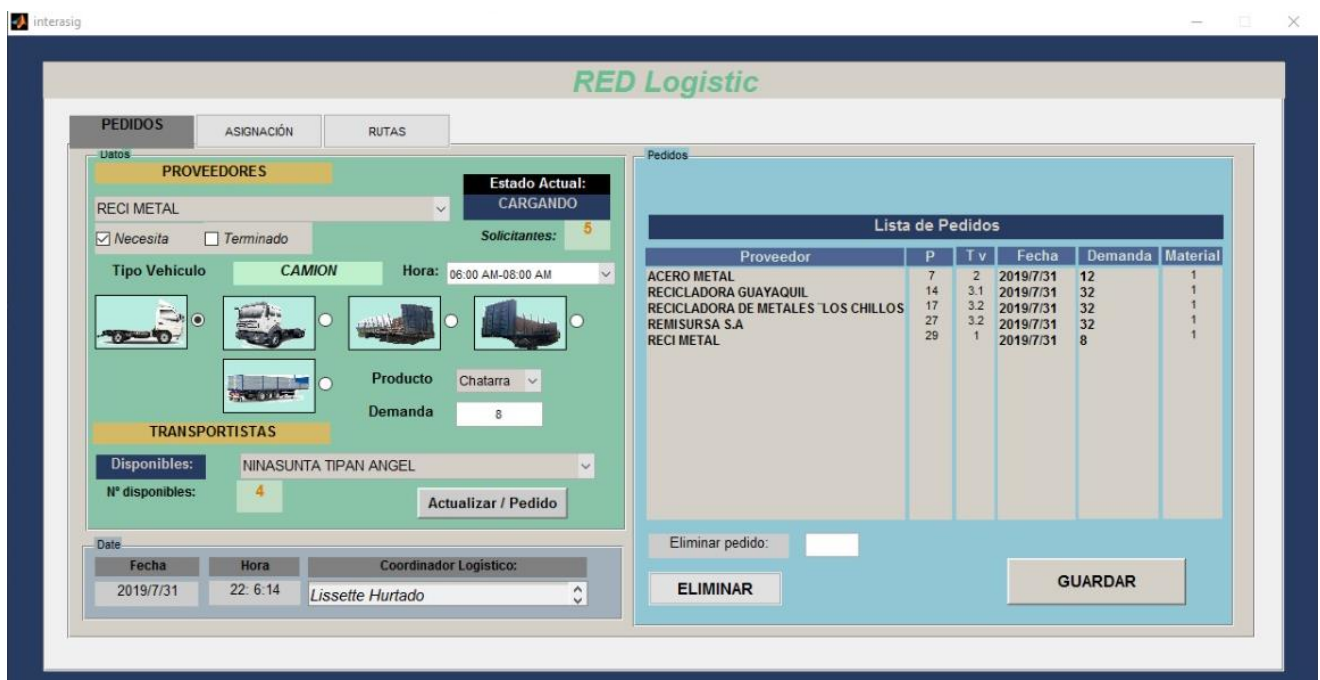


Gráfico 3.6 Interfaz gráfica, ventana de pedidos
Fuente: Elaboración propia

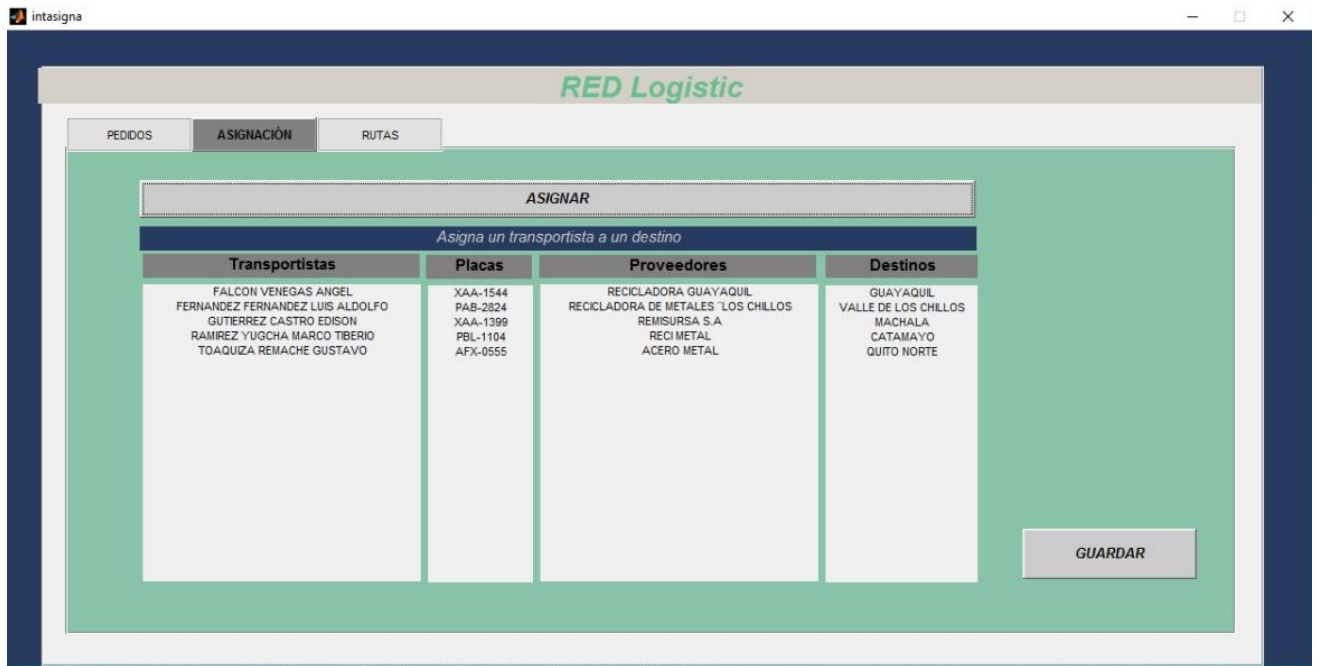


Gráfico 3.7 Interfaz gráfica, ventana de asignación
Fuente: Elaboración propia

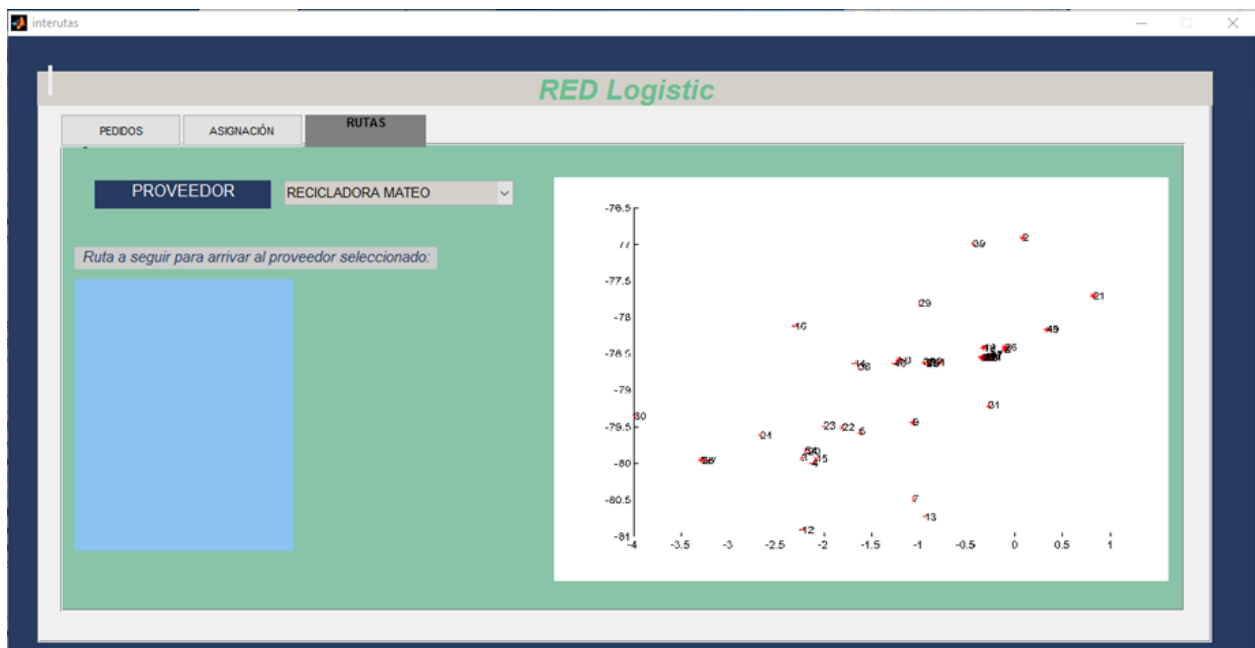


Gráfico 3.8 Interfaz gráfica, ventana de rutas 1
Fuente: Elaboración propia

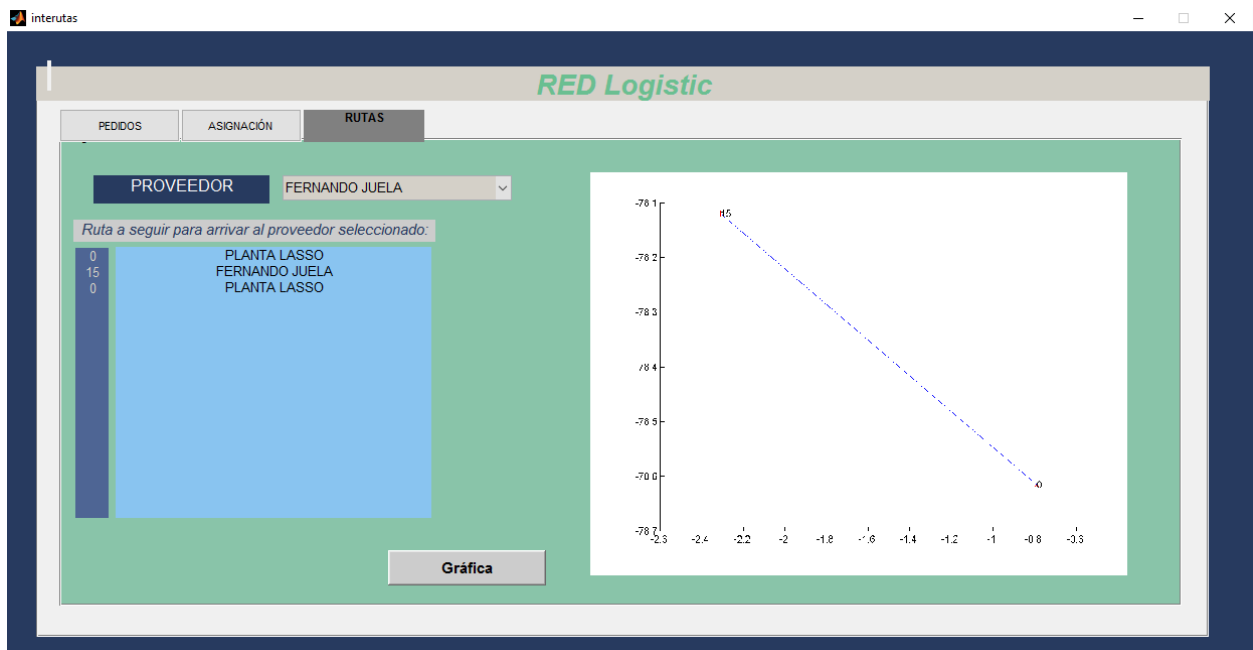


Gráfico 3.9 Interfaz gráfica, ventana de rutas 2
Fuente: Elaboración propia

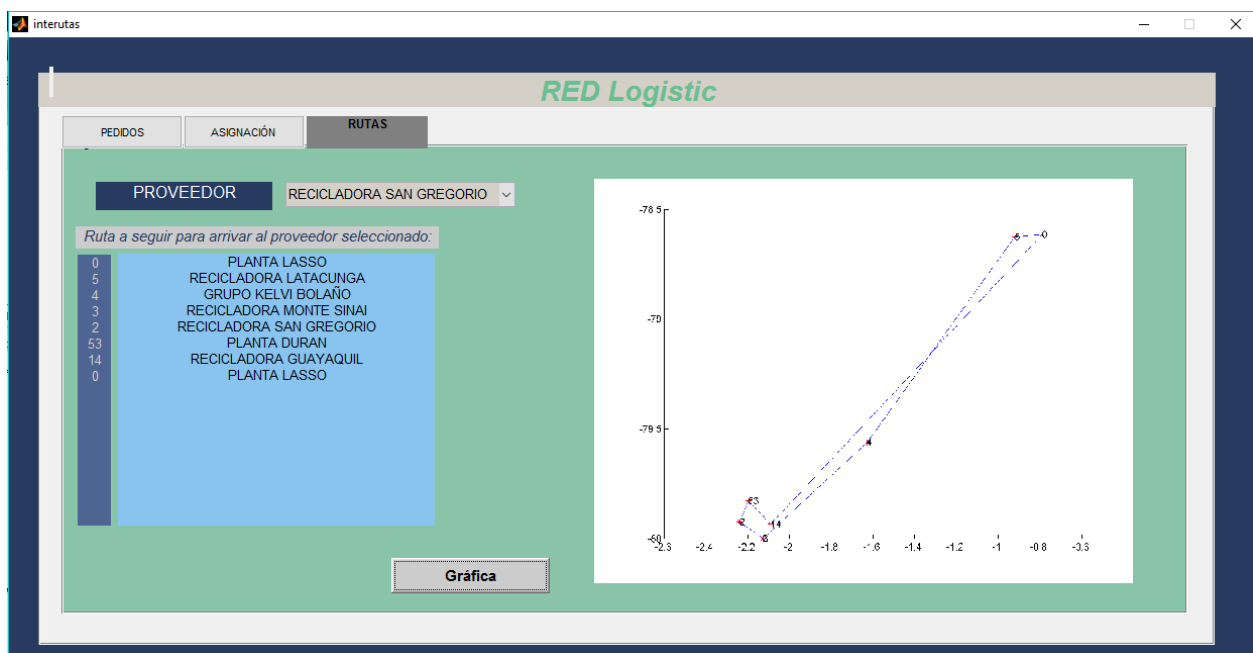


Gráfico 3.10 Interfaz gráfica, ventana de rutas 3
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.8 se observa la ventana de rutas cuando no se ha generado ningún viaje hacia esa recicladora, mientras que en el gráfico 3.9 se puede observar un viaje directo desde la planta de Latacunga hacia una recicladora de chatarra y de vuelta a la planta de Latacunga. De igual manera, en el gráfico 3.10 se puede ver en el ruteo de un viaje que ha recolectado plástico y chatarra.

Además, sirve como fuente para obtener la información sobre los parámetros necesarios para la modelización matemática; cómo se puede observar en el gráfico 3.11. Este archivo de Excel se generó a partir de la información recolectada de la interfaz gráfica de Matlab.

