

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



**Diseño de un modelo de logística inversa para la
recolección y reutilización de aceite vegetal utilizado en
cadenas de restaurantes**

**Tesis para obtener el grado académico de Magíster en
Ingeniería y Gestión de Cadenas de Suministro que
presenta:**

NORMA LORENA MONTEZA VALDIVIA

ASESOR

JONATAN EDWARD ROJAS POLO

Lima, 2022


Informe de Similitud

Yo, **Jonatan Edward Rojas Polo**, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulado **Diseño de un modelo de logística inversa para la recolección y reutilización de aceite vegetal utilizado en cadenas de restaurantes**, de la autora **Norma Lorena Monteza Valdivia**,dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de **22.0%**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el **05-oct-2022**.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

30-noviembre-2022

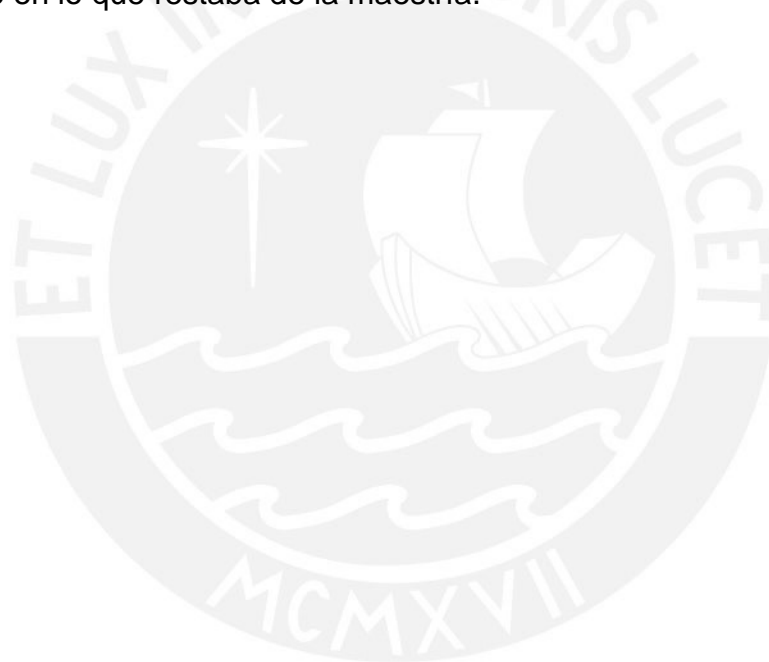
| | |
|--|--|
| Apellidos y nombres del asesor: Rojas Polo, Jonatan Edward | |
| DNI: 42529429 | Firma:  |
| ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5498-4090 | |

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero a Dios, por haber permitido que tanto yo y mi familia nos mantengamos con salud en estos momentos difíciles de pandemia, así como la empatía debida hacia quienes se vieron afectados.

Quiero agradecer a mis padres y mis hermanos por siempre apoyarme en las decisiones que tomo para el bien de mi profesión, así como el amor y orgullo que siento por ellos.

Quiero agradecer a mi alma máter, PUCP, por la formación integral y por la calidad de profesores que han aportado en la elaboración de esta tesis, como quien en vida fue Dr. César Stoll, gran maestro y guía en todo este proceso; y a mi asesor Ing. Rojas por el incentivo en lo que restaba de la maestría.



RESUMEN

A lo largo del tiempo, los modelos de cadena de suministro han buscado poder optimizar los procesos que la conforman. Se tiene conocimiento de los residuos que generan las actividades de producción y consumo de estas cadenas, los cuales según sea el caso, pueden generar un impacto negativo en el medio ambiente. El presente estudio se orienta a poder explorar los residuos de la cadena de suministro del aceite vegetal y poder aplicar la metodología de logística inversa para el recojo del mismo y poder reutilizarlo como biocombustible para los clientes que puedan ser parte de este estudio. Con el marco teórico, se busca poder entender los términos a utilizar para lo que respecta a logística inversa, aceite usado y biocombustible. Por el lado del marco metodológico, se busca mediante los diferentes métodos de ruteo presentados, elegir el óptimo y el que se pueda ajustar mejor al modelo a presentar. Los resultados ponen en evidencia el deseo de la empresa para poder generar una mejor imagen de cuidado del medio ambiente frente al consumidor final, así como la de afiliación de clientes que también contribuyen con esta red de logística inversa a conformar, que no solo los beneficia en términos de imagen, sino también en el uso del biocombustible obtenido para sus procesos productivos.

Palabras clave

Cadenas de suministro, logística inversa, aceite vegetal usado, biocombustible, beneficios.

ABSTRACT

Over time, supply chain models have sought to optimize the processes that comprise it. There is knowledge of the waste generated by the production and consumption activities of these chains, which, as the case may be, can generate a negative impact on the environment. The present study is oriented to be able to explore the residues of the vegetable oil supply chain and to be able to apply the inverse logistics methodology to collect it and be able to reuse it as biofuel for customers that may be part of this study. With the theoretical framework, we seek to understand the terms to be used for reverse logistics, used oil and biofuel. On the side of the methodological framework, it is sought through the different routing methods presented, to choose the optimal one and the one that can best fit the model to be presented. The results highlight the desire of the company to generate a better image of environmental care against the final consumer, as well as the affiliation of customers who also contribute with this reverse logistics network to be formed, which not only benefits them in terms of image, but also in the use of the biofuel obtained for its production processes.

Key words: supply chain, inverse logistics, vegetal oil, biofuel, benefits

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| RESUMEN | iii |
| ABSTRACT | iv |
| ÍNDICE | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO | 3 |
| 1.1 Antecedentes de la Logística Inversa | 3 |
| 1.1.1 Definiciones de la Logística Inversa | 5 |
| 1.1.2 Logística Inversa en el mundo y en Perú | 12 |
| 1.1.3 Situación ambiental en Perú respecto a los residuos sólidos | 18 |
| 1.2 Proceso de manufactura del aceite doméstico..... | 24 |
| 1.3 Modelo de logística inversa para el aceite doméstico | 27 |
| 1.4 Reutilización del aceite doméstico | 32 |
| CAPÍTULO 2.- MARCO METODOLÓGICO | 35 |
| 2.1. Propuesta de implementación..... | 35 |
| 2.2. Lugar de implementación..... | 35 |
| 2.3. Flujograma de la metodología..... | 36 |
| CAPÍTULO 3.- DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL | 39 |
| 3.1. Descripción del sector | 39 |
| 3.2. Descripción de la problemática | 41 |
| 3.3. Análisis de la información | 44 |
| 3.3.1. Análisis de la demanda semanal | 44 |
| 3.3.2. Ubicación de los nodos (puntos de recojo) | 45 |
| 3.3.3. Selección de las unidades de recojo | 47 |
| 3.3.4. Capacidad de recepción de la planta de transformación | 47 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 4.- PROPUESTA DE RECOLECCIÓN Y MODELAMIENTO DEL PROBLEMA | 49 |
| CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS | 54 |
| 5.1. Resultados cuantitativos del ruteo..... | 55 |
| 5.2. Resultados económicos del ruteo..... | 80 |
| CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 82 |
| 6.1. CONCLUSIONES..... | 82 |
| 6.2. RECOMENDACIONES | 83 |
| BIBLIOGRAFÍA | 84 |
| ANEXOS | I |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Integración de la red de logística tradicional y logística inversa | 6 |
| Figura 1.2 Flujo directo e inverso en una cadena de suministro | 7 |
| Figura 1.3 Procesos de recuperación en la Cadena de suministro inversa..... | 10 |
| Figura 1.4 Evolución de los Objetivos de la Logística | 11 |
| Figura 1.5 Ciclo de vida tradicional de los ACR..... | 20 |
| Figura 1.6 Ciclo de vida de los ACR de acuerdo con la economía circular | 21 |
| Figura 1.7 Cadena de suministro del aceite vegetal comestible..... | 26 |
| Figura 1.8 Modelo de red de recuperación | 27 |
| Figura 1.9 Capacidad instalada y proyectada para la producción de biodiésel | 28 |
| Figura 1.10 Cálculo de la densidad aparente del aceite comestible reciclado | 34 |
| Figura 1.11 Cálculo de la viscosidad cinemática del aceite comestible reciclado | 34 |
| Figura 1.12 Cálculo de la viscosidad dinámica del aceite comestible reciclado | 34 |
| Figura 2.1 Flujograma de la metodología a implementar en la red de logística inversa | 36 |
| Figura 3.1 Porcentaje de consumo de aceite por marca de restaurante | 45 |
| Figura 3.2 Obtención de mapa de puntos de los locales de restaurantes | 46 |
| Figura 3.3 Nodo de Geo Distancias | 46 |
| Figura 3.4 Obtención del cálculo de distancias | 47 |
| Figura 3.5 Ubicación de la planta de Transformación (Ventanilla) | 48 |
| Figura 5.1 Gráfica de nodos – Día Reparto Lunes | 55 |
| Figura 5.2 Solución Ruteo Día Lunes | 56 |
| Figura 5.3 Gráfica de nodos – Día Reparto Martes | 57 |
| Figura 5.4 Solución Ruteo Día Martes - Grupo 1..... | 59 |
| Figura 5.5 Solución Ruteo Día Martes - Grupo 2..... | 60 |
| Figura 5.6 Solución Ruteo Día Martes - Grupo 3..... | 61 |
| Figura 5.7 Gráfica de nodos – Día Reparto Miércoles | 62 |
| Figura 5.8 Solución Ruteo Día Miércoles - Grupo 1 | 64 |
| Figura 5.9 Solución Ruteo Día Miércoles - Grupo 2..... | 65 |
| Figura 5.10 Gráfica de nodos – Día Reparto Jueves | 66 |
| Figura 5.11 Solución Ruteo Día Jueves - Grupo 1 | 68 |
| Figura 5.12 Solución Ruteo Día Jueves - Grupo 2 | 69 |
| Figura 5.13 Solución Ruteo Día Jueves - Grupo 3 | 70 |
| Figura 5.14 Gráfica de nodos – Día Reparto Viernes..... | 71 |
| Figura 5.15 Solución Ruteo Día Viernes - Grupo 1 | 73 |
| Figura 5.16 Solución Ruteo Día Viernes - Grupo 2 | 74 |
| Figura 5.17 Solución Ruteo Día Viernes - Grupo 3 | 75 |
| Figura 5.18 Gráfica de nodos – Día Reparto Sábado..... | 76 |
| Figura 5.19 Solución Ruteo Día Sábado - Grupo 1 | 78 |
| Figura 5.20 Solución Ruteo Día Sábado - Grupo 2 | 79 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Costos logística inversa vs. Logística directa | 8 |
| Tabla 1.2 Caso Magallanes | 13 |
| Tabla 1.3 Caso Adelita | 14 |
| Tabla 1.4 Impactos ambientales de las principales empresas de tecnología | 17 |
| Tabla 1.5 Cadena de valor de la producción de biodiésel a partir de los ACR | 23 |
| Tabla 2.1 Algoritmos de solución VS Restricciones del modelo | 37 |
| Tabla 2.2 Conjuntos, variables y parámetros - Modelo optimización | 38 |
| Tabla 3.1 Demanda de aceite mensual (en litros) | 44 |
| Tabla 3.2 Promedio semanal de consumo de aceite (en litros) | 44 |
| Tabla 3.3 Número de locales por marca de restaurante | 45 |
| Tabla 4.1 Denominación de parámetros | 49 |
| Tabla 5.1 Nodos y coordenadas – Reparto día lunes | 56 |
| Tabla 5.2 Nodos y coordenadas – Reparto día martes (Grupo 1) | 58 |
| Tabla 5.3 Nodos y coordenadas – Reparto día martes (Grupo 2) | 59 |
| Tabla 5.4 Nodos y coordenadas – Reparto día martes (Grupo 3) | 60 |
| Tabla 5.5 Nodos y coordenadas – Reparto día miércoles (Grupo 1) | 63 |
| Tabla 5.6 Nodos y coordenadas – Reparto día miércoles (Grupo 2) | 64 |
| Tabla 5.7 Nodos y coordenadas – Reparto día jueves (Grupo 1) | 67 |
| Tabla 5.8 Nodos y coordenadas – Reparto día jueves (Grupo 2) | 68 |
| Tabla 5.9 Nodos y coordenadas – Reparto día jueves (Grupo 3) | 70 |
| Tabla 5.10 Nodos y coordenadas – Reparto día viernes (Grupo 1) | 72 |
| Tabla 5.11 Nodos y coordenadas – Reparto día viernes (Grupo 2) | 73 |
| Tabla 5.12 Nodos y coordenadas – Reparto día viernes (Grupo 3) | 75 |
| Tabla 5.13 Nodos y coordenadas – Reparto día sábado (Grupo 1) | 77 |
| Tabla 5.14 Nodos y coordenadas – Reparto día sábado (Grupo 2) | 78 |
| Tabla 5.15 Costos actuales transporte (sin ruteo de recojo optimizado) | 80 |
| Tabla 5.16 Costos Futuros transporte (con ruteo de recojo optimizado) | 81 |
| Tabla 5. 17 Ahorro monetizado y porcentual para el transporte de la red de logística inversa . | 81 |

INTRODUCCIÓN

En nuestros días, diariamente se vierten miles de litros de aceite utilizados en la cocción de alimentos, de manera inadecuada por las tuberías de desagüe o los inodoros, los cuales causan serios problemas ambientales y sanitarios, por su mal manejo actual y porque su composición, luego del uso, resulta peligrosa para el consumo humano. (Gutiérrez)

Esta problemática se ha intensificado en los últimos años, en donde las familias y empresas que utilizan este producto, no tienen conocimiento del grave daño que se está causando al medio ambiente. Asimismo, dentro del Perú no existe una cultura del reciclaje de aceite, por lo cual el problema persiste sin encontrar solución. (Recolección ACV)

Según la bibliografía encontrada, solo los distritos de: Comas, Miraflores, San Isidro y San Borja (21) han tomado interés por la gestión de la disposición del aceite doméstico usado; sin embargo, sería recomendable que esta práctica se vea intensificada en todos los distritos de la capital, y que sean los clientes que concentran el mayor uso del aceite quienes puedan brindar el ejemplo para que el consumidor pueda tomar el rol del cuidado de medio ambiente.

Dentro de los daños causados por el vertimiento del aceite a la red de alcantarillado, en España (Fundación), “se estima que dos tercios de este residuo acaba en las alcantarillas, de manera que ocasiona diversos perjuicios: atascos en tuberías, trabajo extra para las plantas de tratamiento de aguas residuales, contribuye a la reproducción de bacterias potenciales nocivas en las tuberías con el consiguiente aumento de plagas urbanas y a la generación de malos olores en las casas”.

De esta manera, se trata de concientizar a la reutilización del aceite usado; sin embargo, las experiencias referentes a su uso al final de su ciclo de vida o las cadenas inversas que ponen estos productos en nuevos ciclos de producción aún son incipientes. En nuestro país, solo se tiene al Reglamento del Decreto Legislativo N°1278 en coordinación con el Ministerio del Medio Ambiente en donde se emite la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, para lo cual en la práctica no se ve

reflejado en la mayoría de municipios de la capital. (Peruano)

Es por ello, que durante la última década, ha surgido el enfoque de la cadena de suministro inversa, que se ocupa de los flujos inversos de bienes y productos al final de su ciclo de vida, devolviéndolos a nuevos ciclos productivos.

También están surgiendo estudios sobre la reutilización de productos al final de su ciclo de vida, como Kumar y Malegeant (2006), quienes informan sobre la iniciativa Nike, en asociación con ONG enfocadas en temas ecológicos, para su implementación. un programa de reutilización para zapatos usados; Jabour's (2010), que aborda la inserción de preocupaciones ambientales en la Función de Producción en empresas brasileñas; Coelho, Castro y Gobbo Jr. (2011), que se ocupan del reciclaje de botellas de PET; Souza et al. (2012), que trata sobre el uso del aceite de cocina utilizado para freír como un insumo en la producción de biodiesel en el distrito de Copacabana (RJ); y Jabour y Jabour (2012), que se ocupan de la gestión ambiental en empresas del sector de la electrónica en Brasil. Sin embargo, los estudios centrados en la estructuración y coordinación de las cadenas de suministro inversas aún son escasos. (Zucatto, Welle, & Nunes Da Silva)

La estructura de este estudio pretende fusionar dichos conceptos, para poder concretizarlos en el mercado actual y poder presentar esta propuesta a los clientes de mayor consumo, centrándonos en las cadenas de comida rápida principales, para que ellos luego puedan utilizar este aceite usado como biocombustible para sus procesos productivos, es decir, este aceite usado y tratado sea utilizado como combustible en sus plantas de procesamiento. (Ingeniería)

CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO

El marco teórico que sustenta este estudio se basa en la exploración de la cadena de suministro inversa para el caso de la producción y consumo de aceite vegetal comestible y la coordinación de la cadena de suministro.

Por tanto, se explicarán las definiciones correspondientes a estos términos, para proporcionar una base suficiente de estudio que apoye el estudio, análisis y discusión de resultados.

1.1 Antecedentes de la Logística Inversa

La logística inversa se define como: “un proceso paralelo a la logística que comúnmente conocemos, en donde la diferencia radica en la dirección del flujo de suministros y productos terminados que se contraponen entre sí”. El interés por el término logística inversa en los diferentes ámbitos de la industria es relativamente moderno.

Durante la década de los años cincuenta, el potencial de la logística como cadena integradora fue reconocido y el manejo de costos fue introducido dentro del concepto. Cinco años después, se incluyó un nuevo punto de vista debido a las acciones de mercadotecnia en donde se notaba que la percepción del cliente impactaba a las ventas, es aquí donde el concepto de nivel de servicio o servicio al cliente es añadido al concepto de logística.

Para la época de los años setenta:” se comienza a analizar la estructura de los canales de distribución para el reciclaje, los miembros que participan en estos canales, las nuevas funciones, etc. Pero es a partir de los años noventa cuando se comienza a estudiar con mayor profundidad la gestión de los productos fuera de uso y los sistemas logísticos asociados”.

Es en este punto en donde empiezan a acuñarse las definiciones para logística y logística inversa:

- En 1985, el Council of Logistics Management (CLM) define la logística como: “una parte del proceso de la cadena de suministros que planea implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente.”
- Es durante el año 1992 donde el CLM publica la primera definición conocida de logística inversa (Stock, 1992): “...El termino comúnmente usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición de desperdicios y el manejo de materiales peligrosos; una perspectiva más amplia incluye todo lo relacionado con las actividades logísticas llevadas a cabo en la reducción de entrada, reciclaje, sustitución y re-uso de materiales y su disposición final.”
- Al final de los noventas, Rogers & Tibben Lembke (1998) describen a la logística inversa incluyendo el objetivo y los procesos (logísticos) involucrados: “El proceso de planear, implementar y controlar eficientemente y el costo eficaz de los flujos de materias primas, inventario en proceso, bienes terminados e información relacionada desde el punto de consumo al punto de origen con el propósito de recuperar el valor primario o disponer adecuadamente de ellos”.
- Sin embargo el grupo Europeo de logística inversa, RevLog (1998), fue más allá de la definición de Rogers & Tibben Lembke usando la siguiente definición: “El proceso de planeación, implementación y control del flujo de materias primas, inventario en proceso y bienes terminados, desde un punto de uso, manufactura o distribución a un punto de recuperación o disposición adecuada.”
- Para el año 2003, el CLM actualiza la definición de la siguiente manera: “Una parte del proceso de la cadena de suministros que planea, implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento hacia adelante y en inversa de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente.”

De esta manera, se puede observar que el término de logística inversa ha crecido en los últimos años debido a las devoluciones que las empresas están experimentando, esto debido al incremento de la competitividad en determinado nicho de mercado, esto también se debe a las nuevas necesidades que van surgiendo por parte del consumidor final de la cadena. Actualmente, se busca disminuir esta tasa de devoluciones con una adecuada gestión comercial de ser el caso, así se busca reducir las devoluciones o reinsertarlas dentro de la cadena, reduciendo los costos y recuperando el valor comercial. Las empresas comerciales mediante una adecuada gestión de devoluciones en la cadena de suministro pueden transformar ello como una ventaja competitiva frente a su principal retador. Esta política puede verse plasmada en un manual de procedimientos, lo que se definiría como logística aplicada en la cadena de abastecimiento.

1.1.1 Definiciones de la Logística Inversa

De acuerdo a lo señalado al punto anterior, tenemos los siguientes conceptos de logística inversa:

- **Logística inversa (Balli)**

Podemos definir la logística inversa dentro de tres conceptos:

1. “La logística inversa comprende todas las operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales. Se refiere a todas las actividades físicas de recolección, desensamblaje y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida.”
2. “Es el proceso de planificar, implementar y controlar eficientemente el flujo de materias primas, inventario en curso, producción relacionada con ellos, desde el punto de consumo hacia el punto de origen con el propósito de recapturarlos, crearles valor, o desecharlos.”
3. “Como logística reversa en el sentido más amplio se entienden todos los procesos y actividades necesarias para gestionar el retorno y reciclaje de las mercancías en la cadena de suministro. La logística inversa engloba operaciones de distribución, recuperación y reciclaje de los productos.”

1.1.1. Aplicación de la Logística Inversa

Como se ha explicado anteriormente, la logística inversa se encarga de gestionar el retorno de las mercancías de la manera más efectiva y económica posible. La logística inversa encierra en sí una larga lista de actividades, de las cuales algunas de ellas en su mayoría logran ser comerciales – ecológicas evitando con ello la destrucción del medio ambiente y el posicionamiento en la mente del consumidor de la marca como una empresa respetuosa con el medio ambiente. Es decir, la logística inversa se define como un proceso continuo y paralelo a lo logística tradicional, la diferencia es la dirección del flujo de suministros y productos terminados que se contraponen entre sí, por ejemplo un producto final que no fue vendido o que no fue consumido en el último eslabón de la cadena de suministro, tiene que voltear a ver al origen o alguna etapa del medio de la cadena para poder lograr ser utilizado o pase a desecho. (Ver figura 1.1)

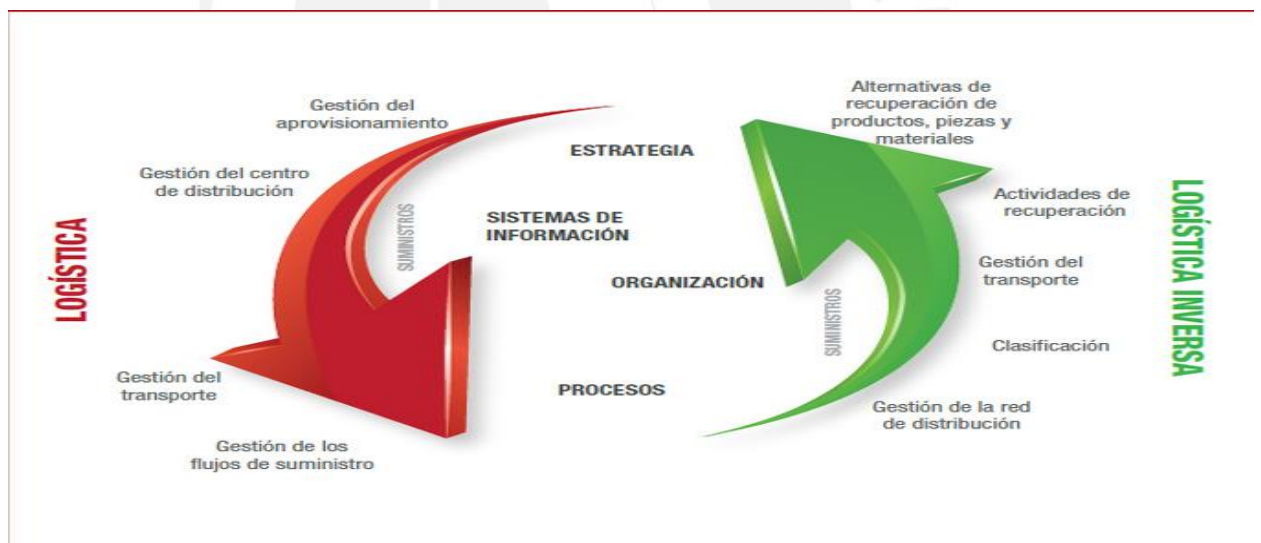


Figura 1.1 Integración de la red de logística tradicional y logística inversa

Fuente: Arrizabalagauriarte Consulting

La plena integración de la logística inversa en la planificación de la cadena de suministro es, según los especialistas, otro recodo que todavía queda por salvar y el único camino transitable para dar una solución adecuada a necesidades como la velocidad en la gestión y el porte de devoluciones, fundamental para el correcto ajuste de stocks (entre otros asuntos clave para la operatividad del negocio), o la

mejora de las condiciones en las que se realiza este tipo de operaciones – con vistas, principalmente, a la reducción de costos, tanto económicos como medioambientales.