Lista_transportistas	Cod_transportista	Estado_transportista	Cod_proveedor	Lista_proveedores	Cod_proveedor	Estado_proveedores	cod_destino	Destino	Cod_proveed
ALCARRAZ MALLITASIG LUIS ENRIQUE	1	0	1	RECICLADORA MATEO	1	0	1	SUCUMBIOS	1
ANDRADE TOAPANTA JOSE MIGUEL	2	0	2	RECICLADORA SAN GREGORIO	2	0	2	GUAYAQUIL	2
ANDRANGO VIRACOCOA WASHINGTON TARQ	3	0	3	RECICLADORA MONTE SINAI	3	1	3	GUAYAQUIL	3
ARCOS VILLAFUERTE CRISTIAN MARCELO	4	0	4	GRUPO KELVI BOLAÑO	4	1	4	LA TRONCAL	4
ARIAS SANDOVAL CESAR AMABLE	5	0	5	RECICLADORA LATACUNGA	5	1	5	LATACUNGA	5
CAIZA CAIZA HECTOR RENE	6	0	6	RECICLADORA PORTOVIEJO	6	0	6	PORTOVIEJO	6
CAIZALUISA LUIS MARTIN	7	0	7	ACERO METAL	7	0	7	QUITO NORTE	7
CALVOPIÑA TOBAR PEDRO RAUL	8	0	8	NOVARED "QUEVEDO"	8	1	8	QUEVEDO	8
CAMACHO PAUCAR CARLOS ORLANDO	9	1	9	RECICLADORA "MC"	9	0	9	VALLE DE LOS CHILLO	9
CATOTA CRUZ WILLIAN PATRICIO	10	1	10	RECICLADORA JC	10	0	10	IBARRA	10
CAZA PILLAJO LEONIDAS ENRIQUE	11	1	11	COMPAÑIA INTERNACIONAL DE RECICLAJE	11	0	11	PENINSULA	11
CENTENO PILA MARCO ANTONIO	12	1	12	RECICLADORA RECIPEN	12	1	12	MANTA	12
CHANGOLUIZA CHINCHUÑA PEDRO FUNGEL	13	1	13	RECICLADORA MEGA METAL	13	1	13	RIOBAMBA	13
CHANGOLUIZA VELASQUEZ NESTOR RODRIG	14	1	14	RECICLADORA GUAYAQUIL	14	0	14	GUAYAQUIL	14
CUALCHI FARINANGO JOSE AUGUSTO	15	1	15	FERNANDO JUELA	15	0	15	MACAS	15
FALCON VENEGAS ANGEL	16	0	16	RECICLADORA AZUR	16	0	16	MACHALA	16
FERNANDEZ FERNANDEZ LUIS ALDO LFO	17	0	17	RECICLADORA DE METALES "LOS CHILLOS	17	1	17	VALLE DE LOS CHILLO	17
GARCIA VIVERO CARLOS ENRIQUE	18	0	18	RECICLADORA LOS CHILLOS	18	0	18	VALLE DE LOS CHILLO	18

Gráfico 3.11 Parámetros para la modelización matemática
Fuente: Elaboración propia

3.6 Análisis de la situación actual de la empresa LMN vs la propuesta

Se analizó la información brindada por la empresa LMN sobre los pedidos de los meses de mayo, junio y julio; seleccionando una semana de cada mes para ser analizada y comparada con la situación propuesta.

La semana de cada mes se seleccionó analizando las toneladas transportadas en cada uno de los meses antes mencionados, las cuales se pueden observar en los gráficos 3.12, 3.13, 3.14. Siendo la semana 3 la más representativa de cada mes.

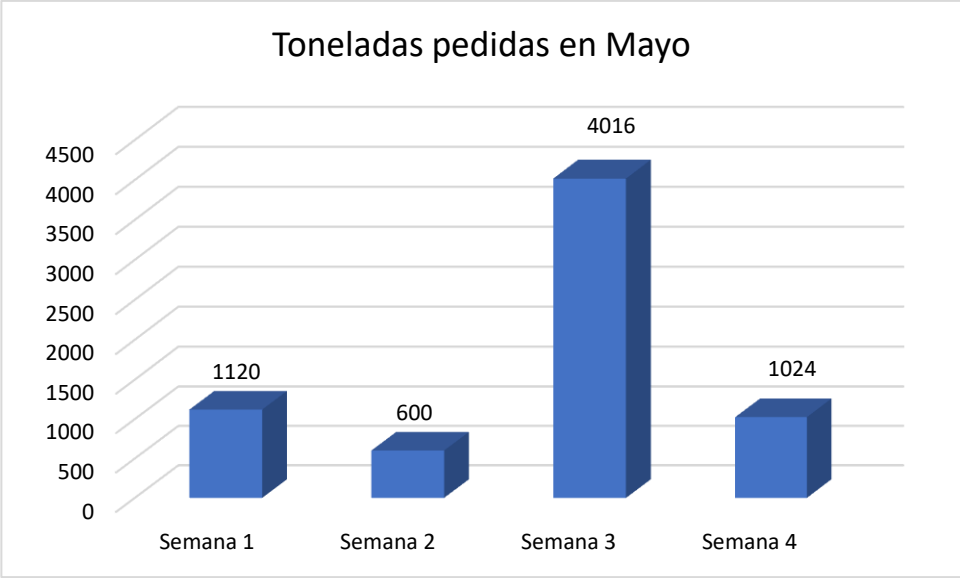


Gráfico 3.12 Toneladas transportadas por cada semana del mes de mayo
Fuente: Elaboración propia

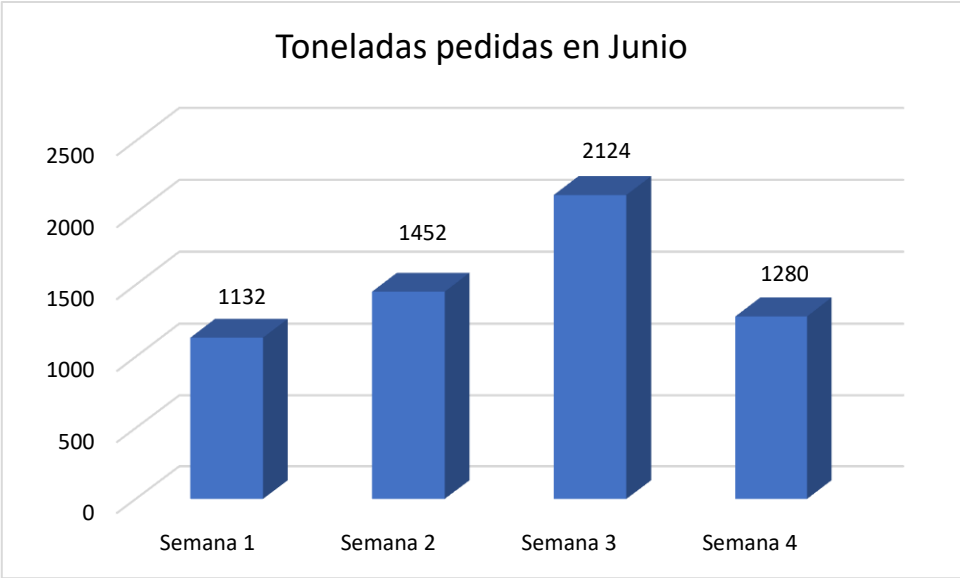


Gráfico 3.13 Toneladas transportadas por cada semana del mes de junio
Fuente: Elaboración propia

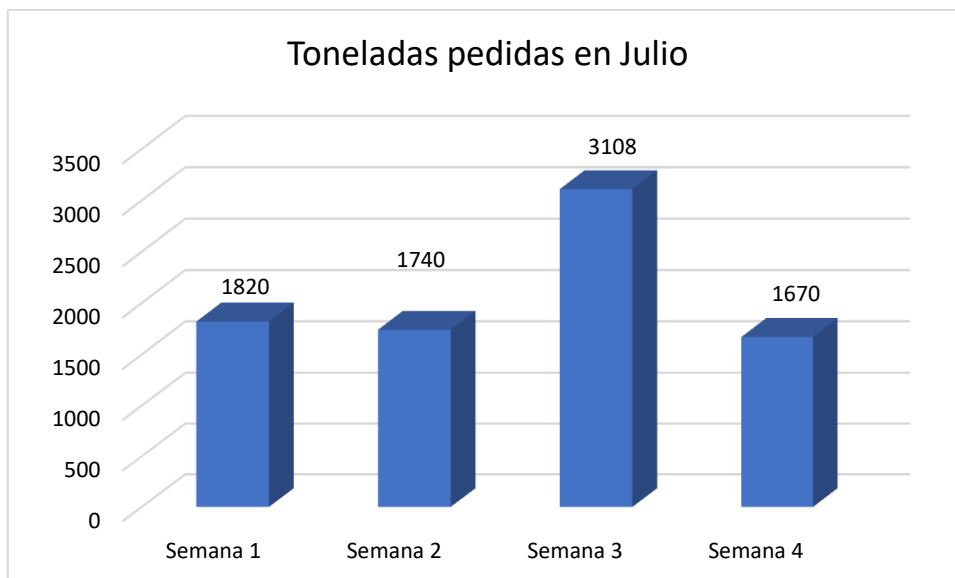


Gráfico 3.14 Toneladas transportadas por cada semana del mes de julio
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

En el gráfico 3.15 se pueden observar los costos de transporte de una semana, de todos los pedidos generados por cada uno de los meses de análisis.