El flujo inverso o de regreso (hacia atrás), hace referencia a la recuperación y devolución de los productos de ser nuevamente introducidos en la línea de producción de la empresa o en otros procesos distintos. El objetivo es lograr maximizar el valor del flujo recuperado, considerando los flujos que impliquen en este proceso como por ejemplo el de reconstrucción, reacondicionado, transformado, reciclado e inclusive procesos de destrucción de materiales. A continuación la figura 1.2 muestra lo anteriormente mencionado:

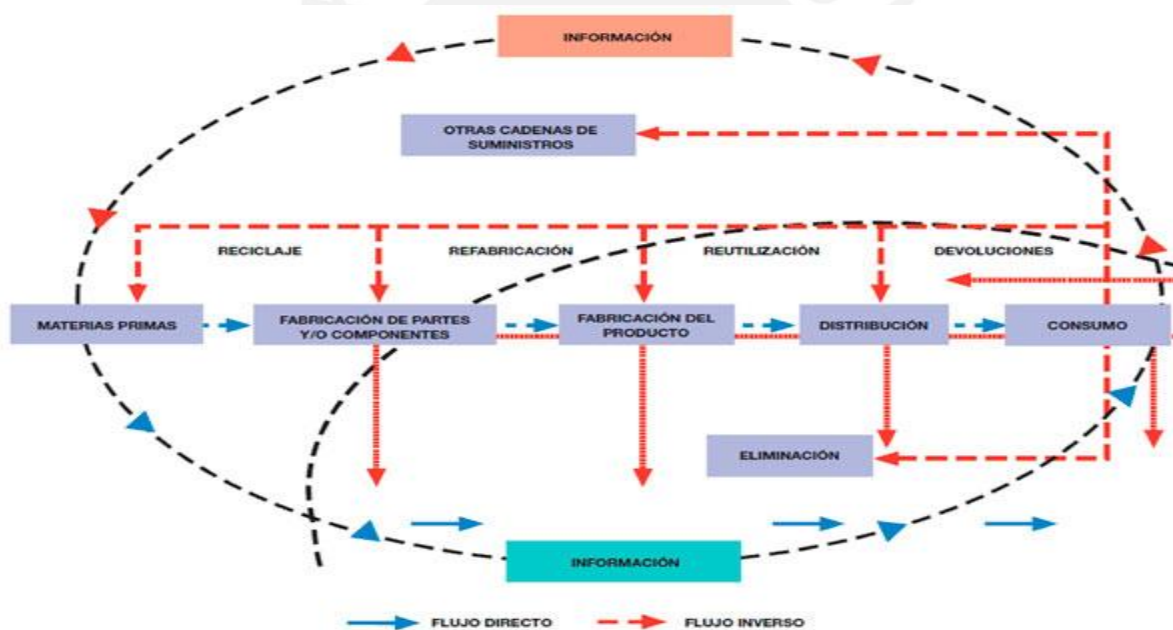


Figura 1.2 Flujo directo e inverso en una cadena de suministro

Fuente: Los sistemas de distribución inversa para la recuperación de residuos

Por otro lado, los beneficios de la implementación de la logística inversa se dirigen más que nada a aspectos fundamentales como el de poder estar conforme con el modelo de desarrollo sostenible, minimización de costos totales, nuevos materiales generados a partir de los desechos o residuos, gestión eficiente de las devoluciones y una mejor imagen de la empresa en la mente del consumidor. Efectivamente, uno de los pilares fundamentales de un modelo de logística inversa es la capacidad por

parte de la empresa que lo implementa de poder elaborar y/o diseñar envases con propiedades más efectivas para su reutilización o reciclado alcanzándose un trabajo en equipo con el ecodiseño.

Los costos de la logística inversa son en la mayoría de los casos, difíciles de hallar debido a que no se encuentran completamente diferenciados y/o desagregados, conseguir la data se vuelve en muchos casos una tarea compleja, y los viajes de retorno de los medios de transporte son igualmente necesarios. En un estudio de Rogers y Tibben-Lembke (1998) se cuantifican a los costos de la logística inversa en aproximadamente un 4% de los costos totales de la logística directa (3). Si se quiere apreciar un cuadro comparativo entre la logística directa y la inversa se puede observar en la tabla 1.1:

Tabla 1.1 Costos logística inversa vs. Logística directa

| Costos de logística inversa | Comparación con la logística directa |
|--|---|
| Transporte | Mucho mayor |
| Mantenimiento de inventario | Menor |
| Merma o (Robo) | Mucho menor |
| Obsolescencia | Puede ser mayor |
| Clasificación y diagnóstico de calidad | Mucho mayor |
| Manipulación | Mucho mayor |
| Reparación y reembalado | Significativo para logística inversa, no existente en logística directa |
| Cambio de valor en los libros | Significativo para logística inversa, no existente en logística directa |

Fuente. Adaptado de Tibben-Lembke y Rogers, 2002.

La logística inversa presenta muchos beneficios cuando es comparada con la logística directa tradicional de los cuales vemos: crea una visión de marca responsable con el medio ambiente, permite campañas de reutilización de productos (las cuales son una fuente importante de poder fidelizar clientes); favorece la sustitución de materias primas vírgenes por material rescatado o reciclado permitiendo un ahorro considerable de costos; da la posibilidad de cambiar el envase y diseño de los productos, reduce la cantidad de productos en los inventarios; y aumenta la seguridad ante robos y mantiene un valor más real del material inventariado. Además de las mencionadas como reducir el impacto medioambiental, y servir de herramienta para el cumplimiento con la legislación.

Sin embargo, en un modelo de logística inversa no todo resulta beneficioso, ya que se incrementan los costos de transporte al hacer los recorridos para que se recojan los residuos a ser reingresados nuevamente a la cadena de valor y seguir con las actividades de manipulación, clasificación, y control de calidad.

De lo anteriormente mencionado, además se sabe que existen barreras a la implementación de la logística inversa. Debido a que es un término que recientemente está tomando fuerza dentro de la industria, muchos clientes y productores desconocen el valor de los residuos de sus envases y el impacto en el medio ambiente cuando son desechados. Existe una filosofía empresarial reactiva en vez de proactiva que tenga una mejor visión de prevención, por tanto, debido a este tipo de comportamiento empresarial, las instalaciones logísticas no logran ser del todo flexibles y no se encuentran preparadas actualmente para un flujo inverso de materiales y productos. Estrategias menos reactivas y más proactivas permitirían tomar ventajas competitivas frente a la competencia, además de escoger el momento adecuado para la instauración de capacidades necesarias a corto y mediano plazo.

La logística inversa en la gestión de la cadena de suministro (Logística Mexico)

Una vez que se ha explicado la definición de la logística inversa, se explicarán los beneficios dentro de la cadena de suministro:

1. Reducir de manera considerable la contaminación generada por parte de las empresas y determinar de manera cuantitativa y cualitativa los impactos derivados de los desechos de sus productos y servicios.
2. Gestionar de manera eficiente los productos introducidos por diferentes motivos en la cadena de suministro de la empresa, si se puede recuperar el máximo de su valor y contribución.
3. Saber orientar el flujo de productos y materiales desde el momento del consumo (clientes) hacia atrás, quiere decir al punto de origen y/o partida (fabricantes, proveedores) para recuperar el valor que todavía poseen dichos productos o materiales, y dar el tratamiento adecuado a los residuos, minimizando los impactos ecológicos y costos financieros dentro de la organización. En la figura 1.3 se puede apreciar como el flujo se va desplazando de acuerdo al papel que

se desempeña dentro de la red logística inversa:

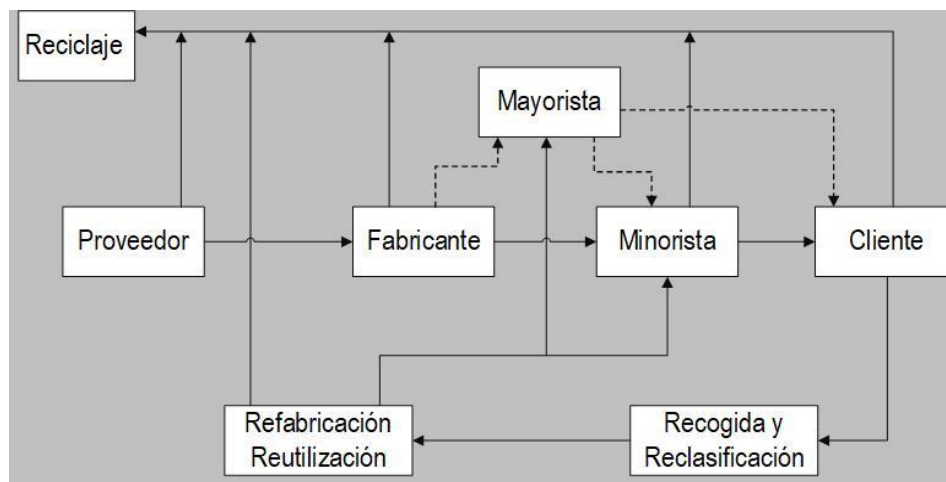


Figura 1.3 Procesos de recuperación en la Cadena de suministro inversa

Fuente: Basilio Balli Morales. La Logística Reversa o Inversa, Aporte al Control de Devoluciones y Residuos en la Gestión de la Cadena de Abastecimiento

La implementación de los procesos de logística inversa ha tenido un aumento considerable de casos desde los inicios de la década de los años ochenta. Aunque de manera inicial empezó por la necesidad que experimentaron las industrias de retornar a la fábrica los productos con daños que eran reclamados por los clientes, el término con el paso de los años ha ido evolucionando con el nacimiento de la conciencia ambiental a nivel mundial (términos como impacto ambiental y calentamiento global fueron añadidos a nuestro léxico dentro de la vida cotidiana), especialmente en Europa y posteriormente en los años noventa, cuando las empresas americanas realizan el descubrimiento de los beneficios económicos que se consigue con la implementación de este tipo de proceso; posteriormente se ve fortalecida debido a la presión ejercida por la falta y encarecimiento de algunos tipos de materias primas, hasta transformarse en un factor estratégico para las compañías. Ver figura 1.4. (Alvarado Ayala, Argueta Rivas, & Fuentes Trujillo, 2008)

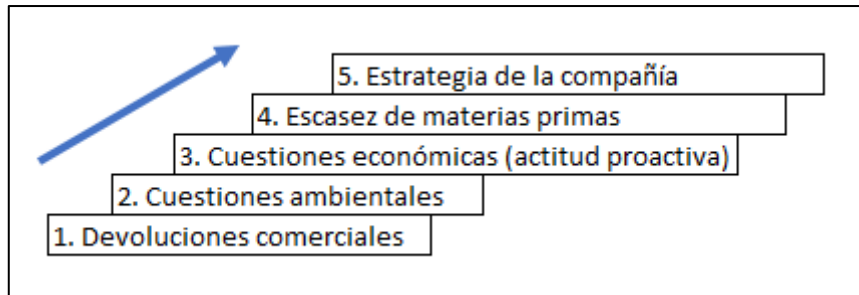


Figura 1.4 Evolución de los Objetivos de la Logística

Fuente: (Alvarado Ayala, Argueta Rivas, & Fuentes Trujillo, 2008)

Es así como el tema del cuidado del medio ambiente ha ido evolucionando a partir de la preocupación por la escasez de los recursos naturales, hacia un concepto más complejo de sostenibilidad y desarrollo, no solo ambiental sino también en los aspectos sociales y económicos; un desarrollo cada vez más impactante y complejo dentro de la cadena de suministro. Ello ha dado lugar a encontrar soluciones como el reciclaje y la re manufactura que han tenido que evolucionar con el mismo dinamismo. Sin embargo, dichas opciones no tendrán mayores resultados si no se elabora un sistema logístico que lo aborde de manera adecuada y que permita optimizar, no sólo la recuperación de los materiales y productos desechados, y su retorno a la cadena de valor, sino su enlace con los modelos productivos tradicionales.

La Logística Inversa desempeña en la actualidad un papel relevante en el mundo empresarial. Las empresas cada día le toman más importancia al proceso inverso de sus sistemas logísticos, debido a los factores medioambientales involucrados en ello y a los beneficios derivados del mejoramiento de su proceso de devoluciones. Así mismo, para tener unos procesos de logística Inversa eficientes y exitosos, es necesaria la colaboración de todos los miembros que conforman la cadena de suministro y que se pueda interiorizar el valor que se añade al momento de poder realizar las devoluciones para el beneficio de la empresa.

1.1.2 Logística Inversa en el mundo y en Perú

En el mundo, el concepto de logística inversa va calando con mayor fuerza, debido a que como se ha mencionado con anterioridad, la cadena de suministro no solo deberá operar de manera eficaz y eficiente sino que también lo deberá hacer de manera sostenible, minimizando el impacto ambiental de su operación, utilizando energías lo más limpias y renovables posibles. Se penalizará la emisión excesiva de CO₂. La logística inversa y la gestión del reciclaje tanto de productos como de embalajes serán cada vez más decisiva.

La mayor concienciación y el deterioro progresivo del medio ambiente ha llevado a que los consumidores se pregunten cada vez más cuál es el destino final de sus bienes usados una vez finaliza su vida útil, si estos se podrán reciclar con garantías y si el impacto ecológico será asumible. El hecho de que un bien sea mayoritariamente reciclable pasará a ser una variable del marketing-mix del producto. La obsolescencia programada de los bienes de consumo pasará a ser objeto de debate. Adicionalmente, el consumidor premiará consumiendo a aquellas cadenas de suministro con mayor responsabilidad social, que faciliten la integración de discapacitados, personas en riesgo de exclusión social, que ofrezcan estabilidad y beneficios sociales a sus empleados. La formación pasará a ser también un aspecto clave, y las redes sociales se convertirán en un foro donde las compañías venderán sus excelencias y afianzarán su reputación en el mercado.

En países como España, Colombia, Chile, Estados Unidos, México, Cuba se puede ver la aplicación de la logística inversa dentro de importantes empresas. En Perú, la logística inversa tiene poca acogida ya que al no ser una actividad fácil se opta por dejarla de lado. “Es así como se abre una brecha para empresas que quieran dedicarse solamente a esta actividad. Entonces tercerizando ya podría cubrirse dicha necesidad, pero también es importante hacerla eficiente”, comentó Denis Vargas, experto con más de 8 años en las áreas de logística, al portal Conexión Esan.

- **Aplicaciones de la logística inversa a nivel internacional**
- a) **Chile: Empacadora Magallanes**

Tabla 1.2 Caso Magallanes

| Situación inicial | Situación aplicando logística inversa |
|---|--|
| <p>Empacadora Magallanes es una prestigiosa empresa conservera de productos de mar, instalada en Punta Arenas, Chile. (Alvarado Ayala, Argueta Rivas, & Fuentes Trujillo, 2008) La empresa se benefició de las estrategias de promoción de exportaciones de Chile Exporta, empresa que a principios de los 80 tenía un posicionamiento exitoso en mercados de Alemania. Tradicionalmente, Magallanes utilizaba una lata de hojalata que tenía una costura de soldadura con una aleación de plomo protegida por un barniz especial. Al poco tiempo este envase, por la existencia de plomo, fue prohibido en Alemania y los productos que utilizaba esta lata fueron retirados de los supermercados.</p> | <p>La operación de recoger todas las devoluciones costó aproximadamente 45,000 US\$ además del costo de pérdida de ventas en este mercado durante tres meses y medio, periodo en que se cambió el proceso de envasado en la planta de Punta Arenas por un sistema basado en hoja de aluminio 100% reciclable que se importaba directamente desde Alemania. Este nuevo envase no solo podía ser usado en el mercado objetivo, sino que era reciclado por los proveedores de aluminio. Al poco tiempo, Empacadora Magallanes obtuvo la certificación llamada “punto verde” para sus productos, obteniendo una ventaja competitiva en un mercado de consumidores muy conscientes de la conservación del ambiente y que valorizan una conducción ambientalmente sustentable de los negocios.</p> |

Fuente: Logística inversa. Juan Pablo Antún Callaba. Septiembre 2004.

b) México: Caso Adelita

Tabla 1.3 Caso Adelita

| Situación inicial | Situación logística inversa |
|---|---|
| <p>Adelita es una comercializadora de exportación de preparaciones de chiles (ajíes) como especias (en escamas, en polvo) para el mercado gourmet, que lanzó un mix muy atractivo de sus productos estructurado como un set con notable valor agregado en su diseño: etiquetas, recetarios, acabado con telas de algodón, redcillas y lazos de colores, sobre una bandeja de papel reciclado con acabado artesanal. El producto adquirió un nivel de ventas interesante en los mercados étnicos importantes.</p> <p>Los ejecutivos de la empresa al ver el éxito de su producto en Norte América, sacaron su marca propia Fauchon con destino a Europa. Al poco tiempo, la empresa fue multada porque el envase en PET de un producto de su marca se encontró en el sistema automático de recolección de basura en Alemania.</p> <p>Como se sabe, el PET y otros plásticos están prohibidos como envase en muchas ciudades del sur de Alemania.</p> | <p>La experiencia de ser multados ayudó a los ejecutivos de Adelita ya que fueron más cuidadosos al analizar los productos y envases de sus proveedores, así como al considerar que las exigencias ambientales de un segmento de consumidores europeos, debían tomarse en cuenta para el diseño logístico de las operaciones en toda Europa, por lo que la empresa entendió que los mercados tienen exigencias logísticas diferentes, lo cual complejiza a las cadenas de suministro.</p> <p>Actualmente, en Adelita se explora cuidadosamente la logística de distribución física internacional y las implicaciones en el producto/envase/empaque y embalaje para un nuevo proyecto de exportación a Corea, el país asiático con mayor gusto picante en su comida nacional: el “kimchi”. Con ello asegura de no volver a ser multado y respetar los estándares internacionales frente a los nuevos consumidores.</p> |

Fuente: Logística inversa. Juan Pablo Antún Callaba. Septiembre 2004.

c) Suecia: Caso Ikea

Ikea, la empresa sueca de muebles y reconocida por su innovación, ha logrado afrontar el reto de la logística inversa. Como parte de su estrategia de sostenibilidad, Ikea desafía la percepción de que sus productos son desechables al crear oportunidades para reciclar y reutilizar productos.

Entre sus iniciativas se destacan programas que permiten a los consumidores devolver plásticos, baterías, muebles, bombillos fluorescentes, colchones y textiles a la tienda. Estos artículos se venden «tal cual» o se reciclan.

Por otro lado, uno de los principales factores del éxito de la logística inversa de IKEA es que reducen al máximo los desplazamientos de sus productos y materias primas. Muchos de sus productos en los centros de distribución pasan directamente de la cadena de fabricación a la tienda, sin tener que pasar por un punto de distribución logística, ahorrando así costes de almacenamiento, transporte y residuos.

Actualmente la empresa está estudiando otras soluciones como tomar productos devueltos y reciclarlos en otros productos. La idea sería sacar viejos estantes, muebles o puertas que terminaron su primer ciclo de vida y usarlos en la producción de nuevos productos. Podría ser una cocina que antes era un estante, pero sin que se vea ninguna diferencia visible.

d) Estado Unidos: Caso Hewlett Packard

Hewlett Packard, uno de los mayores fabricantes de impresoras y tintas en el mercado internacional, es otro ejemplo de lo que una multinacional necesita para adoptar una cadena de abastecimiento integral.

“Más del 75% de los cartuchos de tinta y el 24% de los cartuchos de tóner HP LaserJet se fabrican con plástico reciclado.”

Los programas de fabricación que ofrece HP les dan una nueva vida a sus cartuchos de tinta y productos de hardware. El escenario ideal es que cuando un cliente utiliza un cartucho de tinta HP completamente nuevo, no lo tire a la basura
















luego de su uso. La empresa ha implementado varios métodos gratuitos a través de su programa de reciclaje Planet Partners, para que las empresas y personas reciclen no solo sus cartuchos de tinta y tóner, sino también sus impresoras y equipos de cómputo. En Norteamérica, los cartuchos de tinta se dirigen hacia una planta en Tennessee en donde se ordenan por tipo; luego, dependiendo del cartucho, los diversos materiales y componentes son separados. Una vez que los cartuchos son recepcionados, ordenados, reciclados y triturados, las piezas resultantes se enjuagan y son limpiadas antes de ser transportadas a Montreal. En esta ciudad, una empresa los mezcla con plástico reciclado local de otras fuentes, como botellas de agua potable usada, y aditivos plásticos adicionales para dar paso a la creación de cartuchos nuevos.

e) Estados Unidos: Caso Apple

Apple ha logrado implementar con el paso de los años, un exitoso sistema logístico inverso. La empresa fabrica iPhones y otros productos y los venden en varias tiendas alrededor del mundo. Los consumidores adquieren los celulares y disfrutan del producto hasta que requieran cambiarlo por una versión más nueva lanzada al mercado. Cuando los consumidores regresan a una tienda para comprar el último modelo, les ofrecen a los consumidores un descuento considerable si entregan el producto anterior. Luego, la acción de Apple es recoger los modelos antiguos entregados por los clientes y los llevan a sus fábricas. Este proceso les permite usar partes de modelos anteriores en sus productos más nuevos, con lo cual no tiene que hacer una mayor inversión en la compra de componentes; además ayuda a ser más amigables con el medio ambiente y ahorrar dinero en costos de producción. Según un reporte de Greenpeace presentado en la tabla 1.4, el cual analiza y mide lo que las principales empresas de tecnología del mundo están haciendo para poder afrontar sus impactos ambientales, Apple recibió uno de los mejores puntajes debido a este sistema de logística inversa que desarrollaba en su momento . El reporte se basa en tres áreas para medir la gestión responsable de la

cadena de abastecimiento de las empresas, incluyendo uno que evalúa el diseño sostenible y el uso de materiales reciclados.

Tabla 1.4 Impactos ambientales de las principales empresas de tecnología

| Overall Grades | | ENERGY | RESOURCES | CHEMICALS |
|---|----|--------|-----------|-----------|
|  | B | B | A- | B- |
|  | B- | A- | C | B |
|  | C+ | C+ | B- | C+ |
|  | C+ | B | B- | C+ |
|  | C- | C | C | D |
|  | C- | D+ | D+ | C |
|  | D+ | C- | C- | D |
|  | D+ | D | C- | D+ |
|  | D+ | C- | C- | D |
|  | D+ | C- | D | C- |
|  | D | D | D+ | D |
|  | D | D | D | D+ |
|  | D- | D | D | D- |
|  | F | D | D- | F |
|  | F | F | F | F |

Fuente: Guide to Greener Electronics (2017)

f) España: Caso Tragamóvil

En España, la empresa “Tragamóvil” consiguió recuperar alrededor de 50 toneladas de residuos que serán transformados en plásticos y metales con el consiguiente beneficio para el medio ambiente. Dentro de la data encontrada,

aproximadamente un 25% de todo lo recogido corresponde a terminales (solo teléfono sin batería ni accesorios), en torno a un 30 o 40% fueron cargadores y transformadores, y del 15 al 20%, embalajes de los teléfonos. El mayor volumen de recogida ha tenido lugar en Madrid, Barcelona y Andalucía.

Los puntos de recogida de móviles en desuso han sido precisamente esos centros de reparación y, en menor cantidad y sobretodo en poblaciones de menos de 50,000 habitantes, las tiendas de distribución. El proceso de elaboración de reciclaje consistía en:

- Recogida en contenedores de generación.
- Traslado hasta almacenes temporales.
- Consolidación.
- Traslado a plantas de tratamientos para gestión final: retirada de potenciales elementos contaminantes, proceso de clasificación de residuos, trituración.
- Procesos mecánico-físicos para obtener materias en el ciclo productivo.

Los costos se encuentran divididos en: costos de recogida, la dotación de los contenedores, alquiler de almacenes, costos de personal (de transporte hasta las estaciones de transferencia y centros de tratamiento), costos de tratamiento en dichos centros entre otros.

Vodafone, una de las empresas más conocidas en ventas de equipos móviles, es una de las principales suministradoras de residuos a Tragamóvil. Esto le ha generado una mejora en marca y reputación así como una reducción de costos operativos.

1.1.3 Situación ambiental en Perú respecto a los residuos sólidos

En Perú, se conoce que el cuidado del medio ambiente aún viene a ser un tema del cual no se presta la debida importancia. De esta manera, es recién en el 2017 donde sale el nuevo reglamento para los residuos sólidos por medio del Decreto Legislativo (DL) 1278 que aprueba la nueva Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y su reglamento Decreto Supremo 014-2017-MINAM, el cual también rige para los aceites comestibles residuales.

Dentro de la ley, se indica que: “Los residuos sólidos incluyen todo residuo o desecho en fase sólida o semisólida. También se considera residuos aquellos que

siendo líquido o gas se encuentran contenidos en recipientes o depósitos que van a ser desechados, así como los líquidos o gases, que por sus características fisicoquímicas no puedan ser ingresados en los sistemas de tratamiento de emisiones y efluentes y por ello no pueden ser vertidos al ambiente. En estos casos los gases o líquidos deben ser acondicionados de forma segura para su adecuada disposición final”. (Ley 1278, 2016).

Y en el reglamento del Decreto Legislativo 1278 (DS 014, 2017) en la Lista B: Residuos no peligrosos del Anexo V, se presentan a las grasas y aceites con el numeral B3065: “Grasas y aceites comestibles de origen animal o vegetal para desecho (por ejemplo: aceite de freír), siempre que no exhiban las características del Anexo IV lista de características peligrosas”. Por lo tanto, los Aceites Comestibles Residuales (ACR) son líquidos regulados por la ley y son considerados residuos no peligrosos ubicados en la lista B del reglamento. (Mujica, 2018)

Aceites comestibles residuales en la gestión de residuos sólidos

La ley enuncia como su finalidad: «primero la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en el origen, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar... la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente» (Ley 1278, 2016).

Sobre lo primero, lo que refiere Mujica en su investigación es: “los ACR son residuos de las actividades de cocción de alimentos en los restaurantes, los hogares y por los ambulantes que ofrecen alimentos fritos. Estos actores son los que deben ser capacitados en el manejo de los ACR para la prevención y minimización de la generación de estos residuos en su origen”.

Por tanto, para la segunda parte, hace alusión a la recuperación y la valorización material y energética de los residuos de los ACR. En este caso, consiste en un manejo especial (que comprende una planta de acopio, es decir, una planta en donde se pueda centralizar todos los acopios de aceite que se puedan realizar dado un determinado periodo de tiempo) diferente a la de los servicios de baja policía y de parques y jardines de la municipalidad; luego de lo cual estos residuos entrarían en diversos procesos productivos, que conllevaría su valorización en una planta de

producción. Con ello, se infiere que todo este esfuerzo se tiene que ver soportado por el diseño de un sistema de manejo especial, como se indica en el reglamento (DS 014, 2017) para el caso de bienes priorizados. (Mujica, 2018)

Se añade además que: “Según el modelo de economía tradicional, el ciclo de vida de los aceites comestibles comprende las etapas de cultivo de la materia prima, la producción de los aceites, la comercialización, el uso de los aceites y la disposición de los residuos ACR al ambiente”, como se muestra en la figura 1.5. Sin embargo, siguiendo el interés económico se generan a partir del uso de los ACR, de acuerdo con el concepto de economía circular, se ha comenzado a incorporar dentro de su ciclo de vida más actividades que permiten al mismo tiempo, dar disposición adecuada de los residuos y generar valor agregado, de modo que el ciclo de vida tradicional (ver figura 1.5) se vea modificado, añadiendo las etapas de recolección de los residuos, el acopio de los mismos y su tratamiento o transformación para obtener otros productos, como es el caso de la transformación de los ACR en biodiésel que se ilustra en la figura 1.6. El hecho de sumar estas últimas actividades al ciclo de vida tradicional de los ACR cumpliría con “la regeneración y recuperación de los recursos y no se limitaría solo a la obtención de bienes”, sino también al cuidado ambiental.

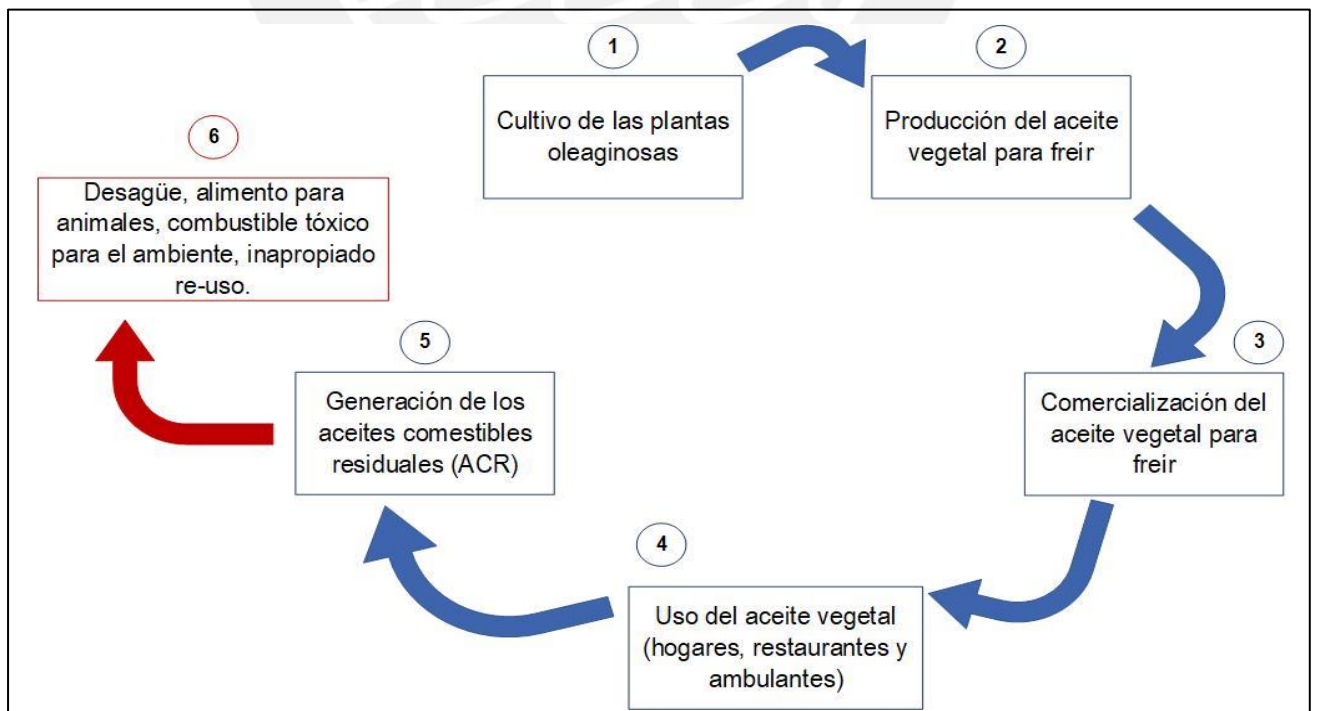


Figura 1.5 Ciclo de vida tradicional de los ACR

Fuente: Mujica Bueno / Sustentos para que los ACR sean considerados dentro del régimen especial de gestión de residuos

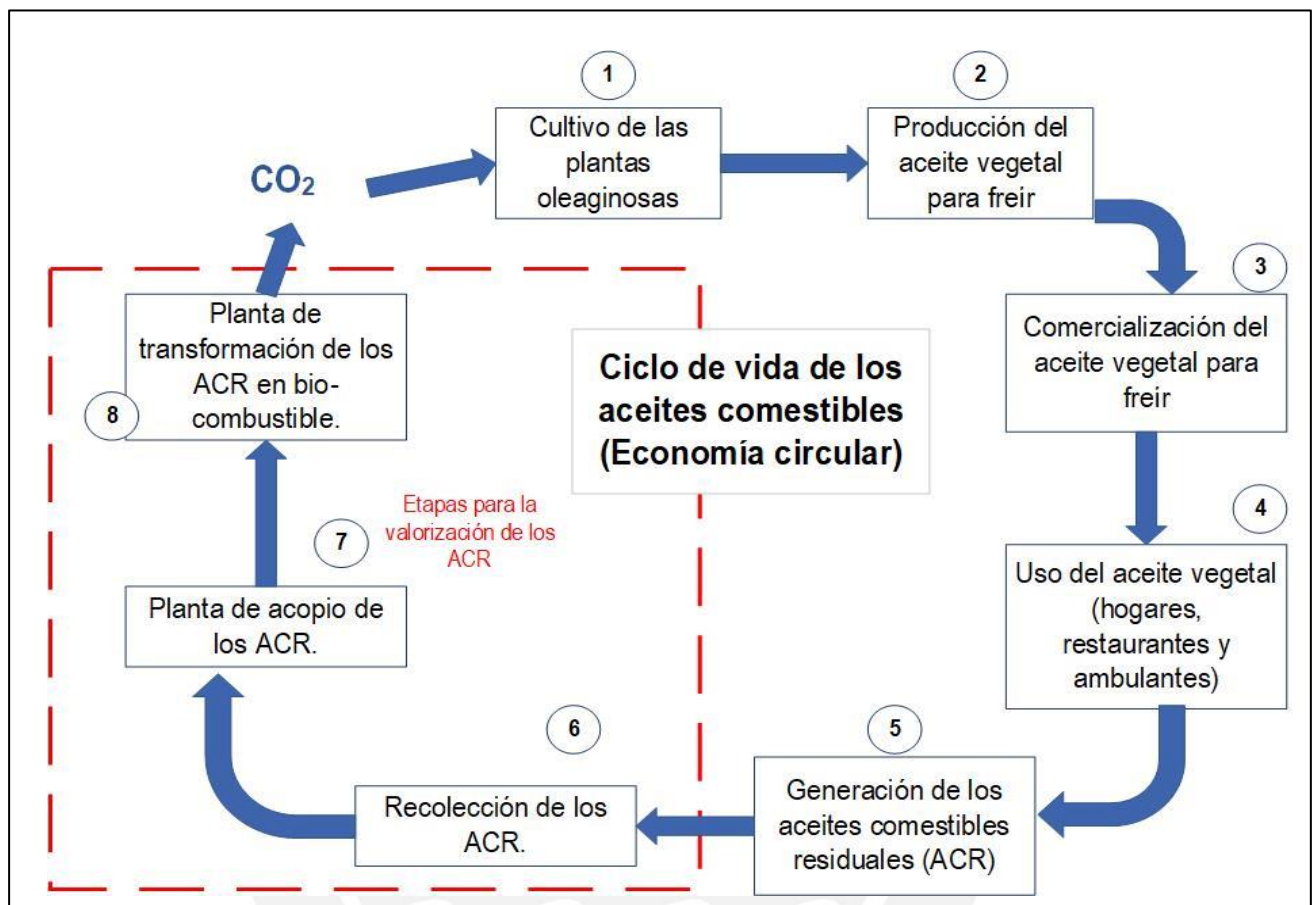


Figura 1.6 Ciclo de vida de los ACR de acuerdo con la economía circular

Fuente: Mujica Bueno / Sustentos para que los ACR sean considerados dentro del régimen especial de gestión de residuos

Se sabe que los aceites comestibles residuales, al ser vertidos al desagüe, pueden llegar fácilmente a las fuentes de agua subterránea, ríos y lagos y posteriormente contaminarlas debido a las sustancias que contiene y que se añaden luego de ser utilizados en la fritura. De llegar a las plantas de tratamiento de aguas, esto ocasiona el encarecimiento de dicho tratamiento ya que: “un litro de aceite puede contaminar hasta 40 000 litros lo que equivale al consumo de agua de una persona en su domicilio”. Además, se tiene que: “Estudios en España hacen notar que la depuración de un litro de ACR tiene un costo de 0,45 euros/ litro, que comparado con los costos promedio de tratamiento es 700 veces más caro” (González y

González, 2015). Así también, se sabe que: “pueden llegar a deteriorar la calidad del suelo y su fertilidad. En ocasiones, el aceite usado es comercializado como combustible debido a su alto poder calorífico; pero la inadecuada combustión ocasiona la contaminación del aire por la emisión de gases tóxicos y consecuentes daños a la salud y al ambiente”. (Guillén y Uriarte, 2012).

En el Perú, para los ACR el Ministerio de Salud ha ordenado el 2014 por Resolución Ministerial la modificación del artículo 24 de la Norma Sanitaria para el Funcionamiento de Restaurantes y Servicios Afines, la que en el artículo 1 apartado b) sobre el proceso de cocción indica: “las grasas y aceites utilizados para freír no deben calentarse a más de 180°C y durante su reutilización deben filtrarse para eliminar partículas de alimentos que hubieran quedado de las frituras anteriores.”

“Cuando los cambios de color, olor, turbidez, sabor, entre otros den indicios de un recalentamiento excesivo o quemado, deben desecharse. Con fines de control de calidad de los aceites y grasas reutilizados en la elaboración de frituras, se consideran como no aptos para el consumo humano, debiendo desecharse cuando contienen más del 25% de compuestos polares” (RM 965, 2014).

También en el anexo 3 de la ficha para la evaluación de la norma sanitaria del Ministerio de Salud para el funcionamiento de restaurantes y servicios afines por medio de la Resolución ministerial del año 2005, en el punto sobre Preparación (RM 363-2005/ MINSa) se indica: «el aceite debe tener un aspecto limpio del aceite utilizado, color ligeramente amarillo y sin olor a rancio». Como se puede notar ya se está empezando a dar un tratamiento especial y normas para el uso de los aceites que vienen del sector salud, lo que hace pensar en la mejora de la interacción entre los sectores de salud y ambiente, ello con el adecuado régimen de tratamiento de los ACR.

Es en este punto donde se puede explicar el principio de responsabilidad extendida del productor, la cual se define de la siguiente manera: “surge como una estrategia de protección ambiental que tiene por objetivo alcanzar un impacto disminuido por cada producto haciendo responsable al productor por todo su ciclo de vida” (Tojo, 2004). El concepto de responsabilidad extendida del productor se genera de la interpretación de dos principios internacionales del derecho ambiental: (i) el principio de prevención y (ii) el principio contaminador- pagador (Dulanto, 2017). Es por esto que dicha ley en el título III, artículo del 12 al 14 (Ley 1278, 2016) anota:

«Los fabricantes, importadores, distribuidores y comerciantes se involucran activamente, según corresponda, a lo largo de las diferentes etapas del ciclo de vida del producto, participar de uno o más procesos del manejo de los residuos sólidos, priorizando su recuperación y valorización». Para el caso de los ACR, el ciclo de vida que considera su valorización incluye mayormente a tres actores más: los recolectores, acopiadores y los que transforman los ACR.

“Los ACR son residuos de bienes de consumo masivo de volúmenes considerables. Las estimaciones para Lima indican que de los casi 10 millones de habitantes se puede recolectar hasta 60 millones de litros de aceite al año” (Mujica, Domínguez y Corrales, 2016). Esto es un número considerablemente alto, sobre todo si se tiene en cuenta cuál es el tratamiento que se está realizando para la cantidad de residuos generada.

En la tabla 1.5 se representa la cadena de valor en donde los aceites comestibles residuales son la principal materia prima para la producción de biodiésel, un biocombustible renovable y que por reglamento (DS 021-2007) “debe ser mezclado en un 5% con el diésel de petróleo”, esto con el fin de evitar la contaminación ambiental. Esta mezcla se da debido a que favorece la combustión interna de los motores y, por tanto, libera una menor cantidad de partículas pesadas al ambiente, las cuales vienen a ser la principal fuente de contaminación del aire.

Tabla 1.5 Cadena de valor de la producción de biodiésel a partir de los ACR



Fuente: Mujica Bueno / Sustentos para que los ACR sean considerados dentro del régimen especial de gestión de residuos

1.2 Proceso de manufactura del aceite doméstico

Proceso productivo del aceite vegetal

Dentro del mercado peruano, existen distintos tipos de proveedores de aceite vegetal comestible; sin embargo, todos comparten los siguientes procesos generales, desde la materia prima hasta el consumidor final:

A continuación detallamos las empresas que conforman la cadena de abastecimiento:

Materia Prima: Son los principales proveedores de aceite crudo desgomado de soja, el cual es importado desde Argentina.

Proveedores:

- MOLINOS AGRO S.A.
- COFCO ARGENTINA SOCIEDAD ANONIMA
- OLEAGINOSA MORENO HNOS S A C I F I Y A

Transporte Internacional: Servicio de transporte internacional vía marítima.

La compañía se dedica principalmente al servicio de transporte marítimo nacional e internacional, de contenedores y negocios relacionados. Es la línea naviera en la cual se transporta el aceite crudo, en embarcaciones especializadas para commodities.

Agencia de Aduanas:

Se encarga de realizar todos los trámites aduaneros para nacionalización de la mercadería ante la SUNAT.

Aduanas: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria

Entidad del Estado, situada en las fronteras, puertos o aeropuertos, donde se

registran los géneros de mercancías que se importan o exportan y se cobran los derechos que adeudan según el arancel correspondiente.

Transporte Interno 1:

Empresa dedicada al servicio de Transporte de Carga a nivel nacional, contando con unidades propias. La empresa de transporte ofrece sus servicios en torno al comercio del transporte de carga de una forma personalizada en el envío de mercaderías.

Refinería:

La refinería se encarga de realizar el proceso de refinado del aceite crudo desgomado de soya para luego ser transportado en cisternas a la empresa responsable del envasado.

Transporte Interno 2:

SERVICIO DE ALQUILER DEL TRACTO, debido a que la cisterna de acero inoxidable es propia de la empresa envasadora. El servicio cubre el transporte desde la refinería hasta la planta de envasado.

Empresa de envasado:

Se enfoca en el envasado y empaquetado (en cajas) del aceite refinado. Es quien comercializa el producto final.

Almacén tercerizado:

Brinda el servicio de administración del inventario y almacenaje de todo lo que produce en la planta de envasado.

Transporte Interno 3: Dependiendo del destino, se tienen las siguientes empresas: Se encargan del transporte consolidado de la mercadería a los distintos puntos de venta a nivel nacional.

Tiendas: Dependiendo del canal de distribución, se definen por:

- Canal Autoservicios: Supermercados

- Canal Cash & Carry: Makro y Mayorsa
- Canal Tradicional: Distribuidoras, tanto en Lima como Provincias a nivel nacional.
- Canal Directo: Mercados y Bodegas

Son los distintos puntos de venta de los productos para el consumidor final.

Consumidor Final: Personas que usan el producto de forma doméstica en gastronomía, para la cocción de alimentos y preparación de diversas ensaladas.



Figura 1.7 Cadena de suministro del aceite vegetal comestible

Principales clientes

Dentro del mercado de aceites, se puede definir a los principales clientes aptos para este estudio, aquellos que consumen de manera constante el aceite, y donde se puedan formar las redes de recojo. En este caso en particular, el estudio se centrará en las cadenas de comida rápida, pertenecientes a los clientes: DELOSSI, NGR, MC DONALDS.

1.3 Modelo de logística inversa para el aceite doméstico

Para el diseño del modelo de logística inversa, se desarrollará mediante una red de recuperación, donde se hará uso de la programación lineal para minimizar los costos asociados a esta operación.