Los costos generados son cifras significativas que deben ser planificadas con cuidado para evitar grandes pérdidas.

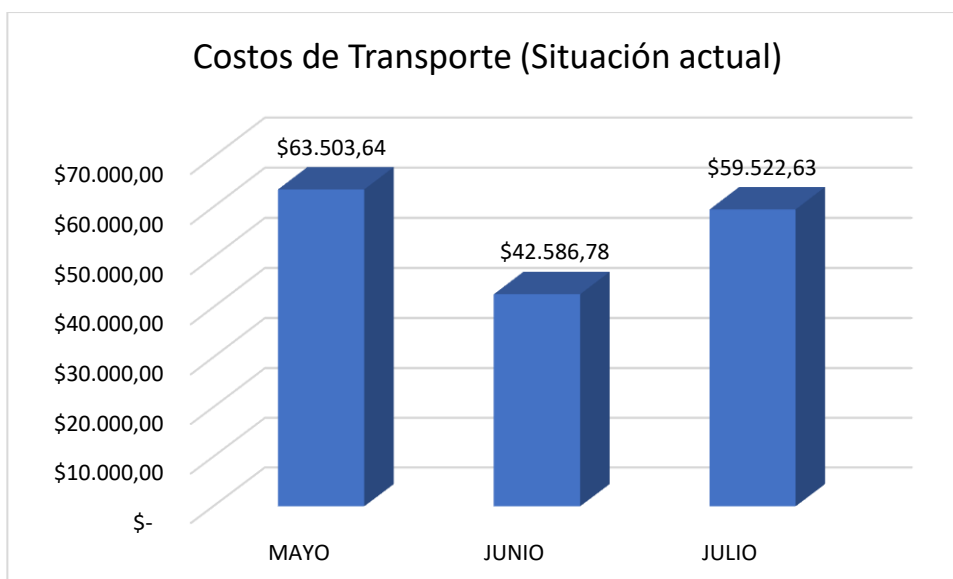


Gráfico 3.15 Costos de transporte de los meses de análisis
Fuente: Elaboración propia

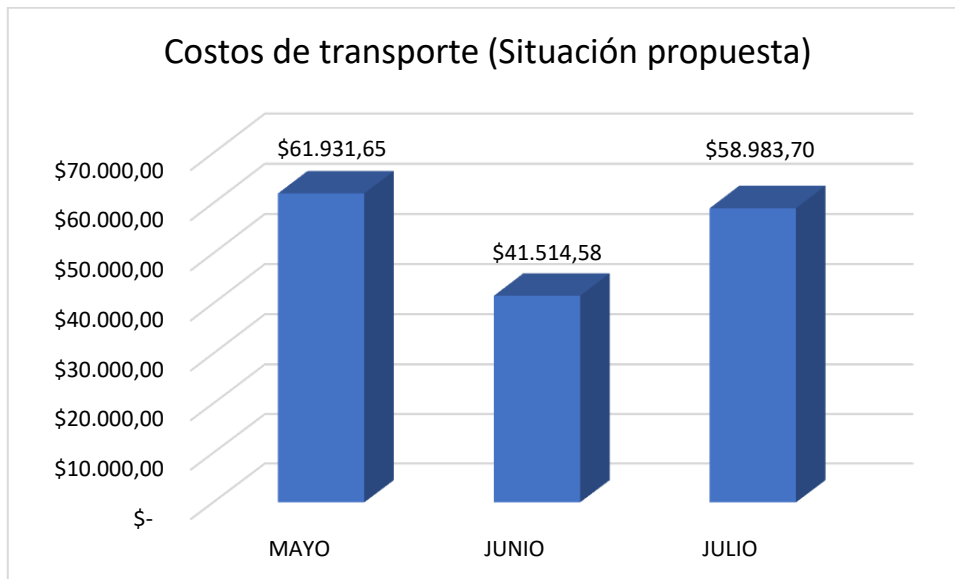


Gráfico 3.16 Costos de transporte situación propuesta
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.16 se observan los costos de transporte de una semana de cada mes, los cuales ingresamos en el software propuesto obteniendo una reducción en los costos del 2%.

El gráfico 3.17 muestra los pedidos generados por los clientes en cada uno de los meses, donde el 82% de los pedidos son del material reciclable “chatarra” y el 12% de los pedidos son de “plástico”.

Mientras que en el gráfico 3.18 se observan los vehículos utilizados para satisfacer cada uno de los pedidos generados. Donde se puede concluir que el 94% de los vehículos realizó sólo una ruta por día, pudiendo optimizar la utilización de los vehículos disponibles.

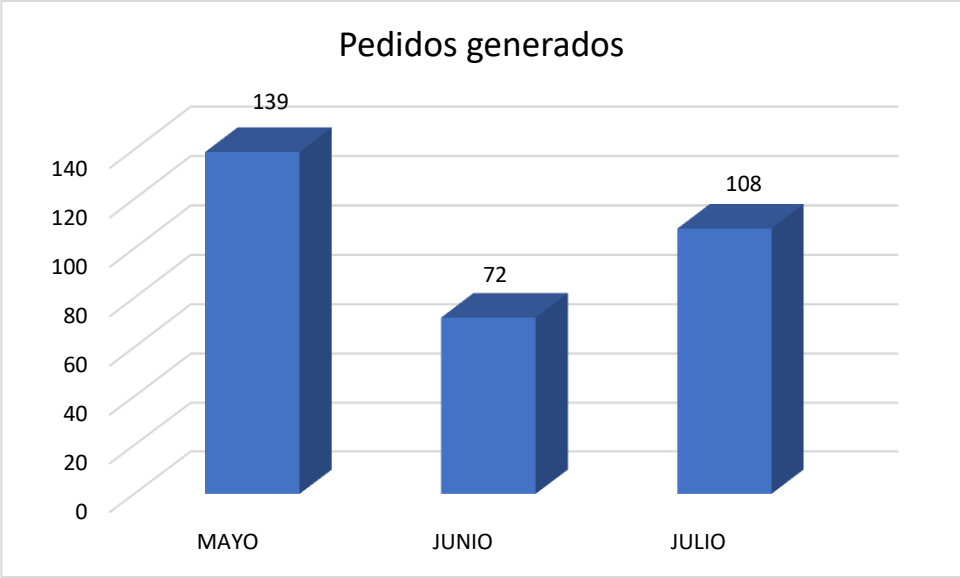


Gráfico 3.17 Pedidos generados en cada uno de los meses
Fuente: Elaboración propia

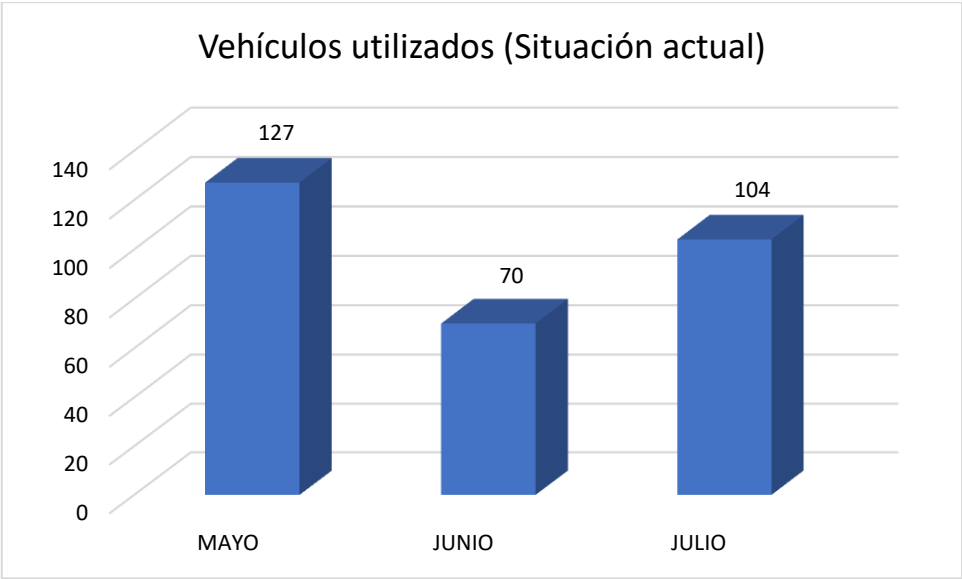


Gráfico 3.18 Vehículos utilizados para satisfacer la demanda en la situación actual
Fuente: Elaboración propia