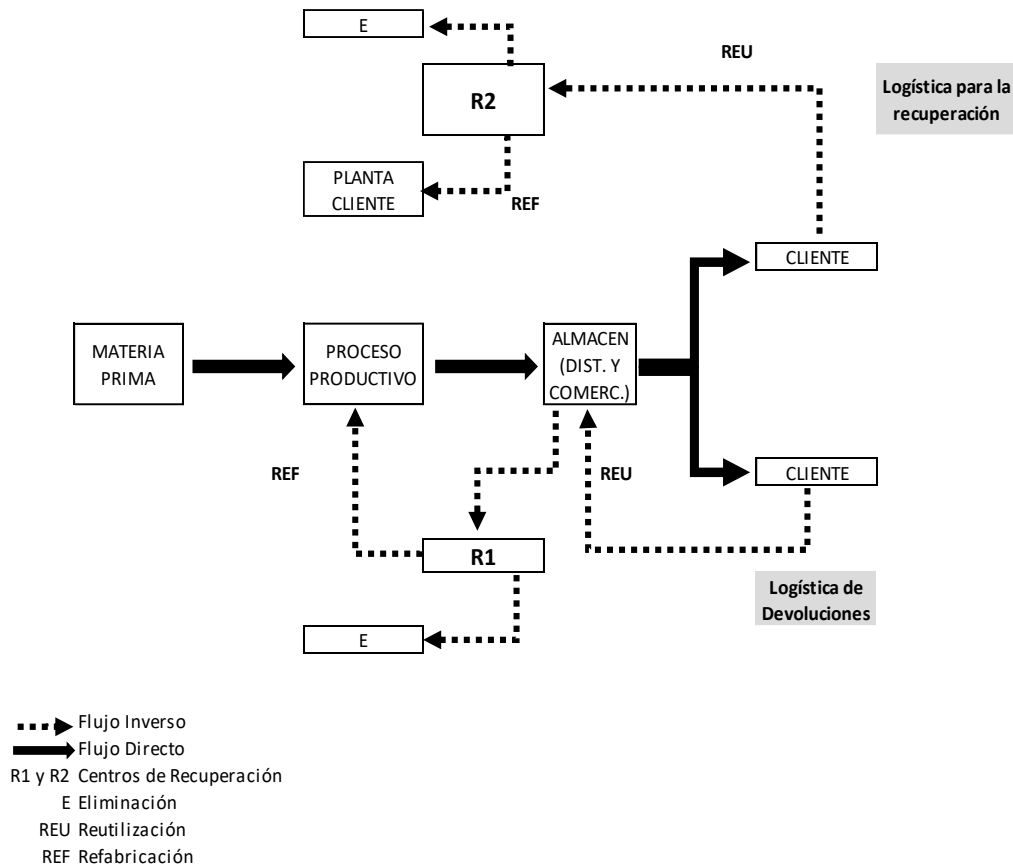


Figura 1.8 Modelo de red de recuperación

Fuente: diseño de un modelo de logística inversa, empleando Algoritmos evolutivos. Castañeda, Reyes, Ramírez

Dentro de la red de recuperación, podemos observar que existen dos tipos de logística que se emplean:

Logística de devoluciones:

En el caso particular del aceite, las devoluciones se competen a producto que caducó en los almacenes de los clientes o productos con fallas (por ejemplo, cajas rotas, mojadas de aceite). En estos casos el procedimiento consiste en recoger las

devoluciones que se alerten de manera mensual, y estas son regresadas al almacén de distribución, en donde se realizará el inventario de lo recogido para proceder con el desenvase de los productos, almacenarlos en cubos y que puedan ser llevados al primer centro de recuperación (R1), que en este caso viene a ser la refinería de aceite. Es en este proceso en donde el aceite se ingresa para que recircule y se refine nuevamente, ingresando de esta manera al proceso productivo.

Logística de recuperación:

Por el lado de esta logística y de la cual se basa el presente estudio, se tiene como objetivo recoger el aceite usado (a diferencia de la anterior logística, el aceite se encuentra vencido pero sin utilizar en su envase original). Una vez que se pueda modelar el ruteo de los diferentes puntos a recoger se procede a llevarlo al centro de acopio en donde podrán convertir el aceite usado en biocombustible.

Se muestra a continuación las plantas que procesan el aceite usado y lo convierten a biodiesel en Lima:

| Plantas actuales y proyectadas | Ubicación | Producción | |
|--|-------------------------|--------------------|---------------------------|
| | | miles de t/ año | millones de litros/año |
| Biodiésel Perú, International S.A.C. | Huarochiri - Lima | 12,0 | 13,8 |
| Interpacific CF S.A.C. | Chorrillos- Lima | 4,8 | 5,4 |
| Inter Latinoamericana SIQL | Villa El Salvador- Lima | 1,2 | 2,0 |
| Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) | LaMolina- Lima | 0,4 | 0,4 |
| Total capacidad instalada | | 18,3 | 21,7 |
| Heaven Petroleum Operators S.A.C. Grupo Herco ^{1/} | Lurín - Lima | 134,0 | 159,0 |
| Pure Biofuels Corporation | Puerto Callao - Lima | 50,0 | 58,9 |
| Industrias del Espino S.A. - División Agroenergía Grupo Romero | Uchiza - San Martín | 50,0 | 57,4 |
| Total capacidad proyectada | | 234,0 | 275,3 |

Figura 1.9 Capacidad instalada y proyectada para la producción de biodiésel

Fuente: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Por tanto, a continuación, se plantea el modelo definiendo la función objetivo, restricciones, parámetros y variables a considerar:

Función Objetivo:

Minimizar el costo que representa el reproceso del aceite usado, lo cual implica el transporte y procesamiento en el centro de acopio. En este punto, es importante precisar que no existirá un costo de almacenaje ya que el aceite recogido en cada cliente será destinado de manera directa al centro de acopio, salvo exista algún incidente que no permita llegar o exista una cantidad de aceite que exceda la capacidad de la unidad de recojo, sí se considerará el costo de almacenaje.

Restricciones de capacidad.

1.- Capacidad de producción de la planta de proceso i operativa: se define como la capacidad de la planta inicial de procesamiento del aceite, la encargada de distribuir a los restaurantes.

“La fracción de la demanda del cliente j fabricada en la planta i en el flujo hacia delante + la fracción de los productos consumidos por el cliente j y recogidos por el centro de recuperación k para ser procesados en la planta i en el flujo inverso debe ser menor o igual a la capacidad de producción de la planta de proceso i operativa.”

2.- Capacidad de almacenamiento en la planta de proceso i operativa.: se define como la capacidad que tendrá la planta de origen para poder recepcionar todos los recojos que realice durante cierta ventana de tiempo.

“La fracción de la demanda del cliente j fabricada en la planta i en el flujo hacia delante + la fracción de productos consumidos por el cliente j y recogidos por el centro de recuperación k para ser procesados en la planta i en el flujo inverso debe ser menor o igual a la capacidad de almacenamiento en la planta de proceso i operativa.”

3.- Capacidad de almacenamiento del centro de recuperación k operativo.: se define como la capacidad de la planta de procesamiento de biocombustible.

“La fracción de los productos consumidos por el cliente j y recogidos por el centro de recuperación k deben ser menor o igual a la capacidad de almacenamiento del

centro de recuperación k operativo.”

Planteamiento matemático, en un modelo determinístico. El modelo presentado, en su conjunto, representan la manera en que las empresas pueden lograr ser más eficientes en sus procesos productivos, disminuyendo el impacto ambiental que se genera y al mismo tiempo, generando ahorros y rentabilidad al poder introducir los desechos y productos fuera de uso como resultado de su actividad productiva, nuevamente a la cadena de suministro.

Con el análisis realizado y las propuestas de mejora planteadas, se espera que las empresas que utilicen este modelo puedan lograr:

- Tener en cuenta ambos flujos que se manejan dentro de sus compañías, como lo son: “el flujo directo productor-consumidor como el flujo inverso consumidor-productor como áreas de oportunidad”.

- Comprender la relevancia que conllevan las actividades de reciclar, reutilizar, re fabricar:

$$F.O. Min Z = \sum f_{P_i} y_{P_i} + \sum f_{R_k} y_{R_k} + \sum \sum C_{f_{ij}} X_{f_{ij}} + \sum \sum \sum C_{r_{jki}} X_{r_{jki}}$$

$$i \in I, k \in K, i \in I, j \in J, j \in J, k \in K, i \in I, \sum \sum C_{r_{jk}} X_{r_{jk}}, i \in I, j \in J, k \in K, s.a$$

1.- Capacidad de producción de la planta de proceso i operativa. $\sum X_{f_{ij}} + \sum \sum \sum X_{r_{jki}} \leq Y_{P_i}$ $i \in I, j \in J, k \in K, i \in I$

2.- Capacidad de almacenamiento en la planta de proceso i operativa. $\sum X_{f_{ij}} + \sum \sum \sum X_{r_{jki}} \leq A_{P_i}$ $i \in I, j \in J, k \in K, i \in I$

- se tiene que: “A través del enfoque de Logística Inversa puedan convertirse en empresas competitivas, mediante un proceso de planificación, desarrollo y control en la gestión de sus residuos generados.”

- Además de ello, “se concienticen acerca de la necesidad de reducir el impacto ecológico debido a la mala gestión de los residuos industriales”. Esto es posible mediante el uso correcto de la logística inversa.

Ahora bien, si se desea reducir el costo de recojo, es necesario plantear un modelo de ruteo que pueda darnos la ruta más corta entre los puntos de recojo. Para ello se tienen los siguientes modelos matemáticos a poder emplear:

1. Algoritmo de la ruta más corta

Por definición del algoritmo, se conoce que: “Es una modalidad de problemas de redes en la cual se debe determinar el plan de rutas que genere la trayectoria con la mínima distancia total, que una un nodo fuente con un nodo destino, sin importar el número de nodos que existan entre estos”. El problema con este tipo de algoritmo es que durante el recorrido existe la posibilidad de que no se pasen por todos los nodos del sistema, dejando puntos sin atención. (López, s.f.)

2. Problema del agente viajero

Se define como: “el objetivo es encontrar un recorrido completo que conecte todos los nodos de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, y que además minimice la distancia total de la ruta o el tiempo total de recorrido.” El problema con este tipo de algoritmo depende de que las distancias entre un nodo y otro sean simétricas o no, es decir que: “la distancia entre A y B sea igual a la distancia entre B y A puesto que en la práctica es muy poco probable que así sea.” (Salazar, Ingeniería Industrial)

3. Problema de los m agentes viajeros

Como definición, se tiene que: “El problema de los m agentes viajeros o m-TSP, es una generalización del TSP en la cual se tiene un depósito y m vehículos. El objetivo es construir exactamente m rutas, una para cada vehículo, de modo que cada cliente sea visitado una vez por uno de los vehículos. Cada ruta debe comenzar y finalizar en el depósito y puede contener a lo sumo p clientes La desventaja de este modelo es que no incluye la capacidad de cada nodo, ya que solo se basa en medir distancias y rutas”. (Simchi-Levi, 2008)

4. Problema con capacidades VRP

El VRP es una extensión del m-TSP en la cual cada cliente tiene asociada una demanda y cada vehículo tiene una capacidad C (la flota puede ser homogénea

o heterogénea). En este problema la cantidad de rutas no es fijada de antemano como en el TSP y el m-TSP.

Para un conjunto de clientes, se indica la demanda total y se indica la mínima cantidad de vehículos necesarios para servirlos a todos. (Simchi-Levi, 2008)

Una extensión a los problemas VRP con flota heterogénea es aquel en donde se realiza en simultáneo el servicio de despacho y recojo, el cual mejora no solo la cantidad de vehículos a utilizar por ruta, sino también la eficiencia del transporte, modelo conocido como VRPTW-SDP (Vehicle Routing Problem with time Windows and Simultaneous Delivery and Pick-Up Service) (Xiaobing, Yan, Shuhai, & Ben, 2012), el cual se ajustaría mejor al modelo de logística inversa que se requiere analizar.

Para poder utilizar este modelo, se utilizará también un modelamiento multi-objetivos, en donde se busque optimizar los ahorros dándoles ciertos grados de prioridad y buscando encontrar la mejor solución.

1.4 Reutilización del aceite doméstico

Proceso de conversión a biocombustible (RP AMBIENTAL)

Se sabe que para la obtención del biodiesel es necesario “mezclar aceite vegetal, ya sea usado o no, con un alcohol en presencia de un catalizador”. A este proceso se le denomina reacción de transesterificación. Según RP Ambiental: “Luego que la reacción se haya completado y los nuevos productos hayan decantado se obtendrá biodiesel y glicerina. El combustible es de color ámbar y fluye como agua y el jabón de color marrón, teniendo una consistencia gelatinosa queda en el fondo pudiendo ser retirado por bombeo, sifonado o drenado.”

Particularmente se utiliza aceite utilizado proveniente de la línea del cliente o del residuo de las freidoras. Siguiendo con el proceso de la obtención: “como alcohol se decidió utilizar el metanol y como catalizador el hidróxido de sodio, ya que estos son los reactivos que más se emplean en el mundo para la obtención de biodiesel a partir de aceites usados.”

De manera química se tiene que: “La cantidad de aceite y alcohol que se emplean se determinan por relaciones estequiométricas. En el caso del hidróxido de sodio cuando se trabaja con el aceite de cocina usado se debe poner más lejía que con el aceite nuevo, no para catalizar la reacción, sino para neutralizar los ácidos grasos libres que se forman en el aceite al cocinarlo. Cuanto más se haya calentado y más tiempo haya estado caliente, más ácidos grasos libres contendrá, y hará falta más lejía para neutralizarlos”.

Según el proceso, “si se coloca más lejía de la debida se forma más jabón, el biodiesel queda muy alcalino, es difícil lavarlo y se pierde producción; o si la proporción de jabón respecto al biodiesel es tal, que la mezcla se convierte en una pasta. Si no se pone suficiente lejía, una parte del aceite quedará sin reaccionar”. Lo que infiere que se debe ser cuidadoso con la cantidad de lejía a utilizar para generar la menor cantidad de merma posible. De esta manera, será necesario primero determinar cuál es la cantidad necesaria de catalizador a utilizar que garantice un buen indicador de acidez del biocombustible.

Según RP Ambiental, “la cantidad de catalizador a emplear se determina a través de valoraciones; luego, se realiza una previa caracterización de la materia prima fundamental que es el aceite y posteriormente se desarrolla un diseño de experimentos para definir la cantidad de corridas experimentales que permiten la determinación del rendimiento del biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal usado y metanol”.

Caracterización del aceite

Por definición: “La caracterización del aceite se realiza a partir de la determinación de pH, densidad aparente y viscosidad. Para realizar la determinación de pH se emplea un pH metro. La densidad aparente se determina en el laboratorio a partir de conocer la diferencia de peso entre una probeta llena de aceite y una vacía y dividiéndola entre su peso”, como se muestra en la figura 1.10.

$$\rho = \frac{P_2 - P_1}{V_p}$$

donde:

ρ : densidad, (g/mL)

P_1 : probeta vacía, (g)

P_2 : probeta con la muestra, (g)

V_p : volumen de la probeta, (mL)

Figura 1.10 Cálculo de la densidad aparente del aceite comestible reciclado

Fuente: Ing. Marilin García-Díaz, MSc. José Gandón-Hernández, Ing. Yudisel Maqueira-Tamayo. Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado.

Para determinar la viscosidad se debe utilizar un viscosímetro capilar del tipo Ubbelohde, del cual se obtiene la viscosidad cinemática expresada por la figura 1.11:

$$\eta = c \cdot t$$

donde:

η : viscosidad cinemática, (mm²/s)

c : constante aproximada,

t : tiempo, (s)

Figura 1.11 Cálculo de la viscosidad cinemática del aceite comestible reciclado

Fuente: Ing. Marilin García-Díaz, MSc. José Gandón-Hernández, Ing. Yudisel Maqueira-Tamayo. Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado.

Con esta viscosidad cinemática y la densidad del producto se obtiene la viscosidad dinámica (Pa.s) como se muestra en la figura 1.12.

$$\mu = \eta \cdot \rho \cdot 10^{-3}$$

donde:

μ : viscosidad dinámica (Pa.s)

Figura 1.12 Cálculo de la viscosidad dinámica del aceite comestible reciclado

Fuente: Ing. Marilin García-Díaz, MSc. José Gandón-Hernández, Ing. Yudisel Maqueira-Tamayo. Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado.

Al biodiesel y la glicerina obtenidos de la reacción también se les determina la viscosidad y la densidad para saber el rendimiento que el biodiesel tendrá y como este podrá ser usado en el proceso productivo donde se vea introducido.

CAPÍTULO 2.- MARCO METODOLÓGICO

2.1. Propuesta de implementación

Se plantea la propuesta de implementación de un modelo de programación por metas (objetivos múltiples con prioridades) utilizando un algoritmo de ruteo, conociendo el volumen de aceite en cada punto de recojo, con el enfoque de poder optimizar los costos referidos a la cadena inversa para poder presentarlo como proyecto a los clientes estratégicos que puedan optar por este estudio.

2.2. Lugar de implementación

Para el estudio, se ha enfocado en las cadenas de restaurantes de comida rápida, al ser ellos quienes poseen alta rotación en el consumo de envases de 5 y 20 litros de aceite vegetal, así como quienes concentran la mayor cantidad de residuos de manera semanal.

De igual manera, al existir un proceso de transformación del aceite comestible residual en biocombustible, este podrá ser ofertado hacia ellos nuevamente para que puedan utilizarlo dentro de su planta de elaboración de salsas como fuente de energía.

De igual manera, se detallan los pasos a seguir:

a) Diagnóstico de los centros de acopio del aceite vegetal utilizado (clientes principales de mayor consumo)

Esto se da en base al volumen de aceite vegetal vendido y centrando el foco de atención a las cadenas de restaurantes.

b) Análisis de data obtenida y formulación de un modelo matemático para el recojo óptimo que minimice el costo, ya que este será presentado al cliente como proyecto económico.

2.3. Flujograma de la metodología

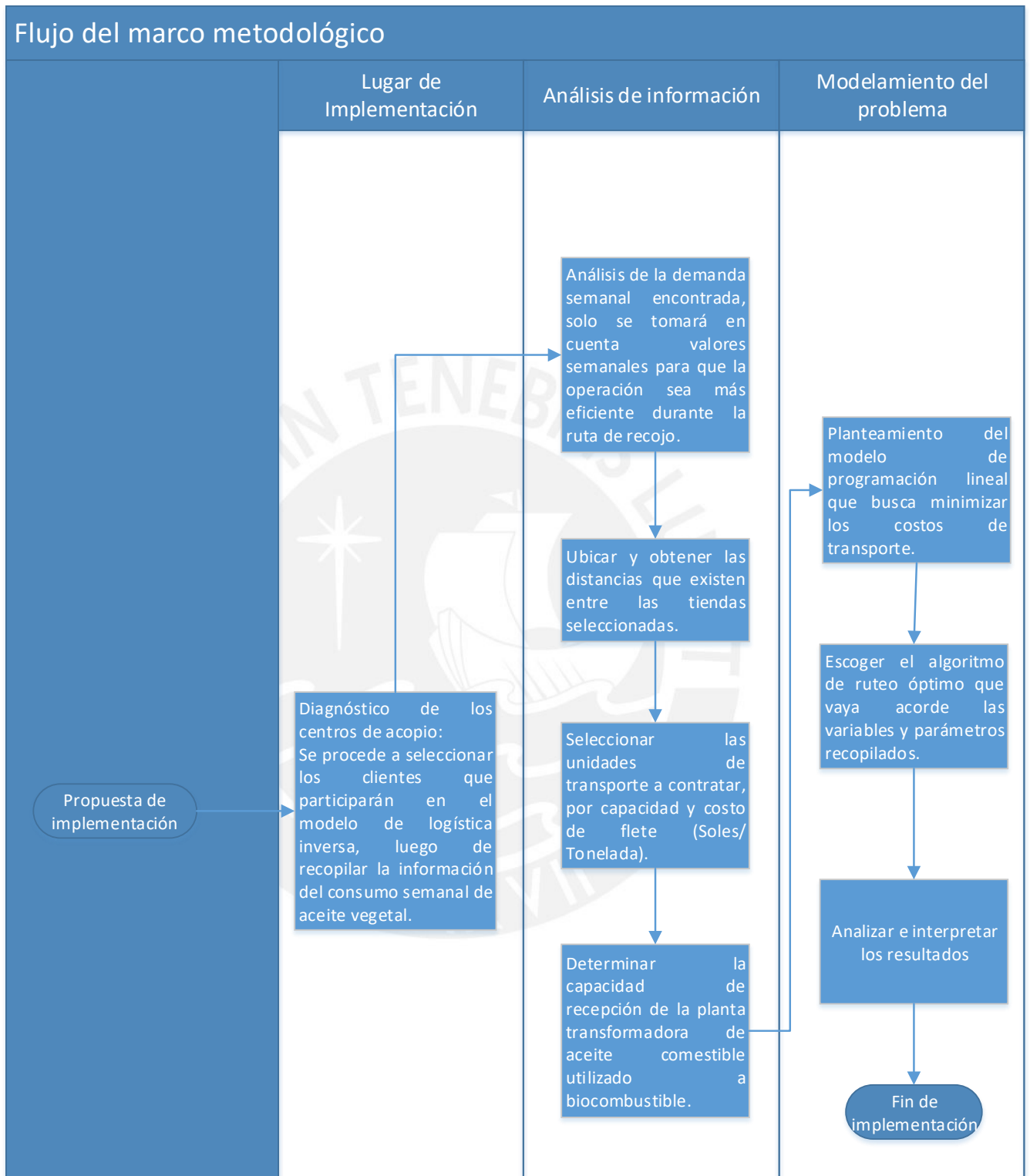


Figura 2.1 Flujograma de la metodología a implementar en la red de logística inversa

Elaboración propia

Es en esta parte de la metodología en donde se tendrá que evaluar cuál es el mejor modelo matemático que se ajuste a las necesidades del problema. De igual manera, se deben plantear cuáles serán las restricciones del modelo y cuál será el algoritmo de solución que pueda brindarnos rutas óptimas por zonas.

Tabla 2.1 Algoritmos de solución VS Restricciones del modelo

| Aspecto | Descripción | Algoritmos de solución | | | |
|---------------|---------------------|--|---|---|---|
| | | “A new variable neighborhood search algorithm for the Multi Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows” | “A constructive heuristic for time-dependent multi-depot vehicle routing problem with time-windows and heterogeneous fleet” | “An iterated local search with guided perturbation for the heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and three-dimensional loading constraints” | “Una solución al enrutamiento de vehículos en ciudades montañosas considerando aspectos ambientales y económicos” |
| Restricciones | Capacidad | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Ventanas de tiempo | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Múltiples depósitos | 1 | 1 | | |
| | Flota heterogénea | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Otras | | 1 | 1 | 1 |
| Total | | 4 | 5 | 4 | 4 |

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro, se puede observar que el algoritmo de solución que engloba a todas las restricciones que se usarán en el problema es aquel modelo constructivo para el enrutamiento de vehículos de múltiples depósitos dependiente del tiempo de la ventana horaria y flota heterogénea (de diferente capacidad).

El objetivo es modelar el transporte de recojo de cojo como un VRP de flota heterogénea con servicio de recojo y despacho en simultáneo, considerando cuatro restricciones. La primera son las ventanas de tiempo, las cuales son intervalos de tiempo en los cuales los clientes pueden ser visitados (va a

depender en donde se encuentre el cliente: local propio o parte de un centro comercial). La segunda, es la restricción en la capacidad de los furgones, la cual comúnmente se mide como capacidad de carga. La tercera restricción a considerar es la flota heterogénea, ya que no todos las móviles contarán con la misma capacidad de carga (y con ello varía el costo del transporte).

Tabla 2.2 Conjuntos, variables y parámetros - Modelo optimización

| Símbolo | Definición | Unidades | Tipo |
|-------------|--|-----------------|-----------|
| V_c | Conjunto de clientes | Adimensional | Conjunto |
| V_d | Conjunto de depósitos | Adimensional | Conjunto |
| V | Conjunto de vértices | Adimensional | Conjunto |
| A | Conjunto de arcos | Adimensional | Conjunto |
| T | Conjunto de vehículos k por tipo l | Adimensional | Conjunto |
| x_{ijk}^l | Sí el arco (i,j) es utilizado por el vehículo k del tipo l | Adimensional | Variable |
| y_k^l | Sí el vehículo k del tipo l es utilizado | Adimensional | Variable |
| w_{jk}^l | Inicio de visita del vehículo k del tipo l en el cliente j | Horas y minutos | Variable |
| N | Número de clientes | Adimensional | Parámetro |
| DP | Número de depósitos | Adimensional | Parámetro |
| s_i | Tiempo estándar de visita en el nodo i | Minutos | Parámetro |
| Q_k^l | Capacidad de carga del vehículo k del tipo l | Kg | Parámetro |
| C_k^l | Costo por minuto del vehículo k del tipo l | Moneda | Parámetro |
| F_k^l | Costo fijo asociado al vehículo k del tipo l | Moneda | Parámetro |
| d_j | Demanda del cliente j | Kg | Parámetro |
| a_j | Límite inferior ventana de tiempo cliente j | Horas y minutos | Parámetro |
| b_j | Límite superior ventana de tiempo cliente j | Horas y minutos | Parámetro |
| E | Hora de inicio de los depósitos | Horas y minutos | Parámetro |
| L | Hora de cierre de los depósitos | Horas y minutos | Parámetro |
| r_{ij} | Distancia de los arcos $(i,j) \in A$ | Km | Parámetro |
| t_{ij} | Tiempo de viaje en minutos para los arcos $(i,j) \in A$ | Minutos | Parámetro |
| M | Constante muy grande | Adimensional | Parámetro |

Fuente: Xu, Wang e Yang, 2012.