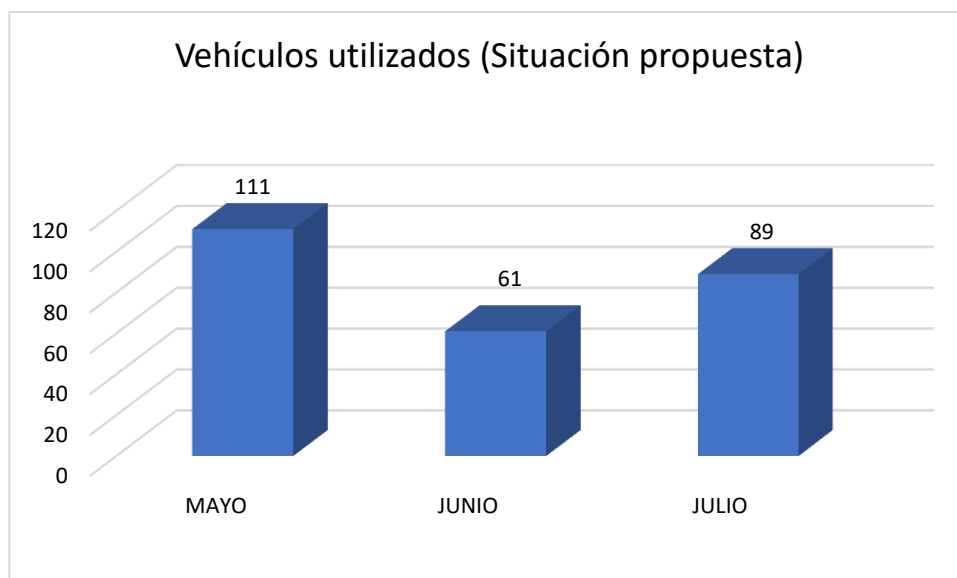


Gráfico 3.19 Vehículos utilizados para satisfacer la demanda en la situación propuesta
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.19 se muestran la cantidad de vehículos utilizados para satisfacer la demanda solicitada, donde el 82% de los vehículos realizó sólo una ruta por día, reduciendo el 12% de la utilización de vehículos.

Además, se analizó la equidad en la asignación de transportistas a destinos, comparando la situación actual con la propuesta.

Para este análisis se consideraron sólo los tráileres, no se consideraron los camiones y mulas debido que, la cantidad de pedidos de estos vehículos no era representativa, por lo tanto, existía equidad entre los salarios pagados a estos transportistas.

Un sueldo equitativo se lo consideró como la máxima diferencia que están dispuestos a ganar unos transportistas en comparación de otros.

A continuación, se muestran los gráficos de los sueldos de transportistas en la semana analizada.

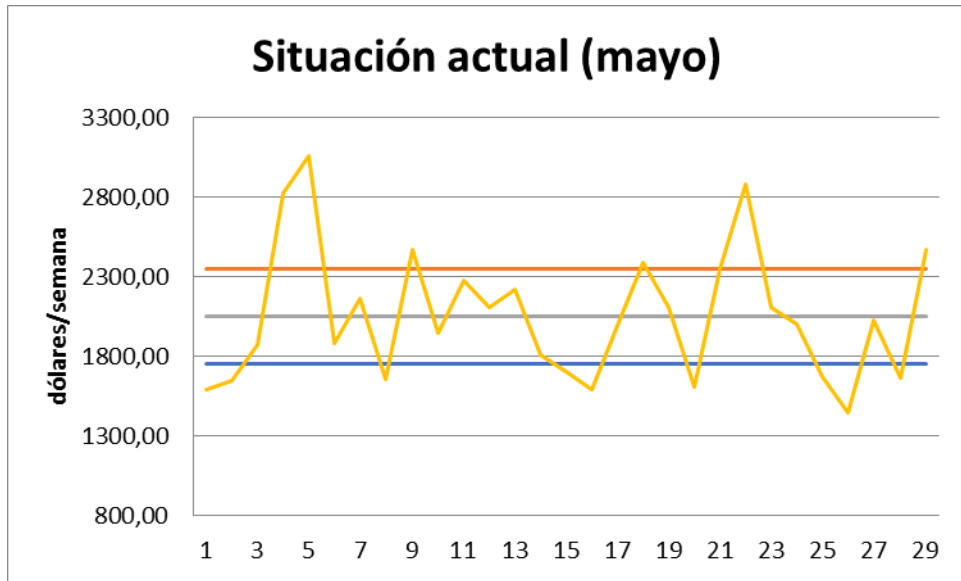


Gráfico 3.20 Sueldos de transportistas en una semana del mes de mayo con la situación actual
Fuente: Elaboración propia

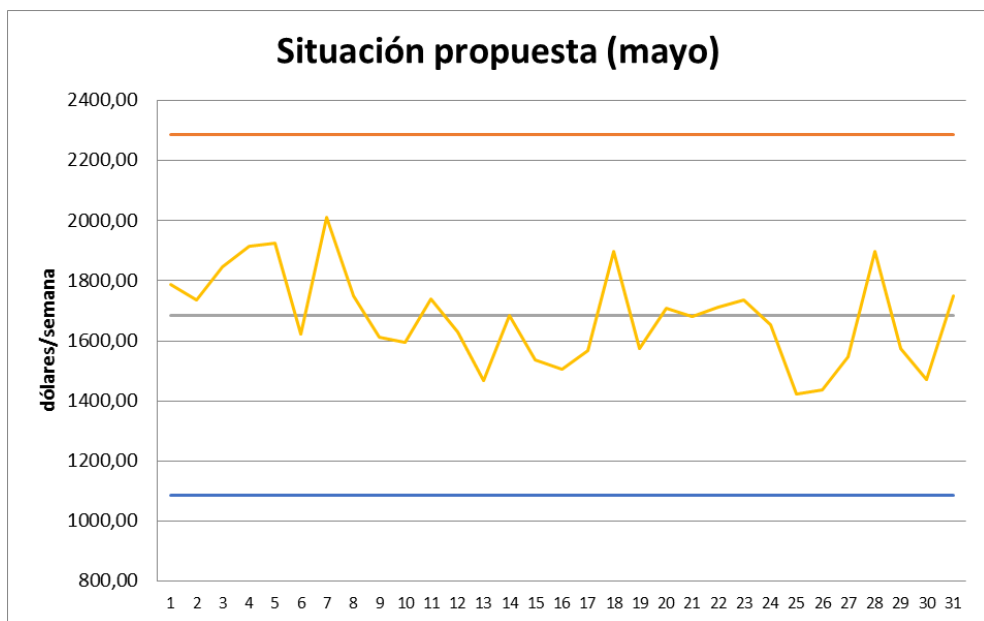


Gráfico 3.21 Sueldos de transportistas en una semana del mes de mayo con la situación propuesta
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.20 se muestra los sueldos de cada transportista con la asignación que realizan en la actualidad, dónde se puede observar que 15 puntos se encuentran fuera de los límites de aceptación por parte de los transportistas. Siendo 17 los transportistas que reciben un sueldo equitativo lo que representa que el 53,1% de los transportistas están conformes con su pago.

En el gráfico 3.21 al igual que el gráfico anterior se muestra los sueldos de los transportistas con el algoritmo de asignación propuesto, dónde claramente se puede evidenciar que el 100% de los transportistas reciben un sueldo equitativo.