- c) La reutilización del aceite como se ha explicado en el resumen, se utilizará como combustible que pueda ser utilizado por el cliente que brindó inicialmente el aceite utilizado y pueda utilizarlo en su proceso productivo (planta de procesamiento), por lo que los clusters deberán tener cierta cercanía a las plantas de los clientes para minimizar el costo.

CAPÍTULO 3.- DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Partiendo del diagrama de flujo del marco metodológico, se empezará con el diagnóstico de la situación actual, empezando por el sector al cual el estudio se encuentra avocado, así como también los clientes que cumplen las condiciones para el recojo. Como se ha explicado en el anterior capítulo, el estudio estará aplicado a aquellas cadenas de restaurantes que cuenten con locales propios y alquilados en el área de Lima Metropolitana y Callao, así como también cuenten con una planta de procesamiento para quienes les resulte útil contar el biocombustible derivado.

3.1. Descripción del sector

De acuerdo a cifras del Instituto Nacional de estadística e informática (INEI), se reportó que en diciembre del año 2019 la actividad restaurantes ha crecido en un 4.6% en comparación a su año predecesor, presentando un crecimiento ininterrumpido durante 33 meses y esto viene creciendo gracias a las promociones, descuentos y alianzas estratégicas con entidades financieras y de telecomunicaciones.

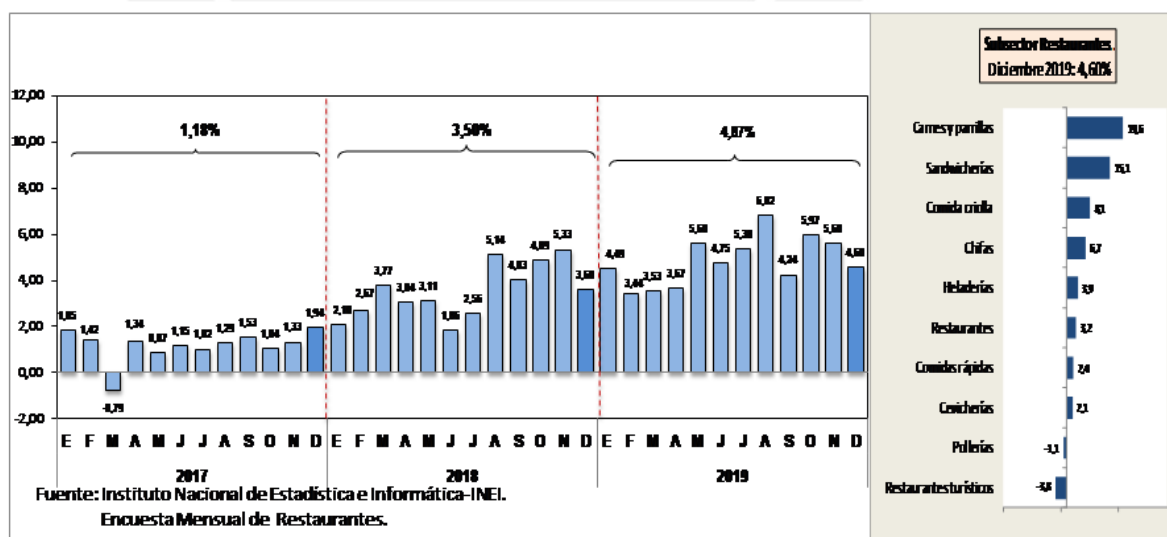


Figura 3.1 Encuesta mensual de restaurantes

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática

Debido a ello, al ser el aceite comestible uno de los principales insumos culinarios que se utilizan en el rubro restaurantes, las empresas aceiteras

vienen trabajando año tras año para poder cumplir con la demanda solicitada de este sector, incrementando sus niveles de abastecimiento a lo largo de toda su cadena de valor. En la figura 15, se tiene el diagrama causal (causal loop diagram), en donde se pueden visualizar las diferentes variables que están interrelacionadas en el sistema de producción de las empresas aeiteras.

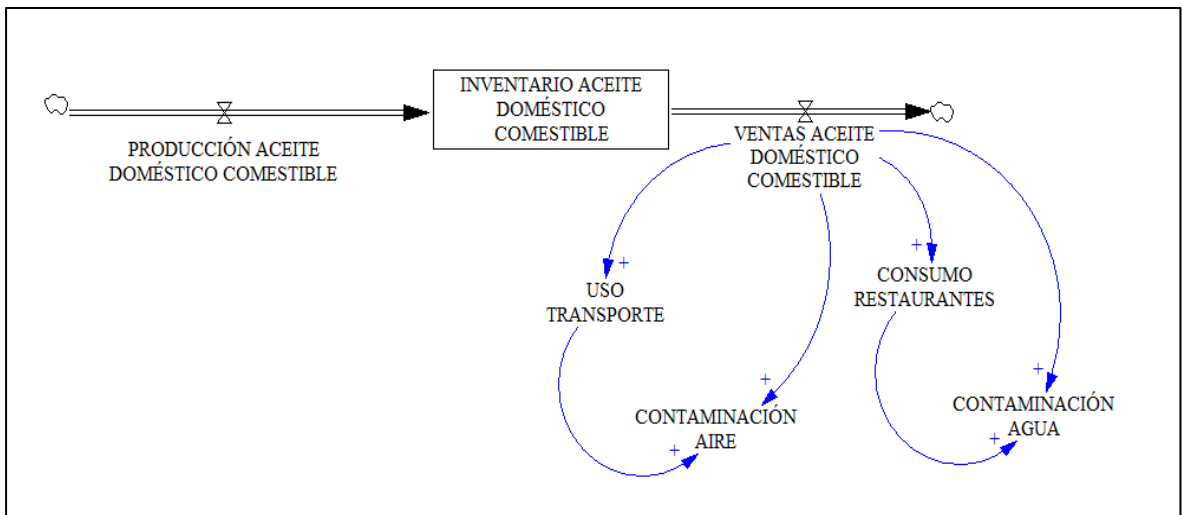


Figura 3.2 Diagrama Causal de Consumo Aceite Doméstico

Elaboración propia

Del gráfico se puede detallar lo siguiente:

- La producción y venta del aceite doméstico comestible son colocados como flujo de ingreso y salida respectivamente, para determinar el stock o inventario de aceite doméstico comestible con el que cuenta la empresa para cumplir la demanda solicitada.
- La relación que existe entre las ventas y el uso de transporte es positiva ya que, a mayor cantidad de ventas concretadas, el uso del transporte que se hará cargo de los despachos será mayor, para lo cual las unidades de despacho tendrán que recorrer la mayor cantidad de puntos para poder cumplir con las ventas del día.
- Por tanto, las unidades de transporte a utilizar serán mayor y la cantidad de emisión de CO₂ también lo será, por lo que se tiene una relación directa con la contaminación del aire (aumentará en relación al uso de las unidades). Es decir, las ventas realizadas tienen una relación directa causal con la contaminación del aire.
- Por otro lado, se puede observar la relación positiva que existe entre las ventas y el consumo en restaurantes, ya que estos son los principales clientes y durante

los últimos años se ha podido observar su incremento a nivel nacional.

- Por tanto, al existir un mayor consumo de aceite en restaurantes, esto implica una mayor cantidad de residuos que no son correctamente tratados para su disposición final, lo cual origina una mayor contaminación del agua, puesto que en su mayoría estos son vertidos por la red de desagüe.

3.2. Descripción de la problemática

De acuerdo a la figura 18, se explica las relaciones directas que existen entre las ventas de aceite doméstico comestible y la contaminación del aire y agua respectivamente. La contaminación del aire se enfoca por el lado de la cantidad de unidades de transporte que se utilizan para el despacho; mientras que el caso de la contaminación del agua se dirige al tratamiento incorrecto de la disposición del aceite comestible ya utilizado en los restaurantes, el cual es vertido por la red de alcantarillado, afectando la calidad del agua.

Por tanto, es importante poder observar los indicadores de contaminación del agua durante los años 2017 y 2018, mostrados en la figura 16.

Como se puede destacar del gráfico, la variación de contaminantes vertidos a las bahías del año 2017 al 2018 ha sufrido un incremento significativo, y esto debido a que no existe un tratamiento adecuado para la disposición de residuos sólidos, en este caso, los aceites comestibles ya utilizados.

Dentro del marco legal peruano, existe la ley de gestión integral de residuos sólidos D.L. N°1278, la cual es explicada a detalle en el portal del Ministerio del Ambiente, la cual se sostiene sobre tres pilares fundamentales:

- a) Reducir residuos como primera prioridad
- b) La eficiencia en el uso de los materiales,
- c) Los residuos vistos como recursos y no como amenaza

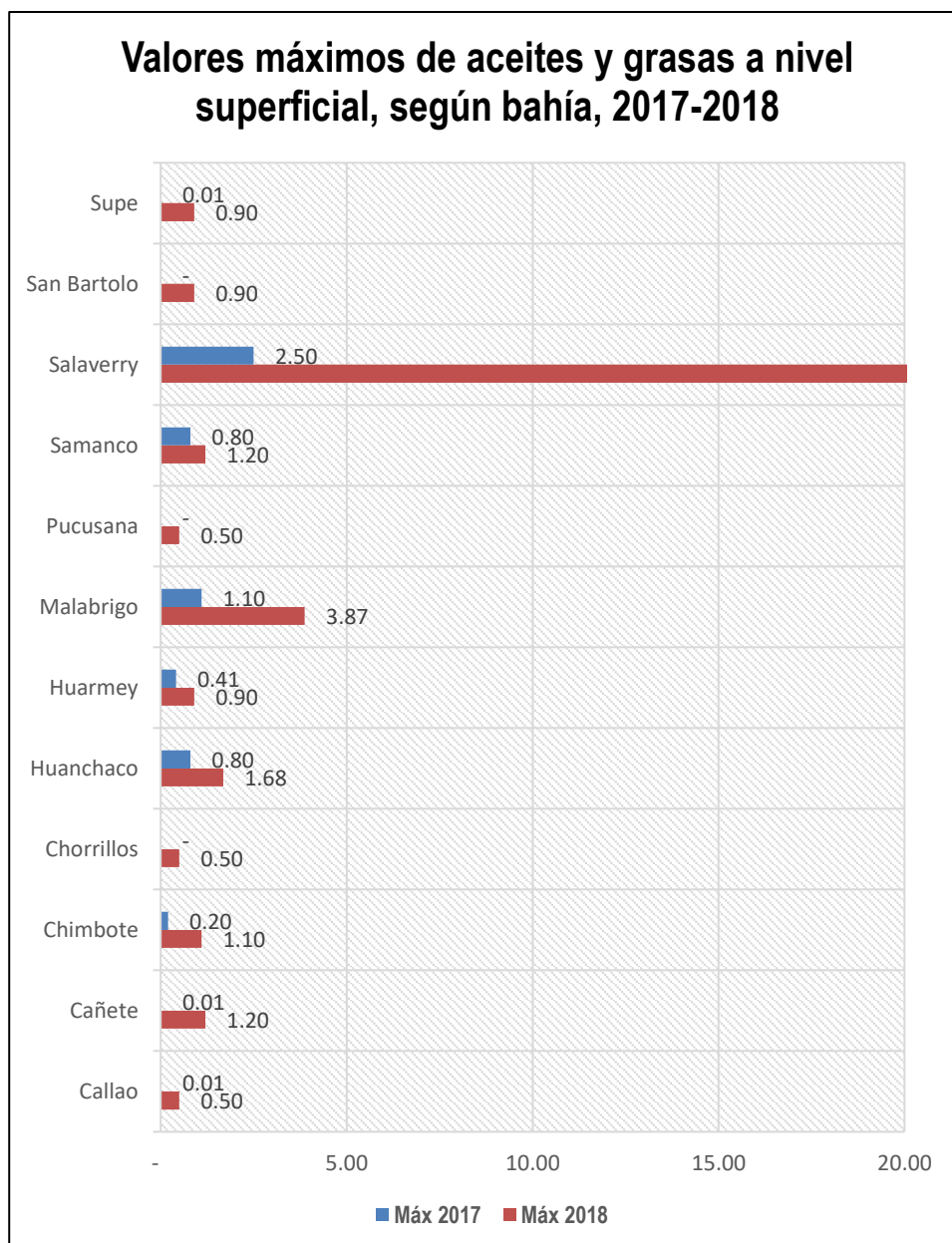


Figura 3.3 Valores máximos de aceites y grasas a nivel superficial según bahía, 2017-2018

Fuente: INEI

La situación actual que se describe es que el peruano con el pasar de los años, viene generando mayor cantidad de desechos contaminantes y aproximadamente el 50% de estos residuos no se disponen de manera adecuada, por lo cual tenemos una capital con calles sucias, así como en provincias también se observan quebradas y playas sucias. Es deber del estado poder implementar políticas públicas a través del Ministerio del Ambiente, para el cuidado y preservación del medio en el cual vivimos, instrumentándolo a través de normas, incentivos, proyectos emblemáticos, recientes soluciones

tecnológicas, asistencia técnica y capacitación a nivel descentralizado, en comunicación con el Ministerio de Economía para que pueda colaborar con la ejecución de inversiones que ayuden en los proyectos de limpieza y tratamiento de aguas residuales.

Dentro de la ley, para el caso del aceite comestible utilizado, en el capítulo 2, artículo 48, se explican las formas de valorización material como lo son: la recuperación de aceites, bio-conversión que, a través de procesos de transformación física, química u otros puedan demostrar su viabilidad técnica, económica y ambiental. Entonces, veremos las causas que conllevan a la contaminación del agua debido a la disposición final de los aceites en la figura 17.

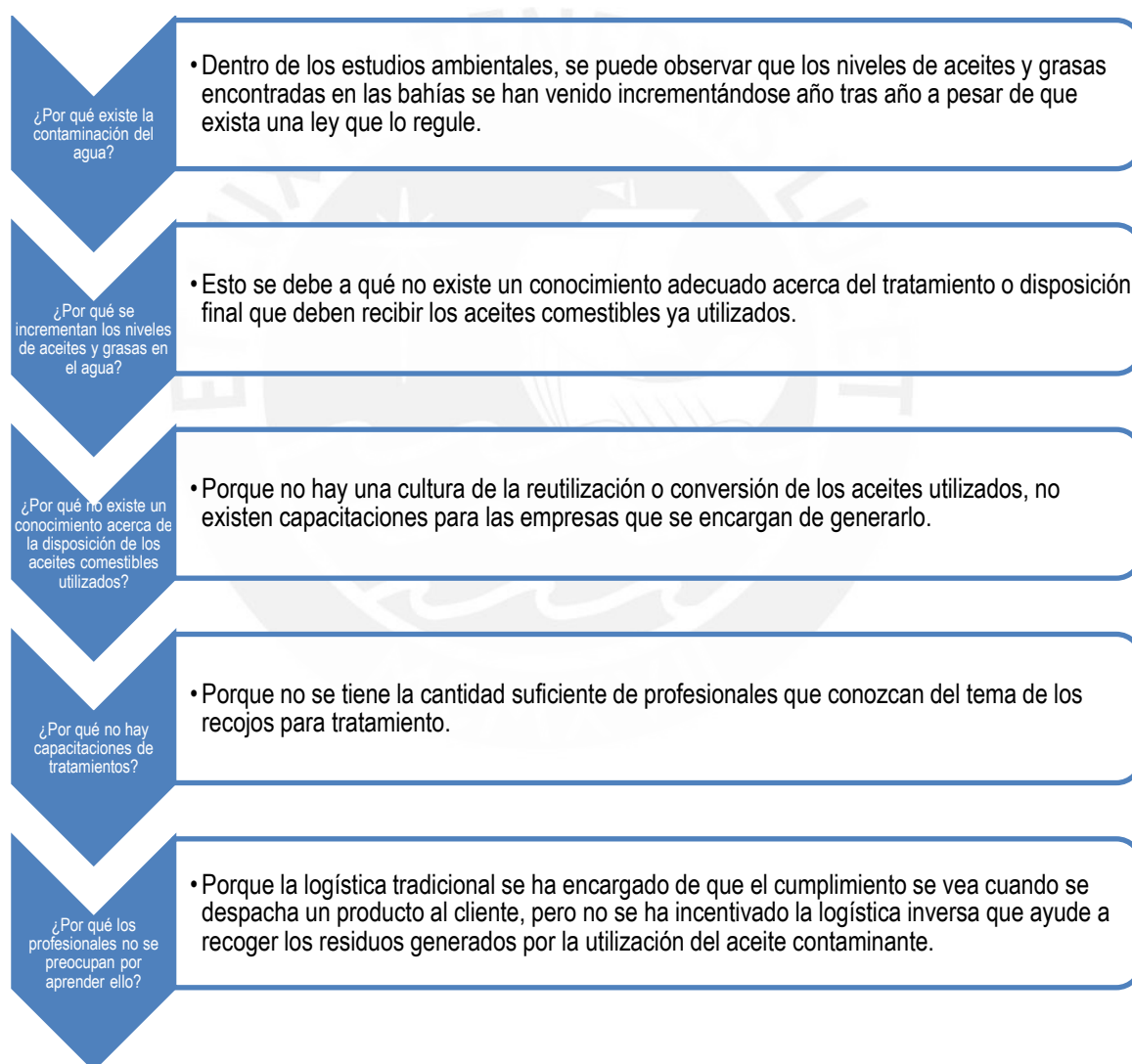


Figura 3.4 Diagrama de los 5 porqués para el problema de contaminación del agua debido al incorrecto tratamiento final de los aceites comestibles utilizados

Elaboración propia

Por tanto, podemos observar la causa raíz del problema generado y se procede a analizar la información recogida para poder diseñar la red de logística inversa que ayude a poder solucionar el problema actual.

3.3. Análisis de la información

En la información a presentar, se consideran los datos de una cadena de restaurantes en el periodo de enero a marzo del 2019, cuyos locales se encuentran ubicados en el departamento de Lima Metropolitana y Callao, en donde se permiten identificar: fechas de entrega, direcciones, coordenadas de latitud y longitud, marcas y tipos de aceite, cantidad de consumo de aceite, zonas, distritos, tipos de transporte, horarios de atención y turnos del transporte.

3.3.1. Análisis de la demanda semanal

Se muestra a continuación el comportamiento de la demanda (expresado en litros) para cada marca de restaurante, por mes y semana, en las tablas 8 y 9 respectivamente:

Tabla 3.1 Demanda de aceite mensual (en litros)

| Suma de Pedido (litros) | Meses | | | Total general |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Enero | Febrero | Marzo | |
| Marcas | | | | |
| RESTAURANTE A | 153,900 | 125,480 | 122,360 | 401,740 |
| RESTAURANTE B | 17,400 | 12,900 | 13,360 | 43,660 |
| RESTAURANTE C | 11,540 | 10,300 | 9,760 | 31,600 |
| RESTAURANTE D | 8,020 | 5,260 | 5,940 | 19,220 |
| RESTAURANTE E | 5,100 | 4,280 | 4,620 | 14,000 |
| RESTAURANTE F | 2,240 | 2,180 | 2,200 | 6,620 |
| Total general | 198,200 | 160,400 | 158,240 | 516,840 |

Tabla 3.2 Promedio semanal de consumo de aceite (en litros)

| Promedio Semanal | Meses | | |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Enero | Febrero | Marzo |
| Marcas | | | |
| RESTAURANTE A | 30,780 | 25,096 | 24,472 |
| RESTAURANTE B | 3,480 | 2,580 | 2,672 |
| RESTAURANTE C | 2,308 | 2,060 | 1,952 |
| RESTAURANTE D | 1,604 | 1,052 | 1,188 |
| RESTAURANTE E | 1,020 | 856 | 924 |
| RESTAURANTE F | 448 | 436 | 440 |
| Total general | 39,640 | 32,080 | 31,648 |

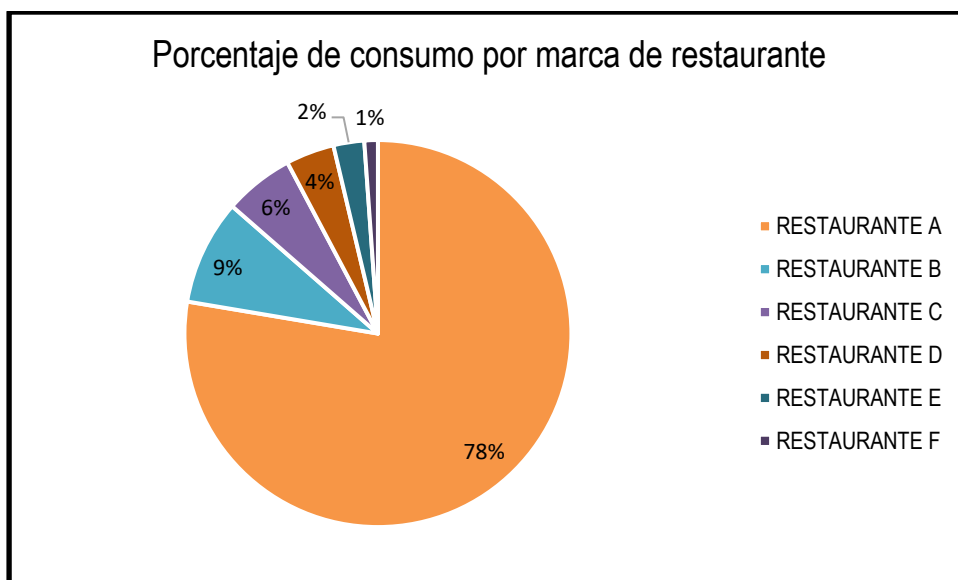


Figura 3.5 Porcentaje de consumo de aceite por marca de restaurante

Elaboración propia

Como se observa en las tablas número 3 y 4, se puede concluir que el consumo semanal de aceite de los 6 restaurantes pertenecientes a la cadena supera los 30,000 litros de aceite comestible; es decir, las unidades de transporte tendrán que prepararse para recoger dicha cantidad de aceite durante los seis días disponibles de la semana (lunes a sábado, sin considerar feriado).

De la figura 19, se tendrá en cuenta que la marca de restaurante A contempla el 78% del total de la demanda de aceite, por lo cual las unidades de transporte realizarán una mayor cantidad de visitas cuando se determine la ruta óptima.

3.3.2. Ubicación de los nodos (puntos de recojo)

Como se mencionó previamente, el enfoque del problema se basará en el área de Lima Metropolitana y Callao, para lo cual se muestran los siguientes gráficos para obtener la ubicación de los puntos de recojo.

Tabla 3.3 Número de locales por marca de restaurante

| Marcas | Número de locales |
|----------------------|-------------------|
| RESTAURANTE A | 96 |
| RESTAURANTE B | 20 |
| RESTAURANTE C | 26 |
| RESTAURANTE D | 5 |
| RESTAURANTE E | 33 |
| RESTAURANTE F | 25 |
| Total general | 205 |

De la información proporcionada por el cliente respecto a la ubicación de sus locales, se tienen las coordenadas geográficas longitud (x) y latitud (y), las cuales fueron ingresadas al programa Knime Analytics Platform para poder graficar en el Anexo A, el mapa de la región Lima Metropolitana y Callao con la ubicación de los 205 nodos, junto a los nodos de depósito inicial (planta) y depósito final (planta de procesamiento de biodiesel).

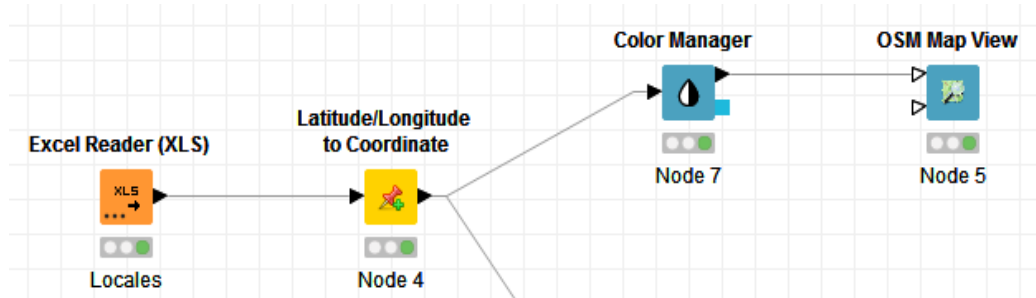


Figura 3.6 Obtención de mapa de puntos de los locales de restaurantes

Elaboración propia

Asimismo, se hizo el cálculo de las distancias entre todos los nodos, usando el mismo programa, para poder construir la matriz de distancias y poder introducirlas en el modelo de programación. Para ello, se utilizó el nodo de Geo Distances para calcular la distancia harvesiana entre las coordenadas geográficas.

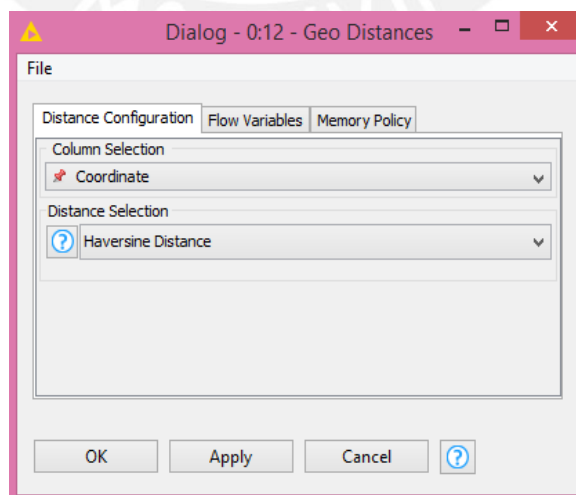


Figura 3.7 Nodo de Geo Distancias

Elaboración propia

En el nodo Column Distance, se calcula la distancia de los nodos a comparar, en kilómetros.

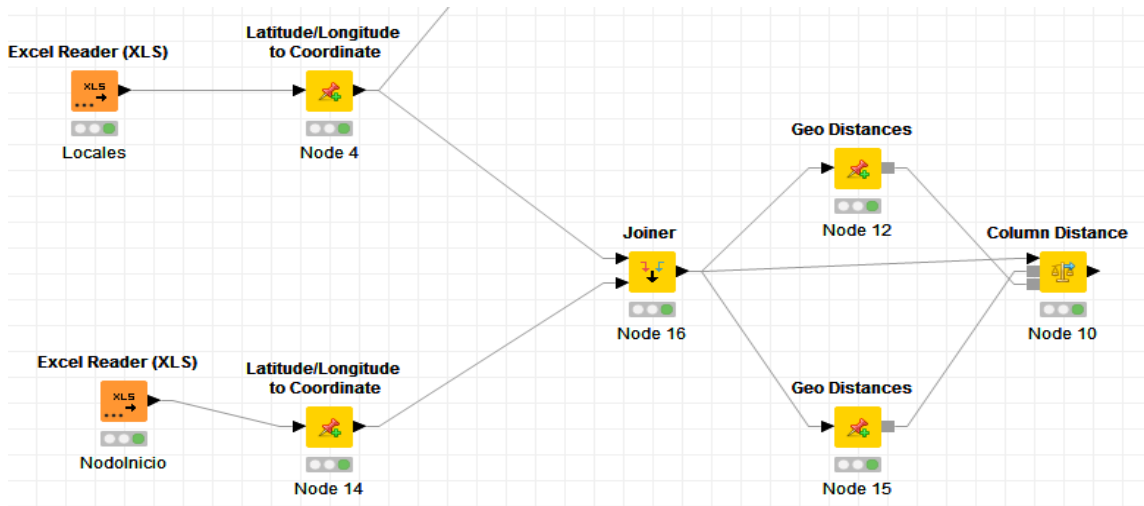


Figura 3.8 Obtención del cálculo de distancias

Elaboración propia

3.3.3. Selección de las unidades de recojo

En el caso de estudio, las unidades de recojo que serán utilizadas, pertenecen a una flota heterogénea, de capacidades 2, 3 y 5 toneladas, las cuales serán enviadas a los locales de los restaurantes según el día habilitado para cada uno de ellos.

3.3.4. Capacidad de recepción de la planta de transformación

En Lima, existen dos plantas de procesamiento del biodiésel, ubicadas en Lurín y Callao. Según el artículo de la agencia Andina del año 2015, “la empresa estadounidense Pure Biofuels inauguró su planta de producción de biodiésel, ubicada en el distrito de Ventanilla (Callao), la cual tiene una capacidad de producción de 52 millones de galones por año. Esta es la segunda planta de biodiésel que opera en el Perú, ya que el 31 de enero del mismo año, Heaven

Petroleum Operators, del grupo peruano Herco Combustibles, inauguró su primera planta procesadora y distribuidora de biodiésel en Lurín (al sur de Lima), que produce 120 mil galones diarios de biodiésel Heaven HB100". (Editora Perú, 2015)

Dado que el objetivo del problema es poder minimizar los costos de transporte del aceite doméstico usado recogido de los restaurantes de manera diaria, se procede a escoger la planta de transformación más cercana a la planta de inicio; es decir, la que se encuentra ubicada en Ventanilla, la cual tiene capacidad ilimitada de recepción.



Figura 3.9 Ubicación de la planta de Transformación (Ventanilla)

Fuente: Google Maps

CAPÍTULO 4.- PROPUESTA DE RECOLECCIÓN Y MODELAMIENTO DEL PROBLEMA

Se empieza teniendo flota de vehículos heterogéneos con diferentes capacidades y diferentes costos de viaje los cuales estarán disponibles para atender las solicitudes de transporte. El tiempo de viaje entre ubicaciones se supone como una función del tiempo de salida. Además, los vehículos no tienen que regresar a un depósito central, aunque el número máximo de vehículos en los depósitos está restringido para evitar la agregación de vehículos en algunos depósitos. Todas las ubicaciones deben ser visitadas solo una vez por un solo vehículo dentro de una ventana de tiempo específica, en la cual se tomará como tiempo de servicio el tiempo de despacho y recojo.

El modelo busca encontrar distintos recorridos alrededor de la ciudad que puedan minimizar el costo total del flete. Se considera un recorrido o ruta factible si el vehículo comienza en el depósito inicial (planta de inicio) y finaliza en la planta de transformación, pasando solo una vez por cada punto de recojo, de manera tal que también se cumplan las restricciones de ventanas de tiempo y limitaciones de capacidad de cada transporte.

El problema empieza definiendo el modelo matemático:

Parámetros

- i, j, v : índice de clientes y depósitos de origen, destino.

Tabla 4.1 Denominación de parámetros

| | | |
|------------------|---------------------------|--------------------------|
| Origen | Depósito inicial: $i = 0$ | Planta |
| Destino | Depósito final: $j = n+1$ | Planta de transformación |
| Clientes | $i = 1; 2; \dots; n$ | Locales de restaurantes |
| Nodos | $N = 0; 1; 2; \dots; n+1$ | |
| Vehículos | $v = 1; 2; \dots; n$ | |

- Q_v : capacidad del vehículo v
- F_v : costo fijo por uso del vehículo v
- C_{ij} : tiempo entre los locales (restaurantes) i, j

- P_j : oferta del producto (aceite) a recoger en las unidades correspondientes.
- D_j : demanda del producto (aceite) a descargar en las unidades correspondientes.
- TT_{ij} : tiempo de viaje del vehículo v entre los nodos (locales)
- a_i : horario más temprano de llegada al local i
- b_i : horario más tarde de llegada al local i
- T_{max_v} : tiempo máximo de ruta del vehículo v
- S_i : tiempo de servicio en el local i
- V : número máximo de vehículos utilizados

Variables de decisión

- X_{ijv} : variable binaria para la asignación del vehículo v al arco (i,j)
- Y_{ijv} : cantidad recogida del cliente i por el vehículo v mientras recorre el arco (i,j)
- Z_{ijv} : cantidad entregada al cliente i por el vehículo v mientras recorre el arco (i,j)
- T_i : momento de tiempo en que el vehículo llega al cliente i
- TR_v : tiempo de ruta para el vehículo v

Funciones objetivo

Como se mencionó, se trabajarán con 3 tipos de funciones que garanticen el comportamiento del modelo.

FO1: función objetivo que busca minimizar el tiempo de recorrido por el vehículo respetando las ventanas horarias y capacidad de los vehículos.

$$\text{Min } \sum_{v=n}^v \sum_{i=0}^N \sum_{j=1|j \neq i}^{N+1} C_{ij} * X_{ij}^v$$

FO2: función objetivo que busca minimizar el costo de cada vehículo utilizado en el ruteo.

$$\text{Min } \sum_{v=n}^v \sum_{i=0}^N \sum_{j=1|j \neq i}^{N+1} F_{ij} * X_{ij}^v$$

FO3: minimizar el inventario del cliente i

Restricciones

- $\sum_{j=1}^N X_{0,j}^v = 1 \quad v = 1; 2; 3; \dots; v$
Cada vehículo solo debe visitar a un solo local.

- $\sum_{v=1}^V X_{0,j}^v \leq 1 \quad v = 1; 2; 3; \dots; v$
Solo 1 vehículo debe llegar a visitar a cada local.

- Todos los locales deben ser visitados

$$\sum_{v=1}^v \sum_{i=0 | i \neq j}^N X_{ij}^v = 1$$

$$j = 1; 2; \dots; N$$

Cada local tiene que ser visitado necesariamente 1 vez por 1 solo vehículo a partir de un nodo predecesor.

$$\sum_{v=1}^v \sum_{j=1 | i \neq j}^N X_{ij}^v = 1$$

$$i = 1; 2; \dots; N$$

Cada local i tiene que partir para dirigirse hacia el siguiente local j.

- $\sum_{i=1}^N X_{i,N+1}^v = 1 \quad v = 1; 2; 3; \dots; v$
Cada vehículo necesariamente tiene que llegar al depósito final.

- $\sum_{v=1}^V X_{i,N+1}^v \leq 1 \quad i = 1; 2; 3; \dots; N$
El nodo i no puede ser visitado por 2 vehículos.

- $\sum_{j=1}^N X_{0,j}^v \leq 1 \quad v = 1; 2; 3; \dots; v$
V es el número de vehículos máximos a utilizar por día de atención.

- Flujos de oferta y demanda:

$$\sum_{i=0}^N Y_{ji} - \sum_{i=0}^N Y_{ij} = P_j \quad \forall j = 1; 2; \dots; n$$

Flujo de recojo de las cantidades de aceite por local.

$$\sum_{i=0}^N Z_{ji} - \sum_{i=0}^N Z_{ij} = D_j \quad \forall j = 1; 2; \dots; n$$

Flujo de entrega de las cantidades de aceite por local.

- Carga de vehículo:

$$Y_{ij} + Z_{ij} - Qv * \sum_{i=0}^N X_{ji}^v \leq 0 \quad \forall j = 1; 2; \dots; n \quad | \quad \forall i = 0; 1; 2; \dots; n$$

Las demandas de recojo y entrega solo serán transportadas por arcos contenidos en la solución, por medio de la imposición de un límite superior para el total transportado (capacidad de vehículo).

- $Z_{ijv} = 0 \quad \forall v = 1; 2; \dots; n \quad \forall i = 1; 2; \dots; n \quad j = n + 1$
Asegura que todo se ha descargado al llegar a nodo depósito.

- Tiempos a considerar:

$$(T_i + S_i + C_{ij}) * X_{ij}^v \leq T_j$$

$$i = 0; \dots; N \quad | \quad j = 1; \dots; N \quad | \quad v = 1; 2; \dots; v \quad | \quad i \neq j$$

Relación entre el tiempo de inicio de visita al local i , tiempo de servicio, tiempo que toma ir de i hacia j y el tiempo de inicio en el local j .

$$(T_j + S_j + C_{j,N+1}) * X_{j,N+1}^v \leq b_{N+1}$$

$$j = 1; \dots; N \quad | \quad v = 1; 2; \dots; v \quad | \quad i \neq j$$

Representa la ecuación del tiempo total de trabajo en la ubicación del último local $j = N+1$.

- $TR_v \leq T_{max_v}$

El tiempo de ruta no puede ser mayor al tiempo de ruta máximo establecido para determinado vehículo.

- Ventanas de tiempo de atención del cliente i : $[a_i; b_i]$
 $T_i \geq a_i \quad i = 1; 2; \dots; N$
 $T_i \leq b_i \quad i = 1; 2; \dots; N$

Naturaleza de las variables de decisión del modelo

$$X_{i,j,v} \in \{0; 1\}$$

$$Y_{i,j,v}; Z_{i,j,v} \in \mathbb{Z}^+$$

$$T_i; TR_v \in \mathbb{R}^+$$



CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al modelo matemático planteado, se procedió a introducir la información recopilada al programa AMPLIDE, en donde arrojó los siguientes resultados por días de atención:

Ingreso del modelo:

```
set nodo:=0..11;
set cliente:=1..10;
set origen:=0..10;
set destino:=1..11;
set vehiculo:=1..3;

param d{origen,destino};
param p{nodo};
param a{nodo};
param b{nodo};
param g{cliente};
param cv;
param M := 10000;

var x{i in origen, j in destino, v in vehiculo:(i<>j)} binary;
var t{origen} >=0;

minimize FO:
sum{i in origen, j in destino, v in vehiculo:i<>j} d[i,j]*x[i,j,v];

subject to R1_1{v in vehiculo}:
sum{k in cliente} x[0,k,v]=1;

subject to R1_2{k in cliente}:
sum{v in vehiculo} x[0,k,v]<=1;

subject to R2{k in cliente}:
sum{i in origen, v in vehiculo:i<>k} x[i,k,v]=1;

subject to R3{k in cliente}:
sum{j in destino, v in vehiculo:j<>k} x[k,j,v]=1;

subject to R4{k in cliente,v in vehiculo}:
(sum{i in origen:i<>k} x[i,k,v])-(sum{j in destino:j<>k}
x[k,j,v])=0;

subject to R5_1{v in vehiculo}:
sum{k in cliente} x[k,card(destino),v]=1;

subject to R5_2{k in cliente}:
sum{v in vehiculo} x[k,card(destino),v]<=1;

subject to R6{i in origen, k in cliente, v in vehiculo:i<>k}:
```

$$t[i] + p[i] + d[i, k] \leq t[k] + M * (1 - x[i, k, v]);$$

subject to R7 {k in cliente, v in vehiculo}:
 $t[k] + p[k] + d[k, \text{card}(\text{destino})] \leq b[\text{card}(\text{destino})] + M * (1 - x[k, \text{card}(\text{destino}), v]);$

subject to R8_1 {k in cliente}:
 $t[k] \geq a[k];$

subject to R8_2 {k in cliente}:
 $t[k] \leq b[k];$

subject to R9 {v in vehiculo}:
 $\sum\{i \text{ in origen, } k \text{ in cliente: } i < k\} g[k] * x[i, k, v] \leq cv;$

5.1. Resultados cuantitativos del ruteo

Asimismo, para una mejor visualización de la información, se optó por utilizar Python, en donde podemos hacer uso del modelo Docplex que permite determinar la ruta óptima que debe recorrer el transporte para minimizar los costos asociados.

Dado que los centros comerciales tienen días determinados para poder despacharles mercadería, se tiene la solución óptima para cada día de la semana:

LUNES: 7 NODOS

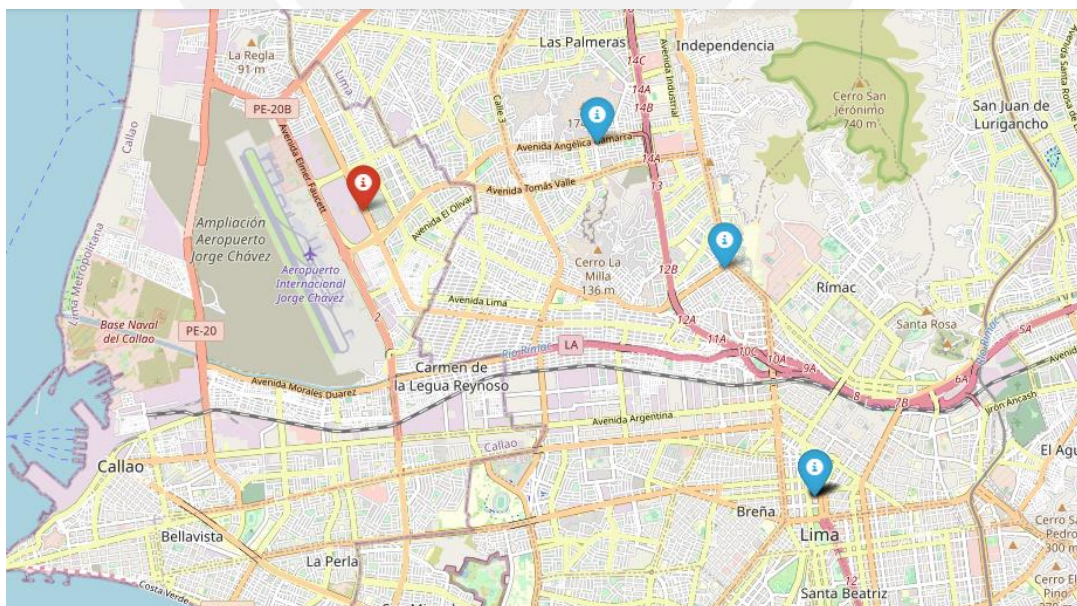


Figura 5.1 Gráfica de nodos – Día Reparto Lunes

Fuente: Elaboración propia

Las distancias entre los nodos se pueden encontrar en el Anexo 1.1, donde se colocan las coordenadas de los nodos que se visitan de manera diaria y la matriz de viajes a considerar.

Información a ingresar al modelo:

Tabla 5.1 Nodos y coordenadas – Reparto día lunes

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|--------------|--------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.05643318 | -77.03728926 | BK24 |
| 2 | -12.05643318 | -77.03728926 | CH15 |
| 3 | -12.02388206 | -77.05052508 | KFC52 |
| 4 | -12.05643318 | -77.03728926 | KFC56 |
| 5 | -11.93339021 | -77.04685185 | KFC87 |
| 6 | -12.00588643 | -77.06925697 | KFC89 |
| 7 | -12.05643318 | -77.03728926 | PH41 |

La solución para el día Lunes viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.2 Solución Ruteo Día Lunes

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – BK24 – KFC56 – PH41 – KFC52 – KFC89 – KFC87 – PLANTA.

La distancia óptima que recorrer por el transporte es de 34.724 kilómetros.

MARTES: 49 NODOS

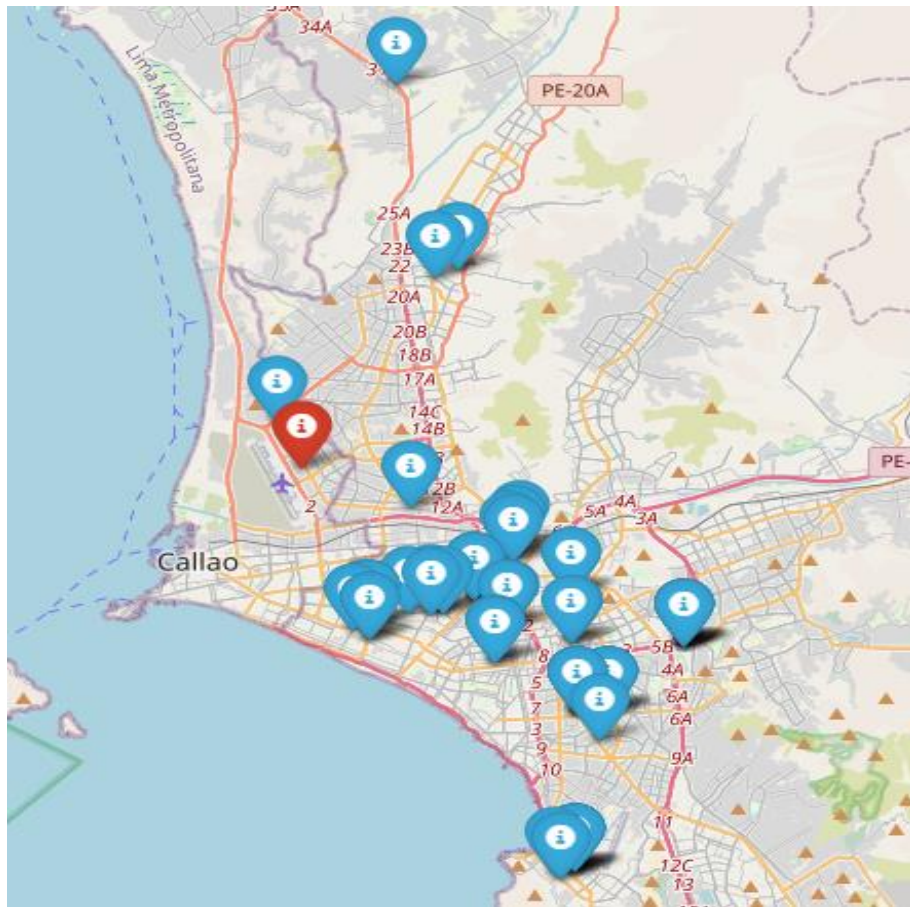


Figura 5.3 Gráfica de nodos – Día Reparto Martes

Fuente: Elaboración propia

Las distancias entre los nodos se pueden encontrar en el Anexo 1.1, donde se colocan las coordenadas de los nodos que se visitan de manera diaria y la matriz de viajes a considerar.

Información por ingresar al modelo:

Debido a que los martes presenta una cantidad considerable de nodos que serían imposibles de realizar en un solo turno, se decide optimizar el tiempo y dividirlo en 3 grupos, teniendo en cuenta que el primer grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda desde la mañana, el segundo grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda solo la tarde y el tercer grupo es el transporte de mañana que tiene personal en tienda desde la mañana.