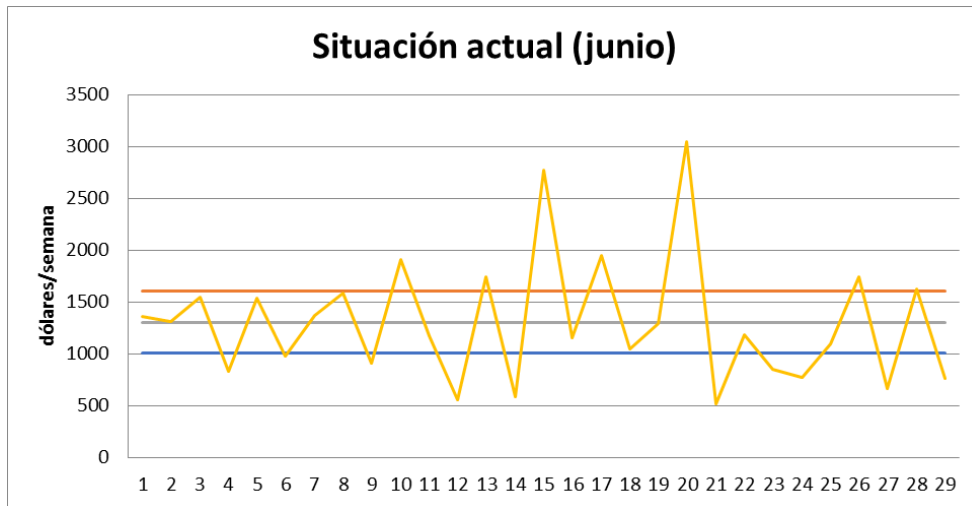


Gráfico 3.22 Sueldos de transportistas en una semana del mes de junio con la situación actual
Fuente: Elaboración propia

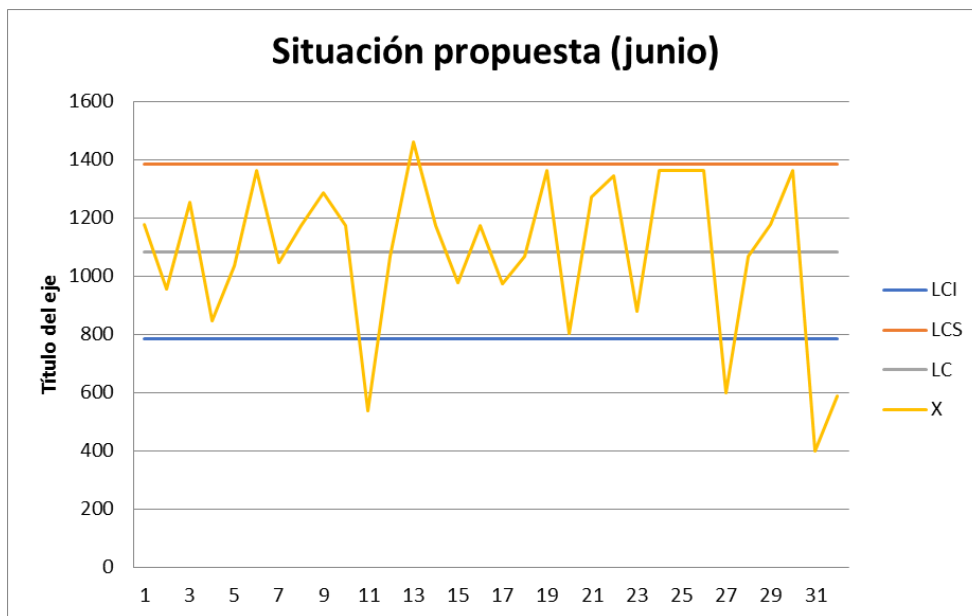


Gráfico 3.23 Sueldos de transportistas en una semana del mes de junio con la situación propuesta
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.22 se muestra la situación actual donde 17 transportistas se encuentran fuera de los rangos de aceptación de sueldos y 15 transportistas,

dentro de este rango; lo que representa que el 46,8% de los conductores reciben un sueldo justo. En el siguiente gráfico, donde se analiza la situación propuesta se observa que 27 transportistas, es decir, el 84,4% de ellos aceptan que su sueldo es equitativo.

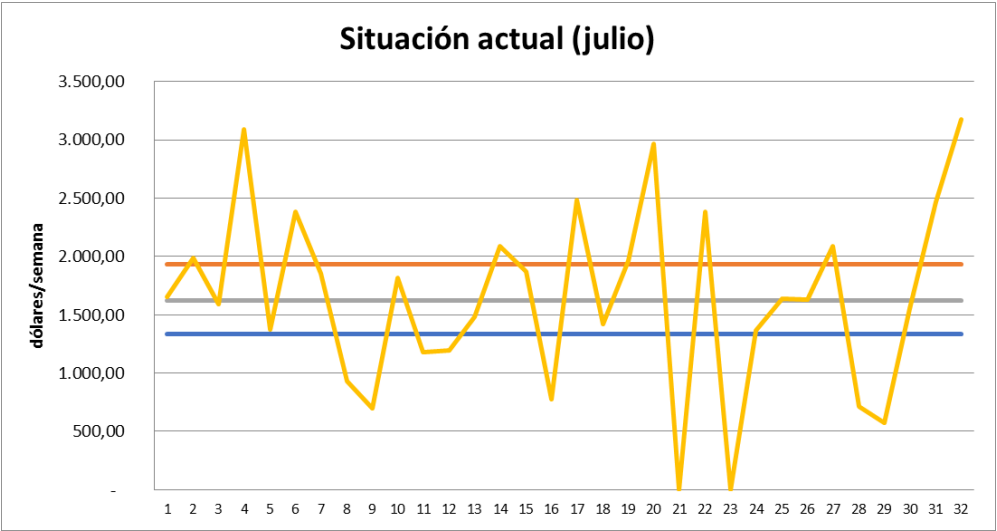


Gráfico 3.24 Sueldos de transportistas en una semana del mes de julio con la situación actual
Fuente: Elaboración propia

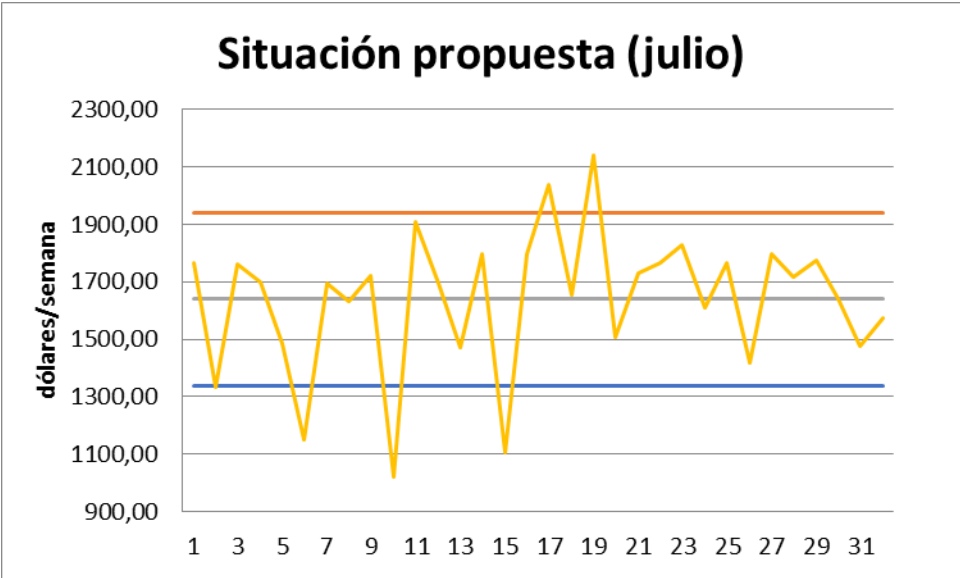


Gráfico 3.25 Sueldos de transportistas en una semana del mes de julio con la situación propuesta
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.24 se puede observar que 20 transportistas se encuentran fuera de los límites de aceptación. Siendo 12 los transportistas que reciben un sueldo equitativo lo que representa que el 37,5% de los transportistas están

conformes con su pago. Mientras que con la situación propuesta son 26 los transportistas que se encuentran dentro de los límites, es decir el 81,2% de los conductores no se ven afectados por una desigualdad de sueldos.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber analizado los resultados en el capítulo anterior, se presentan las conclusiones y recomendaciones de este proyecto.