- Grupo 1

Tabla 5.2 Nodos y coordenadas – Reparto día martes (Grupo 1)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|--------------|--------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.09113266 | -77.04027636 | CH17 |
| 2 | -12.05089587 | -77.03512165 | KFC08 |
| 3 | -12.07785480 | -77.03569121 | KFC106 |
| 4 | -12.12165974 | -77.00534535 | KFC147 |
| 5 | -12.04874952 | -77.03333482 | KFC15 |
| 6 | -12.08334679 | -77.01450173 | KFC19 |
| 7 | -12.07307676 | -77.06174007 | KFC20 |
| 8 | -12.07244728 | -77.06878357 | KFC69 |
| 9 | -12.08206059 | -77.08217976 | KFC70 |
| 10 | -12.04687723 | -77.03191817 | KFC94 |
| 11 | -12.05219651 | -77.03414905 | PH05 |
| 12 | -12.08352872 | -77.01459748 | PH12 |
| 13 | -12.07136319 | -77.06127124 | PH13 |
| 14 | -12.08207928 | -77.08217950 | PHD11 |
| 15 | -12.07189505 | -77.05768044 | PHD13 |
| 16 | -12.09137391 | -77.04050739 | PHD21 |
| 17 | -12.07788280 | -77.03583438 | PHD22 |

La solución para el martes – Grupo 1 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.4 Solución Ruteo Día Martes - Grupo 1

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC70 – PHD11 – KFC69 – KFC20 – PH13 – PHD13 – PHD22 – KFC106 – CH17 – PHD21 – KFC147 – PH12 – KFC19 – PH05 – KFC08 – KFC15 – KFC94 - PLANTA.

La distancia óptima por recorrer por el transporte para el grupo 1 del día Martes es de 37.996 kilómetros.

- **Grupo 2**

Tabla 5.3 Nodos y coordenadas – Reparto día martes (Grupo 2)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|---------------|---------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.085019006 | -76.977273061 | BK10 |
| 2 | -12.111147651 | -77.012793419 | BK26 |
| 3 | -12.066616597 | -77.047436304 | BK66 |
| 4 | -12.085019006 | -76.977273061 | CH01 |
| 5 | -12.077355184 | -77.084070561 | CH03 |
| 6 | -12.111147651 | -77.012793419 | CH22 |
| 7 | -12.077478075 | -77.082101321 | KFC11 |
| 8 | -12.066863789 | -77.047434150 | KFC115 |
| 9 | -11.941924599 | -77.059837500 | KFC133 |
| 10 | -12.085019006 | -76.977273061 | KFC18 |
| 11 | -12.064692593 | -77.014839479 | KFC31 |
| 12 | -12.111147651 | -77.012793419 | KFC60 |
| 13 | -12.085019006 | -76.977273061 | PH14 |
| 14 | -12.085019006 | -76.977273061 | PH16 |
| 15 | -12.064679417 | -77.014821035 | PH25 |
| 16 | -12.111147651 | -77.012793419 | PH42 |

La solución para el día Martes – Grupo 2 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.5 Solución Ruteo Día Martes - Grupo 2

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC133 – KFC31 - PH25 - PH14 - CH01 - KFC18 - BK10 - PH16 - CH22 - KFC60 - BK26 - PH42 - KFC115 - BK66 - KFC11 - CH03 - PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 51.188 kilómetros.

- **Grupo 3**

Tabla 5.4 Nodos y coordenadas – Reparto día martes (Grupo 3)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|---------------|---------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.111394777 | -77.002211302 | BK14 |
| 2 | -12.172534189 | -77.013641706 | BK18 |

| | | | |
|----|---------------|---------------|--------|
| 3 | -12.172534189 | -77.013641706 | CH23 |
| 4 | -12.066616597 | -77.047436304 | CH25 |
| 5 | -12.111394777 | -77.002211302 | CH26 |
| 6 | -12.031468790 | -77.068495369 | KFC113 |
| 7 | -11.866433204 | -77.073546224 | KFC127 |
| 8 | -11.938265985 | -77.052587176 | KFC129 |
| 9 | -11.998531191 | -77.113031801 | KFC136 |
| 10 | -12.111394777 | -77.002211302 | KFC26 |
| 11 | -12.172534189 | -77.013641706 | KFC35 |
| 12 | -12.175499699 | -77.018464836 | KFC90 |
| 13 | -12.079044820 | -77.087776297 | KFC93 |
| 14 | -12.077420609 | -77.081921319 | PH06 |
| 15 | -12.172534189 | -77.013641706 | PH29 |
| 16 | -12.173312866 | -77.020359042 | PHD19 |

La solución para el día Martes – Grupo 3 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.6 Solución Ruteo Día Martes - Grupo 3

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC93 - PH06 - PHD19 - KFC90 - KFC35 - PH29 - CH23 - BK18 - BK14 - CH26 - KFC26 - CH25 - KFC113 - KFC129 - KFC127 - KFC136- PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 76.134 kilómetros.

MIÉRCOLES: 33 NODOS

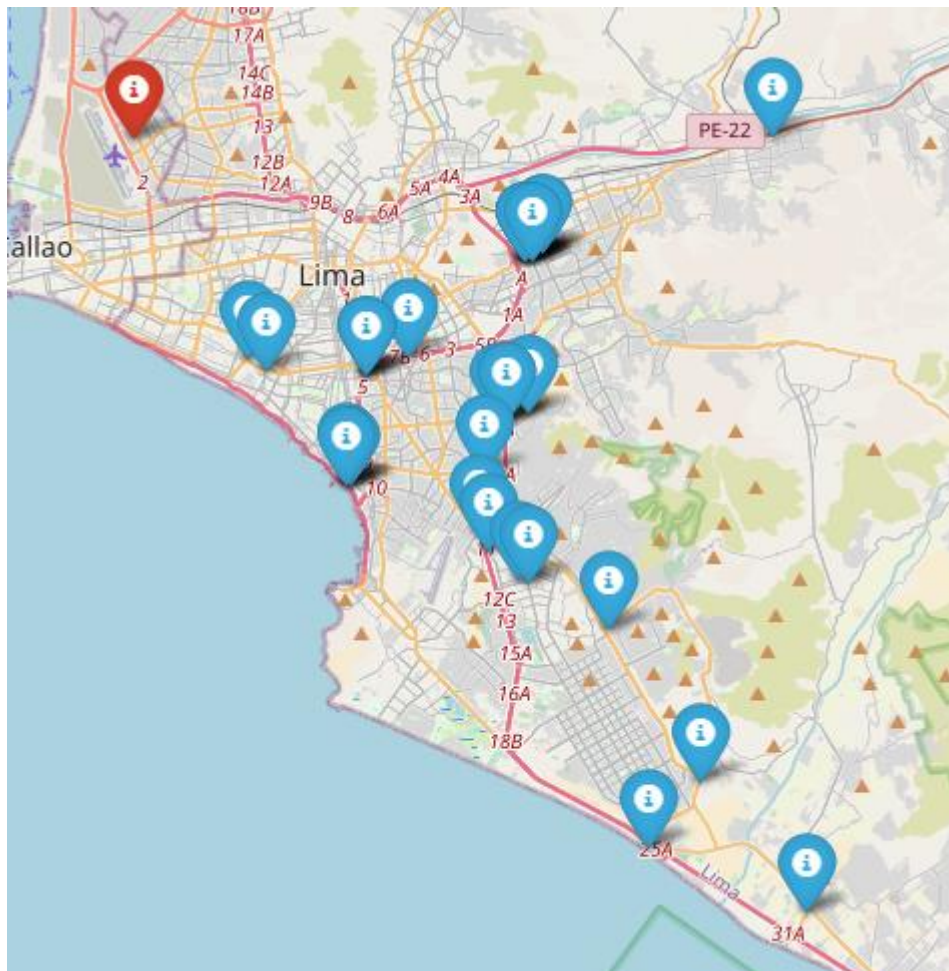


Figura 5.7 Gráfica de nodos – Día Reparto Miércoles

Fuente: Elaboración propia

Las distancias entre los nodos se pueden encontrar en el Anexo 1.1, donde se colocan las coordenadas de los nodos que se visitan de manera diaria y la matriz de viajes a considerar.

Información por ingresar al modelo:

Debido a que los miércoles presenta una cantidad considerable de nodos que serían imposibles de realizar en un solo turno, se decide optimizar el tiempo y dividirlo en 2 grupos, teniendo en cuenta que el primer grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda desde la mañana y el segundo grupo es el transporte de mañana que tiene personal en tienda desde la mañana.

- **Grupo 1**

Tabla 5.5 Nodos y coordenadas – Reparto día miércoles (Grupo 1)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|-------------|-------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.0949161 | -77.0254617 | BK12 |
| 2 | -12.1282834 | -76.9849421 | BK72 |
| 3 | -12.1316580 | -77.0306074 | CH06 |
| 4 | -12.0567932 | -76.9712122 | CH12 |
| 5 | -12.0149514 | -76.8856544 | KFC109 |
| 6 | -12.0566209 | -76.9682509 | KFC112 |
| 7 | -12.1482504 | -76.9866294 | KFC123 |
| 8 | -12.1542707 | -76.9830357 | KFC130 |
| 9 | -12.0949161 | -77.0254617 | KFC24 |
| 10 | -12.1319057 | -77.0307608 | KFC25 |
| 11 | -12.2533818 | -76.9281352 | KFC79 |
| 12 | -12.0567932 | -76.9712122 | KFC82 |
| 13 | -12.0949161 | -77.0254617 | PH18 |
| 14 | -12.1320833 | -77.0319661 | PH21 |
| 15 | -12.0567932 | -76.9712122 | PH54 |
| 16 | -12.0567052 | -76.9683293 | PHD23 |
| 17 | -12.1647575 | -76.9694520 | PHD26 |

La solución para el día miércoles – Grupo 1 viene dado por:

| NodID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.8 Solución Ruteo Día Miércoles - Grupo 1

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – PH54 - CH12 - KFC82 - PHD23 - KFC112 - KFC109 - KFC79 - PHD26
- KFC130 - KFC123 - BK72 - CH06 - KFC25 - PH21 - PH18 - BK12 - KFC24 -
PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 89.988 kilómetros.

- **Grupo 2**

Tabla 5.6 Nodos y coordenadas – Reparto día miércoles (Grupo 2)

| Latitud | Latitud | Longitud | Nombre |
|---------|-------------|-------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.0887634 | -77.0109868 | BK01 |
| 2 | -12.1307415 | -77.0317064 | BK15 |
| 3 | -12.0567932 | -76.9712122 | BK51 |
| 4 | -12.1103601 | -76.9798788 | BK57 |
| 5 | -12.2748320 | -76.8737649 | KFC125 |
| 6 | -12.1802833 | -76.9422854 | KFC126 |

| | | | |
|----|-------------|-------------|--------|
| 7 | -12.2310449 | -76.9106582 | KFC132 |
| 8 | -12.0567446 | -76.9702313 | KFC139 |
| 9 | -12.1104408 | -76.9768603 | KFC17 |
| 10 | -12.0543349 | -76.9644954 | KFC22 |
| 11 | -12.1633858 | -76.9731128 | KFC46 |
| 12 | -12.1080960 | -76.9692332 | KFC85 |
| 13 | -12.0898033 | -77.0656316 | KFC91 |
| 14 | -12.0542037 | -76.9643976 | PH17 |
| 15 | -12.1103602 | -76.9769197 | PHD04 |
| 16 | -12.0937503 | -77.0595493 | PHD10 |

La solución para el día Miércoles – Grupo 2 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.9 Solución Ruteo Día Miércoles - Grupo 2

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA - KFC91 - PHD10 - BK15 - KFC46 - KFC132 - KFC125 - KFC126 - BK57
- PHD04 - KFC17 - KFC85 - PH17 - KFC22 - KFC139 - BK51 - BK01 - PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 87.303 kilómetros.

JUEVES: 42 NODOS

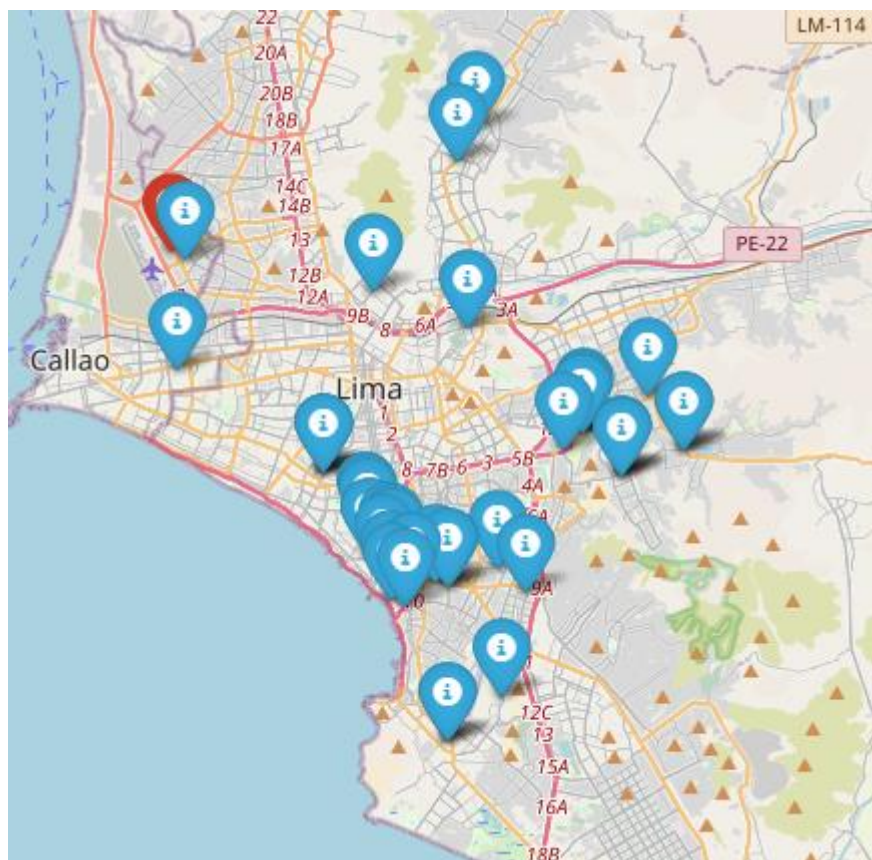


Figura 5.10 Gráfica de nodos – Día Reparto Jueves

Fuente: Elaboración propia

Las distancias entre los nodos se pueden encontrar en el Anexo 1.1, donde se colocan las coordenadas de los nodos que se visitan de manera diaria y la matriz de viajes a considerar.

Información por ingresar al modelo:

Debido a que los jueves presenta una cantidad considerable de nodos que serían imposibles de realizar en un solo turno, se decide optimizar el tiempo y dividirlo en 3 grupos, teniendo en cuenta que el primer grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda desde la mañana, el segundo grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda solo la tarde y el tercer grupo es el transporte de mañana que tiene personal en tienda desde la mañana.

- **Grupo 1**

Tabla 5.7 Nodos y coordenadas – Reparto día jueves (Grupo 1)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|---------------|---------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.091125258 | -76.950418373 | BK08 |
| 2 | -12.089651374 | -77.052604231 | BK64 |
| 3 | -12.123107812 | -77.032190821 | CH27 |
| 4 | -12.089651374 | -77.052604231 | KFC114 |
| 5 | -12.082564100 | -76.929029364 | KFC119 |
| 6 | -12.090630098 | -76.950047255 | KFC14 |
| 7 | -12.041449155 | -77.002967889 | KFC73 |
| 8 | -12.089651374 | -77.052604231 | MT03 |
| 9 | -12.117752537 | -77.036752857 | PH01 |
| 10 | -12.090655757 | -76.950068439 | PH09 |
| 11 | -12.082618799 | -76.928979611 | PHD24 |

La solución para el día jueves – Grupo 1 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.11 Solución Ruteo Día Jueves - Grupo 1

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC114 - BK64 - MT03 - PH01 - CH27 - BK08 - PH09 - KFC14 - PHD24 - KFC119 - KFC73- PLANTA.

La distancia óptima a recorrer por el transporte para el grupo 1 del día Jueves es de 47.165 kilómetros.

- **Grupo 2**

Tabla 5.8 Nodos y coordenadas – Reparto día jueves (Grupo 2)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|--------------|--------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.07453260 | -76.96364376 | BK39 |
| 2 | -12.12672019 | -77.01411726 | CH04 |
| 3 | -12.08215727 | -76.97010937 | CH05 |
| 4 | -12.07611245 | -76.96367993 | KFC07 |
| 5 | -12.11755682 | -77.03674585 | KFC09 |
| 6 | -12.13489193 | -77.02451539 | KFC21 |
| 7 | -12.17947789 | -77.00985787 | KFC34 |
| 8 | -12.06403785 | -76.94138245 | KFC37 |
| 9 | -12.10924805 | -77.03817470 | KFC72 |
| 10 | -12.12989074 | -76.98309004 | PH02 |
| 11 | -12.07644004 | -76.96382228 | PH03 |
| 12 | -12.13245856 | -77.02901408 | PH15 |
| 13 | -12.11992852 | -77.02885960 | PH19 |
| 14 | -12.17952745 | -77.00986942 | PH28 |
| 15 | -12.12168001 | -76.99307454 | PHD01 |
| 16 | -12.16459149 | -76.99172850 | PHD02 |
| 17 | -12.07464635 | -76.96368415 | PHD09 |
| 18 | -12.12793346 | -77.00983503 | PHD14 |

La solución para el día Jueves – Grupo 2 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.12 Solución Ruteo Día Jueves - Grupo 2

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC72 - KFC09 - PH19 - PH15 - KFC21 - CH04 - PHD14 - KFC34 - PH28 - PHD02 - PH02 - PHD01 - CH05 - PH03 - KFC07 - PHD09 - BK39 - KFC37 - PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 59.593 kilómetros.

- Grupo 3

Tabla 5.9 Nodos y coordenadas – Reparto día jueves (Grupo 3)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|--------------|--------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.11894494 | -77.03031012 | BK02 |
| 2 | -12.12762570 | -77.00967972 | BK48 |
| 3 | -12.10890174 | -77.03816699 | BK49 |
| 4 | -12.10952030 | -77.03725870 | CH02 |
| 5 | -12.12121286 | -77.02888088 | KFC06 |
| 6 | -12.02897613 | -77.03517984 | KFC102 |
| 7 | -11.97475020 | -77.00053492 | KFC140 |
| 8 | -11.98554022 | -77.00658451 | KFC145 |
| 9 | -12.01880394 | -77.09975369 | KFC51 |
| 10 | -12.05513451 | -77.10260034 | KFC76 |
| 11 | -12.11132628 | -77.03754889 | MT01 |
| 12 | -12.12944627 | -77.02233745 | MT02 |
| 13 | -12.12881626 | -77.02993323 | PHD05 |

La solución para el día Jueves – Grupo 3 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.13 Solución Ruteo Día Jueves - Grupo 3

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC51 - KFC140 - KFC145 - KFC102 - BK48 - MT02 - PHD05 - KFC06
- BK02 - MT01 - CH02 - BK49 - KFC76 - PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 49.399 kilómetros.

VIERNES: 42 NODOS

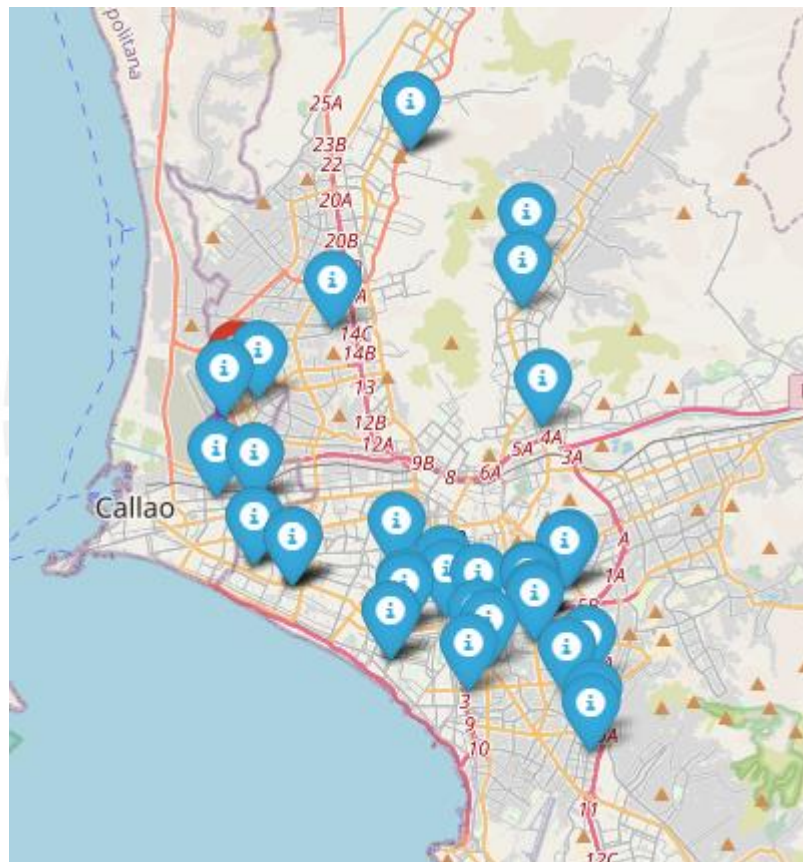


Figura 5.14 Gráfica de nodos – Día Reparto Viernes

Fuente: Elaboración propia

Las distancias entre los nodos se pueden encontrar en el Anexo 1.1, donde se colocan las coordenadas de los nodos que se visitan de manera diaria y la matriz de viajes a considerar.

Información por ingresar al modelo:

Debido a que los viernes presenta una cantidad considerable de nodos que serían imposibles de realizar en un solo turno, se decide optimizar el tiempo y dividirlo en 3 grupos, teniendo en cuenta que el primer grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda desde la mañana, el segundo grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda solo la tarde y el tercer grupo es el transporte de mañana que tiene personal en tienda desde la mañana.

- **Grupo 1**

Tabla 5.10 Nodos y coordenadas – Reparto día viernes (Grupo 1)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|-------------|-------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.0899567 | -77.0043575 | BK54 |
| 2 | -12.1109053 | -76.9846879 | CH09 |
| 3 | -12.0900316 | -77.0046787 | CH13 |
| 4 | -12.0903129 | -77.0049989 | KFC10 |
| 5 | -12.0781731 | -77.0855555 | KFC33 |
| 6 | -12.0787101 | -76.9907996 | KFC38 |
| 7 | -12.0503686 | -77.0984421 | KFC39 |
| 8 | -12.1136230 | -77.0252626 | KFC53 |
| 9 | -12.0717061 | -77.0985270 | KFC59 |
| 10 | -12.0902588 | -77.0044102 | KFC88 |
| 11 | -12.0902116 | -77.0037866 | MT04 |
| 12 | -12.0902588 | -77.0044102 | PH04 |
| 13 | -12.0902285 | -77.0043263 | PH55 |

La solución para el día viernes – Grupo 1 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.15 Solución Ruteo Día Viernes - Grupo 1

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC10 - CH13 - BK54 - KFC88 - PH04 - PH55 - MT04 - KFC38 - CH09
- KFC53 - KFC33 - KFC59 - KFC39 - PLANTA.