4.1 Conclusiones

- Mediante el análisis de la información provista por la empresa, se identificó que carecía de datos necesarios para utilizarlos directamente como los parámetros del modelo matemático, por lo tanto, se la adecuo para conseguir la información requerida.
- La complejidad para modelizar matemáticamente el problema fue alta, debido a las particularidades de la naturaleza del negocio donde se enfocó el problema. En primera instancia se basó en diferentes modelos de distribución secundaria, pero se dio la necesidad de implementar restricciones únicas para este problema específico.
- Los resultados de la modelación matemática muestran que se puede obtener la solución óptima, con un tiempo de ejecución aceptable, en el peor de los escenarios (26 pedidos) la persona encargada de realizar la planificación vehicular tomaría alrededor de 2 minutos con 40 segundos al día para realizar esta tarea.
- Los costos de transporte disminuyen tan solo en un 2% con el modelo actual de asignación de la empresa, puesto que los pedidos de recolección de plásticos representan el 18% del total de los pedidos. En el caso de no existir requerimiento de recolección de plásticos los costos no se reducirán debido a que las restricciones de la empresa para recolectar chatarra no permiten algún cambio o mejora, solo se realizan rutas directas, los valores referenciales fueron del periodo mayo a julio. Sin embargo, cabe destacar que la empresa va a implementar en un corto tiempo un producto innovado elaborado a partir de plástico, por lo cual los pedidos de este tipo de material tienen que aumentar, y así el porcentaje del costo de transporte disminuirá significativamente.
- Los resultados obtenidos sugieren que se optimiza la utilización de la flota vehicular en un 12%.

- Mediante la programación de un algoritmo para la asignación vehicular, se comprobó mayor equidad en los pagos salariales a todos los transportistas. Por medio del ingreso de los pedidos de los meses analizados en el software propuesto se identificó que en la situación actual de la empresa el 46% de los transportistas reciben un sueldo dentro de un rango equitativo en una semana del mes, mientras que con el algoritmo de asignación propuesto se evidencia que el 89% de los transportistas cobran un sueldo equitativo en una semana del mes.
- La interfaz gráfica diseñada en Matlab cumple con el objetivo de permitir el ingreso de los pedidos, mostrar en pantalla la asignación de destinos a transportistas, y ruteo vehicular. Mediante la utilización del software logístico propuesto, el ingreso promedio de 20 pedidos diarios se demorará aproximadamente 12 minutos al día para obtener los resultados requeridos.

4.2 Recomendaciones

- Realizar una revisión mensual al histórico de destinos asignados a transportistas para evitar que el algoritmo propuesto considere las asignaciones realizadas el mes anterior, y no cumpla con la equidad en este proceso. Es decir, si un transportista ha realizado rutas largas el mes anterior ya no sea considerado para el nuevo mes.
- Capacitar a la persona encargada de coordinar el transporte para que pueda reconocer el funcionamiento correcto del software y evitar alguna modificación no deseada.
- Modificar el modelo matemático para que permita que la demanda requerida por un proveedor sea satisfecha en una sola ejecución del software. Debido que en la actualidad si una recicladora requiere n vehículos se debe ejecutar el programa n veces.
- Automatizar las conexiones entre la base de datos realizada en el programa Excel y el software logístico, para disminuir el tiempo de espera ocasionado por el intercambio de información.

BIBLIOGRAFÍA

- Ángel Geovanny Guamán Lozano, G. E. (14 de 05 de 2017). OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE AMBATO MEDIANTE EL DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE REDES. *Revista ECA Sinergia*, 8. Recuperado el 11 de 06 de 2019, de file:///C:/Users/Estudiante/Downloads/Dialnet-OptimizacionDelProcesoDeRecoleccionDeDesechosSolid-6230340%20(1).pdf
- Erdogan, G. (02 de Mayo de 2017). *VRP SpreadSheet Solver*. (U. d. Bath, Editor) Obtenido de <https://people.bath.ac.uk/ge277/index.php/vrp-spreadsheet-solver/>
- Henrich, F. S.-J. (2004). *Software logistics for pattern-based applications*. Estados Unidos. Recuperado el 13 de Junio de 2019, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/03/5b/e2/63070794a0738c/US7434203.pdf>
- Jason, F. (9 de Noviembre de 2016). *Investigación de Operaciones*. Recuperado el 13 de junio de 2019, de <https://proyectoinvestigacionoperaciones.wordpress.com/2016/11/09/primera-entrada-del-blog/>
- Matlab. (s.f.). *Math Works*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/xlsread.html>
- Muñoz, S. J. (2018). *Propuesta de Mejora para el Servicio de Recolección de Basura del área urbana del Municipio El Retiro*. Universidad EIA, Ingeniería Industrial. Obtenido de https://repository.eia.edu.co/bitstream/111190/2228/1/JaramilloSantiago_2018_Pr-opuestaMejoraServicio.pdf

Pérez de Vargas Moreno, B. (2015). *Resolución del Problema del Viajante de Comercio (TSP) y su variante con Ventanas de tiempo (TSPTW) usando métodos heurísticos de búsqueda local*. Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado el 13 de Junio de 2019, de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/13378/TFG-I-252.pdf;jsessionid=A344E4EDDFEDDEC44A587545FB766224?sequence=1>

Valerio Elia, M. G. (02 de 2018). Improving logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling. *Waste Management*, 72, 78-86. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17308152#!>

ANEXOS

Anexo A. Direcciones de las bodegas recicladoras

NOMBRE DEL NEGOCIO	DIRECCIÓN
RECICLADORA MATEO	AV, PABLO GUARDERAS S/N Y MARIANA DE JESUS
RECICLADORA SAN GREGORIO	AV. 29 Y SGTO. HECTOR GONZALO CHICA ESPINOZA
RECICLADORA MONTE SINAI	CALLE 22 N-O
GRUPO KELVI BOLAÑO	VIA PERIMETRAL ENTRADA A SAN JUAN
RECICLADORA LATACUNGA	ENTRADA A LA CALERITA FRENTE A LOS ALBANES KM 2 1/2
RECICLADORA PORTOVIEJO	KM.3 1/2 VIA PORTOVIEJO MANTA
ACERO METAL	PANAMERICANA NORTE
NOVARED "QUEVEDO"	PARROQUIA SAN CAMILO CALLE PRINCIPAL S/N
RECICLADORA "MC"	AV. HUAYANAYÑAM OE-189
RECICLADORA JC	PANAMERICA SUR SECTOR CHARLAVIT
COMPAÑIA INTERNACIONAL DE RECICLAJE	BARRIO EUGENIO ESPEJO, AV. 23 S/N Y CALLE 18
RECICLADORA RECIPEN	BARRIO MANABÍ AV. 26 Y CALLE 20
RECICLADORA MEGA METAL	AV. COSTA RICA S/N Y AV. CIRCUNVALACIÓN
RECICLADORA GUAYAQUIL	AV. ISIDRO AYORA, LOTIZACION LOS RANCHOS MZ. 84 SL. 20
FERNANDO JUELA	AMAZONAS Y QUIRUBA ESQ.
RECICLADORA AZUR	VIA BALOSA KM. 1 S/N JUNTO A CARROCERIA VICHI CAR
RECICLADORA DE METALES "LOS CHILLOS	CASHAPAMBA QUINABANDA S/N E IGNACIO REGALADO
RECICLADORA LOS CHILLOS	AV. GENERAL PINTA E-35LOMAS DE LA CONCEPCIÓN
MG GESTORES AMBIENTALES S.A	COOP. DOCE DE NOVIEMBRE MZ. G SL. 12
RECICLADORA DEL NORTE PATIO #12	AV. 24 DE MAYO Y LOS TULIPANES
RECICLADORA BABAHOYO NOVARED	CALLE SEXTA S/N Y MARCOS BENETAZZO
RECICLADORA HNOS. OROZCO	VIA MARISCAL SUCRE S/N Y KM. 1 VIA A MILAGRO
RECICLADORA EL MILAGREÑO	AV. PANAMERICA Y SAN JACINTOS/N
RECICLAJE BLANCA	NIAGARA PANAMERICANA SUR S/N Y AV UNIDAD NACIONAL
RECICLADORA RJ CALDERÓN	PANAMERICANA NORTE S/N
RECICLADORA ROGEL	GUAYAS S/N Y JUAN JPOSE FLORES
REMISURSA S.A	VIA BALOSA LOT. EL ROSARIO

RECI KLANDO	VIA AL TENA, KM 3 1/2 LAS AMERICAS S/N
RECI METAL	PARROQUIA SAN JOSE
NOVAVIC SZ	VIA QUEVEDO KM. 3 1/2 FRENTE A DIPAC
NO TIENE NOMBRE	SAN SILVESTRE AV. MUGUEL ITURRALDE S/N Y LOS ALIZOS
GRUMERI S.A	PANAMERICANA SUR KM 2,5
RECICLADORA DE METALES REINA DE AGUA SANTA	AV. MARICAL SUCRE Y PASAJE EL CHORRO (GUAMANI ALTO)
RECICLADORA METALES Y METALES	MATILDE ALVAREZ DE FERNANDEZ S 6 349683 Y A
RECICLADORA RIOBAMBA	PANAMERICANA NORTE, SECTOR LAS ACACIAS
RECICLADORA PICHINCHA	SECTOR CAPULIPAMBA
NOVA RED LASSO	VIA A QUITO LASSO PANAMERICANA NORTE KM. 24 S/N.
NO TIENE NOMBRE	AV. MARISCAL SUCRE Y JULIAN CHARRO
RECICLADORA CHUQUITARCO CANDO	BARRIO EL MORETAL CALLE H Y B
ECORECICLAR G&P	AV. MALDONADO CALLE S60 C LOTE 161
MUNDI RECICLAJE DEL ECUADOR	AV. MALDONADO CALLE S60 C LOTE 161
RECINEC	AV. MALDONADO KM. 16 SECTOR GUAMANI
REICLAJE SUR	AV. MARISCAL SUCRE
RECICLADORA INTERNACIONAL	PANAMERICANA SUR BARRIO LA JOYA. SECTOR CUTUGLAGUA
PATIO DE RECICLAJE	BARRIO LA PERLA, SECTOR FERIA DE VEHICULOS
RECICLADORA TUNGURAHUA	AV. CASTILLO S/N Y AV. JÁCOME
RECICLADORA FERNANDO	KM. 6 1/2 BARRIO 20 DE MAYO QUITO 2B7-64 Y YASUNI
RECICLADORA COTOPAXI	AV. COTOPAXI, DIAGONAL MERCADO MAYORISTA
RECICLADORA DEL NORTE	PANAMERICA NORTE SECTOR CHORLAVI
NUEVA RECICLADORA	PANAMERICANA NORTE, ENTRADA AL PILLARO
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 1	PATRICIO ROMERO Y "Y" 4
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 2	A 3 CUADRAS DE LA PALAZOLETA DE GUAMANI
ECO RECICLAJE "VIRGEN DEL CISNE" 3	MARISCAL SUCRE DIAGONAL A LA GASOLINERA PRIMAX

Anexo B. Tarifario de la empresa

Destinos	Camión	Mula	Tráiler
Latacunga - Lasso	50,00	60,00	95,00
Pujilí - Lasso	62,50	75,00	115,00
Salcedo - Lasso	56,25	67,50	105,00
Quito Sur - Lasso	117,00	140,40	202,20
Ambato - Lasso	75,00	90,00	135,00
Valle de los Chillos-Lasso	90,63	108,75	160,00
Quito Norte - Lasso	125,00	150,00	215,00
Calacalí (Trailer) - Lasso	128,13	153,75	220,00
Guayllabamba-Lasso	141,56	169,88	241,50
Riobamba - Lasso	128,13	153,75	220,00
Sto. Domingo - Lasso	184,38	221,25	310,00
Cayambe - Lasso	141,56	169,88	241,50
La Maná - Lasso	187,50	225,00	315,00
Cebadas (Riobamba) - Lasso	140,63	168,75	240,00
Guaranda-Lasso	165,00	198,00	279,00
Puyo - Lasso	201,25	241,50	337,00
Valencia(Quevedo)-Lasso	225,00	270,00	375,00
Baeza (Oriente) - Lasso	221,88	266,25	370,00
Otavaló - Lasso	218,75	262,50	370,00
El Carmen-Lasso	243,75	292,50	410,00
Quevedo - Lasso	225,00	270,00	380,00
La Concordia-Lasso	200,00	240,00	340,00
Patricia Pilar - Lasso	218,93	262,72	370,29
Ibarra - Lasso	229,87	275,84	387,79
Chota- Lasso	242,37	290,84	407,79
Buena Fé - Lasso	225,00	270,00	380,00
Empalme - Lasso	229,87	275,84	387,79
Pallatanga - Lasso	229,87	275,84	387,79
Quinindé - Lasso	221,88	266,25	375,00
San Luis - Lasso	250,00	300,00	420,00
Ventanas - Lasso	225,00	270,00	380,00
Tena - Lasso	250,00	300,00	420,00
Archidona-Lasso	270,63	324,75	453,00
Cumanda-Lasso	254,38	305,25	427,00
Bucay-Lasso	254,38	305,25	427,00
Babahoyo - Lasso	250,00	300,00	420,00
Balzar-Lasso	250,00	300,00	420,00
Pedernales - Lasso	246,88	296,25	415,00
Casas de Máquinas - Lasso	250,00	300,00	520,00
Triunfo-Lasso	262,50	315,00	440,00
Naranjito - Lasso	315,63	378,75	525,00
Lumbaqui - Lasso	310,00	360,00	608,50
Macas - Lasso	262,50	315,00	440,00
Palestina - Lasso	229,87	275,84	387,79
Vinces-Lasso	229,87	275,84	387,79
La Troncal - Lasso	262,50	315,00	440,00
San Carlos - Lasso	218,75	262,50	370,00
Chone-Lasso	259,94	311,93	435,90
Yaguachi - Lasso	325,00	390,00	540,00
Milagro - Lasso	325,00	390,00	540,00
Santa Lucía - Lasso	325,00	390,00	540,00
Esmeraldas - Lasso	331,50	397,80	550,40
Tosagua-Lasso	273,00	327,60	456,80
Duran - Lasso	357,50	429,00	592,00
Puerto Inca - Lasso	357,50	429,00	592,00
Daule - Lasso	325,00	390,00	540,00
Tulcan - Lasso	321,00	385,20	533,60
Portoviejo - Lasso	300,94	361,13	501,50
Lago Agrio - Lasso	310,00	360,00	608,50
Lomas de Sargentillo	325,00	390,00	540,00
Petrillo - Lasso	343,75	412,50	570,00
Naranjal - Lasso	367,81	441,38	608,50
Guarumales-Lasso	312,50	375,00	520,00
Gye - Lasso	367,81	441,38	608,50
Azogues - Lasso	362,50	435,00	600,00
El Coca - Lasso	325,00	390,00	680,00
Montecristi-Lasso	334,38	401,25	565,00
Manta - Lasso	334,38	401,25	565,00
Chongon - Lasso	387,50	465,00	650,00
Pacayacu-Lasso	325,00	390,00	650,00
Cuenca - Lasso	406,25	487,50	680,00
Sushufindi	350,00	420,00	730,00
Sacha - Lasso	310,00	360,00	618,50
La Ponce - Lasso	406,25	487,50	680,00
Dayuma	325,00	390,00	680,00
San Lorenzo - Lasso	367,81	441,38	618,50
Tarapoa - Lasso	350,00	420,00	680,00
Pindo - Lasso	437,50	525,00	730,00
Puerto Itaya - Lasso	406,25	487,50	680,00
Pasaje-Lasso	475,00	570,00	790,00
Machala - Lasso	484,38	581,25	805,00
Posorja-Lasso	500,00	600,00	830,00
Santa Rosa(Machala)-Lasso	516,25	619,50	856,00
Península - Lasso	500,00	600,00	830,00
Arenillas-Lasso	525,00	630,00	870,00
Huaquillas - Lasso	543,75	652,50	900,00
Portovelo - Lasso	556,25	667,50	920,00
Zamora - Lasso	718,75	862,50	1180,00