La distancia óptima por recorrer por el transporte para el grupo 1 del día Viernes es de 39.358 kilómetros.

- **Grupo 2**

Tabla 5.11 Nodos y coordenadas – Reparto día viernes (Grupo 2)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|-------------|-------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -12.0781731 | -77.0855555 | BK04 |
| 2 | -12.1029948 | -77.0519020 | BK07 |
| 3 | -12.1149836 | -76.9914220 | BK59 |
| 4 | -12.0960393 | -77.0026578 | KFC03 |
| 5 | -12.0937872 | -77.0474179 | KFC04 |
| 6 | -12.1295040 | -76.9823050 | KFC05 |
| 7 | -12.1338781 | -76.9832345 | KFC101 |
| 8 | -12.1055187 | -77.0185441 | KFC42 |
| 9 | -12.1032795 | -77.0517325 | KFC45 |
| 10 | -12.0844716 | -77.0342880 | KFC68 |
| 11 | -12.0888293 | -77.0325840 | KFC83 |
| 12 | -12.0923836 | -77.0474009 | PH07 |
| 13 | -12.0781731 | -77.0855555 | PH27 |

| | | | |
|----|-------------|-------------|-------|
| 14 | -12.0716744 | -77.0985401 | PHD03 |
| 15 | -12.0968489 | -77.0025540 | PHD06 |
| 16 | -12.0503686 | -77.0984421 | PHD08 |
| 17 | -12.1024847 | -77.0224865 | PHD12 |
| 18 | -12.0797146 | -76.9921407 | PHD16 |

La solución para el día viernes – Grupo 2 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.16 Solución Ruteo Día Viernes - Grupo 2

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – PHD16 - KFC03 - PHD06 - BK59 - KFC05 - KFC101 - KFC42 - PHD12
- KFC83 - KFC68 - PH07 - KFC04 - KFC45 - BK07 - PH27 - BK04 - PHD03 -
PHD08 - PLANTA.

La distancia óptima por recorrer por el transporte para el grupo 2 del día Viernes es de 44.556 kilómetros.

- **Grupo 3**

Tabla 5.12 Nodos y coordenadas – Reparto día viernes (Grupo 3)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|--------------|--------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -11.96958947 | -77.00506866 | KFC103 |
| 2 | -12.02216209 | -77.10911294 | KFC128 |
| 3 | -11.93257618 | -77.04537640 | KFC40 |
| 4 | -12.09028409 | -77.02147950 | KFC43 |
| 5 | -12.04850367 | -77.11169840 | KFC58 |
| 6 | -12.07311053 | -77.04994736 | KFC66 |
| 7 | -12.02527614 | -76.99941785 | KFC86 |
| 8 | -11.93257618 | -77.04537640 | PH33 |
| 9 | -11.99210541 | -77.07172273 | PHD20 |
| 10 | -12.01587489 | -77.09695258 | PHD27 |
| 11 | -11.98562878 | -77.00644829 | PHD28 |

La solución para el día viernes – Grupo 3 viene dado por:

| NodoID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.17 Solución Ruteo Día Viernes - Grupo 3

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – KFC128 - KFC58 - KFC66 - KFC43 - KFC86 - PHD28 - KFC103 - KFC40 - PH33 - PHD20 - PHD27 - PLANTA.

La distancia óptima por recorrer por el transporte para el grupo 3 del día Viernes es de 46.471 kilómetros.

SÁBADO: 32 NODOS

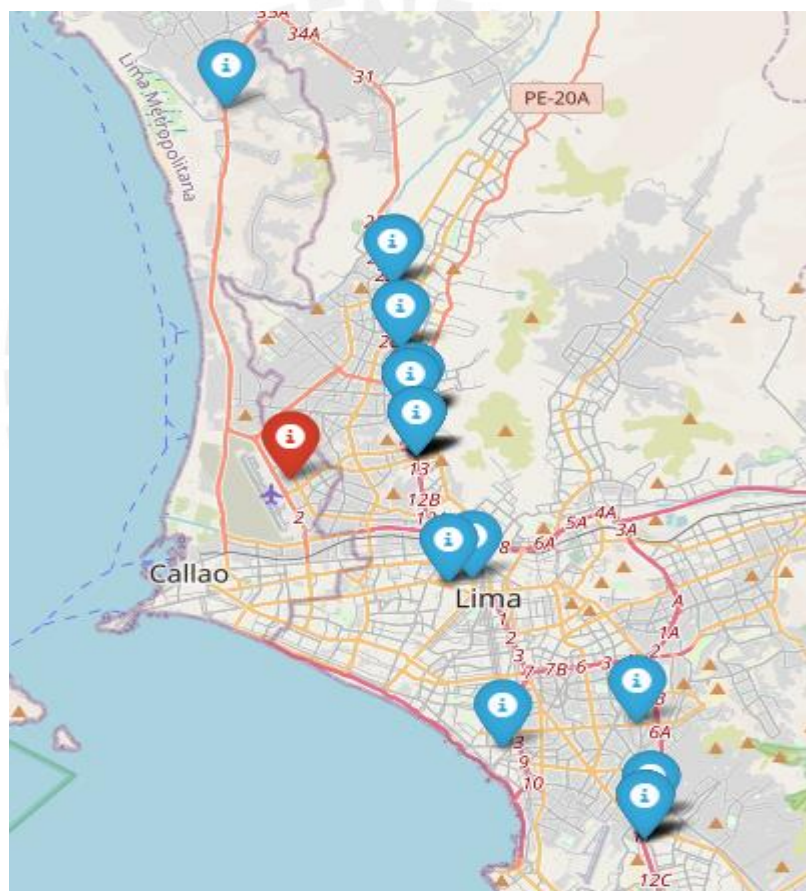


Figura 5.18 Gráfica de nodos – Día Reparto Sábado

Fuente: Elaboración propia

Las distancias entre los nodos se pueden encontrar en el Anexo 1.1, donde se colocan las coordenadas de los nodos que se visitan de manera diaria y la matriz de viajes a considerar.

Información por ingresar al modelo:

Debido a que los sábados presenta una cantidad considerable de nodos que serían imposibles de realizar en un solo turno, se decide optimizar el tiempo y dividirlo en 2 grupos, teniendo en cuenta que el primer grupo corresponde al transporte de madrugada que tiene personal en tienda desde la mañana y el segundo grupo es el transporte de mañana que tiene personal en tienda desde la mañana.

- **Grupo 1**

Tabla 5.13 Nodos y coordenadas – Reparto día sábado (Grupo 1)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|--------------|--------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -11.99170991 | -77.06349306 | BK17 |
| 2 | -12.00626617 | -77.06120782 | BK58 |
| 3 | -12.15427070 | -76.98303572 | BK70 |
| 4 | -11.99170991 | -77.06349306 | CH07 |
| 5 | -12.00626617 | -77.06120782 | CH20 |
| 6 | -12.15427070 | -76.98303572 | CH21 |
| 7 | -12.15427070 | -76.98303572 | KFC117 |
| 8 | -11.99170991 | -77.06349306 | KFC122 |
| 9 | -12.00626617 | -77.06120782 | KFC124 |
| 10 | -12.00626617 | -77.06120782 | KFC138 |
| 11 | -11.99170991 | -77.06349306 | KFC29 |
| 12 | -11.99170991 | -77.06349306 | KFC30 |
| 13 | -12.00626617 | -77.06120782 | KFC75 |
| 14 | -11.99170991 | -77.06349306 | PH23 |
| 15 | -11.99170991 | -77.06349306 | PH24 |
| 16 | -12.00626617 | -77.06120782 | PH58 |
| 17 | -12.15427070 | -76.98303572 | PH66 |

La solución para el día sábado – Grupo 1 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.19 Solución Ruteo Día Sábado - Grupo 1

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA – PH23 - KFC29 - CH07 - KFC122 - PH24 - KFC30 - BK17 - KFC124 - KFC75 - BK58 - PH58 - CH20 - KFC138 - CH21 - KFC117 - PH66 - BK70 - PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 45.731 kilómetros.

- **Grupo 2**

Tabla 5.14 Nodos y coordenadas – Reparto día sábado (Grupo 2)

| Nodo | Latitud | Longitud | Nombre |
|------|--------------|--------------|--------|
| 0 | -12.01568 | -77.10498 | PLANTA |
| 1 | -11.98964734 | -77.06253949 | BK40 |

| | | | |
|----|--------------|--------------|--------|
| 2 | -12.11915792 | -77.03174896 | CH10 |
| 3 | -11.87242410 | -77.12667557 | KFC116 |
| 4 | -12.05530275 | -77.05068387 | KFC120 |
| 5 | -11.98964734 | -77.06253949 | KFC28 |
| 6 | -12.14680886 | -76.98144862 | KFC50 |
| 7 | -12.05382204 | -77.04262171 | KFC62 |
| 8 | -11.94041636 | -77.06948673 | KFC80 |
| 9 | -11.96527304 | -77.06702654 | KFC95 |
| 10 | -12.11012575 | -76.98567185 | MT05 |
| 11 | -11.98964734 | -77.06253949 | PH26 |
| 12 | -12.14680886 | -76.98144862 | PH37 |
| 13 | -11.94018695 | -77.06931519 | PH71 |
| 14 | -11.96521105 | -77.06703494 | PHD18 |
| 15 | -12.05530275 | -77.05068387 | PHD25 |

La solución para el día sábado – Grupo 2 viene dado por:

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.20 Solución Ruteo Día Sábado - Grupo 2

Fuente: Modelo Python – TSPdocplex

La ruta óptima viene a ser:

PLANTA - PHD25 - KFC120 - CH10 - KFC50 - PH37 - MT05 - KFC62 - BK40 - KFC28 - PH26 - KFC95 - PHD18 - KFC80 - PH71 - KFC116 - PLANTA.

La distancia óptima para recorrer por el transporte es de 72.851 kilómetros.

5.2. Resultados económicos del ruteo

Realizando una comparación entre el ruteo actual de la empresa, y el propuesto, se puede notar una eficiencia en temas de distancias y por tanto, en costos, presentando el siguiente comparativo y el ahorro esperado debido al modelamiento:

SITUACIÓN ACTUAL

Tabla 5.15 Costos actuales transporte (sin ruteo de recojo optimizado)

| Día de la semana | Nodos_Total | Kilómetros |
|-----------------------|-------------|------------------|
| Lunes | 7 | 53.572 |
| Martes | 49 | 384.000 |
| Miércoles | 33 | 326.000 |
| Jueves | 42 | 331.000 |
| Viernes | 42 | 331.000 |
| Sábado | 32 | 378.000 |
| | | 1803.572 |
| Costo Soles/Km | S/ | 8.33 |
| Costo Total | S/ | 15,029.77 |

SITUACIÓN MEJORADA

Tabla 5.16 Costos Futuros transporte (con ruteo de recojo optimizado)

| Día de la semana | Nodos_Total | Grupo | Nodos_grupo | Kilómetros |
|------------------|-------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| Lunes | 7 | 1 | 7 | 34.724 |
| Martes | 49 | 1 | 17 | 37.996 |
| | | 2 | 16 | 51.188 |
| | | 3 | 16 | 76.134 |
| Miércoles | 33 | 1 | 17 | 89.988 |
| | | 2 | 16 | 87.303 |
| Jueves | 42 | 1 | 11 | 47.165 |
| | | 2 | 18 | 59.593 |
| | | 3 | 13 | 49.399 |
| Viernes | 42 | 1 | 13 | 39.358 |
| | | 2 | 18 | 44.556 |
| | | 3 | 11 | 46.471 |
| Sábado | 32 | 1 | 17 | 45.731 |
| | | 2 | 15 | 72.851 |
| | | | | 782.457 |
| | | Costo Soles/Km | S/ 8.33 | |
| | | Costo Total | S/ 6,520.48 | |

Como se puede observar, existe un ahorro considerable de costos en lo que respecta al modelo logístico de recojo de aceite de los restaurantes hacia la planta de procesamiento.

Tabla 5. 17 Ahorro monetizado y porcentual para el transporte de la red de logística inversa

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Costo actual | S/ 15,029.77 |
| Costo mejorado | S/ 6,520.48 |
| Ahorro | S/ 8,509.29 |
| Ahorro % | 57% |

Entonces, se puede observar que las unidades de transporte harían un menor recorrido y que incluso se utilizarían menos furgones de traslado, y que el ahorro generado puede ser invertido en otro requerimiento que la empresa necesite para mejorar sus procesos.

CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Del modelo de ruteo planteado, se puede observar que existe una gran oportunidad de ahorro al momento de optimizar las rutas de los transportes, ya que existen días y horarios definidos por los centros comerciales en donde se encuentran los restaurantes para poder agrupar la flota de camiones y calcular la menor distancia a recorrer posible.
- El modelo de programación que se plantea ayuda inclusive en casos más complejos donde se requiera colocar mayores variables como la demanda en cada punto y la cantidad de unidades de transporte a considerar.
- Este modelo de logística inversa ayuda a que además de ahorrar en término de costos, también se logre contaminar en menor medida el ambiente al emitir menor cantidad de CO₂, ya que se requerirá de un menor número de unidades.
- La economía circular está en auge y este modelo logístico ayuda a demostrar que recogiendo todos los desperdicios de aceite que cada restaurante logra trabajar durante su jornada diaria, esta puede ser procesada para convertirse en un eco combustible que puede finalmente volver a servir al cliente dentro de su proceso de fabricación (en caso el cliente tenga calderas). También se puede vender este aceite reciclado a otro tipo de clientes que requieran de este combustible. Asimismo, esto ayuda a que el nivel de contaminación del agua se vea disminuido debido al ejercicio de la industria de alimentos.
- Las empresas que puedan utilizar este modelo de ruteo para el recojo de sus desperdicios (aceites comestibles usados), podrán ver esta alternativa mucho más eficiente y lucrativa en comparación a dejar que sus clientes viertan estos residuos contaminantes a las fuentes de agua.
- Es necesario antes de empezar a modelar el ruteo, tener en cuenta cuáles son las variables por considerar, ya que muchas veces se pueden tener limitantes en temas de horario, días de disponibilidad de los centros comerciales, capacidad del transporte, etc.

6.2. RECOMENDACIONES

- Como recomendación, se busca seguir optimizando la clusterización de clientes, si bien se han dividido en grupo debido a los días en que los centros comerciales admiten al transporte, también se puede dividir teniendo en cuenta otros criterios, ello con el fin de seguir optimizando las rutas.
- Además del cálculo de rutas, es posible que se promocióne este tipo de prácticas para las demás industrias similares o quizás con otro tipo de residuos igual de reciclable que el aceite, y que pueda ser reutilizado, todo ello viene a dar una mejora en costos y una mejor imagen frente a los consumidores finales.
- Se debe ver a la logística inversa como una oportunidad de mejora y no solo como el gasto de recoger mercadería que el cliente desecha, ello siempre resulta provechoso para las industrias y para la optimización de procesos.
- Se debe incentivar la negociación con los centros comerciales, ya que los restaurantes que se encuentran de ellos al mejorar sus costos de transporte, pueden trasladar el ahorro a otro tipo de costo que ayude a incentivar la venta y traiga beneficios para ambas partes.
- Se recomienda seguir explorando diversos métodos de ruteo no solo para industria del aceite, sino para otros tipos de insumos que puedan ser reutilizados para la fabricación de ecocombustible, con ello no solo se incentiva al recojo de insumos utilizados sino también a que las empresas utilicen combustibles más amigables con el medio ambiente y generen menor cantidad de emisiones de CO₂ al medio ambiente.

-

BIBLIOGRAFÍA

- 21, P. (s.f.). Obtenido de <https://peru21.pe/lima/san-borja-proyecto-municipal-convierte-aceite-casero-usado-biodiesel-nndc-424631-noticia/?ref=p21r>
- Alvarado Ayala, M., Argueta Rivas, S., & Fuentes Trujillo, C. (2008). *Diseño de un modelo de logística inversa para mejorar la competitividad de las empresas del sector farmacéutico en El Salvador*.
- Ayad Turkey, I. Moser, and Aldeida Aleti (2017). *An Iterated Local Search with Guided Perturbation for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows and Three-Dimensional Loading Constraints*. Springer International Publishing.
- Balli, B. (s.f.). Obtenido de <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Archivos/la%20logistica%20reversa%20o%20inversa%20basilio%20balli.pdf>
- Behrouz Afshar-Nadjafi, Alireza Afshar-Nadjafi (2014). *A constructive heuristic for time-depedent multi-depot vehicle routing problem with time-windows and heterogeneus fleet*. Elsevier B. V.
- Editora Perú. (2015). *Agencia Andina*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-pure-biofuels-inauguro-planta-producira-52-millones-galones-biodiesel-ano-189490.aspx>
- Editora Perú. (2015). *Agencia Andina*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-pure-biofuels-inauguro-planta-producira-52-millones-galones-biodiesel-ano-189490.aspx>
- Fundación, A. (s.f.). Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/15/05/26/que-verter-litro-aceite-usado-contamina-1000-litros-agua-potable>
- Gutiérrez, J. (s.f.). *Repositorio UPC*. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625643/Guti%C3%A9rrez_sj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ingeniería, R. F. (s.f.). *Waste cooking oil logistics and environmental assessment for Biodiesel*.

Logística Mexico. (s.f.). Obtenido de <http://m.logisticamx.enfasis.com/notas/3605-el-ruteo-inteligente>

López, B. S. (s.f.). *Ingeniería Industrial online.com*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/algorithmo-de-la-ruta-mas-corta/>

Mujica, S. (2018). Sustentos para que los aceites comestibles residuales (ACR). *Espacio y Desarrollo*, 125-136.

Peruano, E. (s.f.). Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/regulan-el-manejo-ambiental-sostenible-de-aceites-lubricant-ordenanza-n-475mc-1395740-1/>

Recoleccion ACV. (s.f.). *Recoleccion ACV*. Obtenido de <https://www.greenfuel.com.co/recoleccion-acu>

RP AMBIENTAL. (s.f.). *Reciclados Peruanos*. Obtenido de <http://www.rpambiental.pe/noti-4.html>

Simchi-Levi, K. S.-L. (2008). *Diseño y Gestión de la Cadena de Suministro*. New York: McGraw-Hill.

Suarez-Chilma, Victor F.; Sarache, William A. y Yasel J. Costa (2018). *Una Solución al Enrutamiento de Vehículos en Ciudades Montañosas Considerando Aspectos Ambientales y Económicos*. Información tecnológica Vol.29.

Yingcheng Xu, Li Wang, Yuexiang Yang (2012). *A New Variable Neighborhood Search Algorithm for the Multi Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Elsevier B. V.

Yusuf Yilmaz and Can B. Kalayci (2022). Variable Neighborhood Search Algorithms to Solve the Electric Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery. *Mathematics* 2022.

Zucatto, L. C., Welle, I., & Nunes Da Silva, T. (2013). *Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais*. *Revista de Administração de Empresas*.



ANEXOS

1. MATRIZ DE DISTANCIAS

1.1. DISTANCIAS ENTRE LOS NODOS DE LOS RESTAURANTES POR DÍA

LUNES

| NodeID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 0 | - | 8.52 | 8.52 | 5.84 | 8.52 | 11.04 | 3.89 | 8.52 |
| 1 | 8.52 | - | - | 3.90 | - | 13.72 | 6.61 | - |
| 2 | 8.52 | - | - | 3.90 | - | 13.72 | 6.61 | - |
| 3 | 5.84 | 3.90 | 3.90 | - | 3.90 | 10.07 | 2.86 | 3.90 |
| 4 | 8.52 | - | - | 3.90 | - | 13.72 | 6.61 | - |
| 5 | 11.04 | 13.72 | 13.72 | 10.07 | 13.72 | - | 8.42 | 13.72 |
| 6 | 3.89 | 6.61 | 6.61 | 2.86 | 6.61 | 8.42 | - | 6.61 |
| 7 | 8.52 | - | - | 3.90 | - | 13.72 | 6.61 | - |

MARTES

GRUPO 1

| Nod eID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|
| 0 | - | 10.95 | 8.55 | 10.23 | 16.01 | 8.62 | 12.39 | 7.93 | 7.44 | 7.79 | 8.67 | 8.71 | 12.39 | 7.81 | 7.79 | 8.10 | 10.95 | 10.22 |
| 1 | 10.95 | - | 4.51 | 1.56 | 5.09 | 4.77 | 2.93 | 3.08 | 3.73 | 4.67 | 5.00 | 4.38 | 2.92 | 3.17 | 4.67 | 2.86 | 0.04 | 1.55 |
| 2 | 8.55 | 4.51 | - | 3.00 | 8.51 | 0.31 | 4.25 | 3.80 | 4.38 | 6.18 | 0.57 | 0.18 | 4.26 | 3.64 | 6.18 | 3.39 | 4.54 | 3.00 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3 | 10.23 | 1.56 | 3.00 | - | 5.88 | 3.25 | 2.38 | 2.88 | 3.65 | 5.08 | 3.47 | 2.86 | 2.38 | 2.87 | 5.08 | 2.48 | 1.59 | 0.02 |
| 4 | 16.01 | 5.09 | 8.51 | 5.88 | - | 8.66 | 4.37 | 8.17 | 8.80 | 9.44 | 8.80 | 8.33 | 4.36 | 8.26 | 9.44 | 7.94 | 5.09 | 5.89 |
| 5 | 8.62 | 4.77 | 0.31 | 3.25 | 8.66 | - | 4.36 | 4.11 | 4.67 | 6.48 | 0.26 | 0.39 | 4.37 | 3.94 | 6.48 | 3.69 | 4.80 | 3.25 |
| 6 | 12.39 | 2.93 | 4.25 | 2.38 | 4.37 | 4.36 | - | 5.26 | 6.03 | 7.36 | 4.48 | 4.07 | 0.02 | 5.26 | 7.36 | 4.86 | 2.97 | 2.40 |
| 7 | 7.93 | 3.08 | 3.80 | 2.88 | 8.17 | 4.11 | 5.26 | - | 0.77 | 2.44 | 4.36 | 3.79 | 5.26 | 0.20 | 2.44 | 0.46 | 3.08 | 2.87 |
| 8 | 7.44 | 3.73 | 4.38 | 3.65 | 8.80 | 4.67 | 6.03 | 0.77 | - | 1.81 | 4.91 | 4.39 | 6.02 | 0.83 | 1.81 | 1.21 | 3.73 | 3.63 |
| 9 | 7.79 | 4.67 | 6.18 | 5.08 | 9.44 | 6.48 | 7.36 | 2.44 | 1.81 | - | 6.72 | 6.19 | 7.35 | 2.57 | 0.00 | 2.89 | 4.65 | 5.06 |
| 10 | 8.67 | 5.00 | 0.57 | 3.47 | 8.80 | 0.26 | 4.48 | 4.36 | 4.91 | 6.72 | - | 0.64 | 4.49 | 4.20 | 6.72 | 3.95 | 5.04 | 3.47 |
| 11 | 8.71 | 4.38 | 0.18 | 2.86 | 8.33 | 0.39 | 4.07 | 3.79 | 4.39 | 6.19 | 0.64 | - | 4.08 | 3.64 | 6.19 | 3.37 | 4.41 | 2.86 |
| 12 | 12.39 | 2.92 | 4.26 | 2.38 | 4.36 | 4.37 | 0.02 | 5.26 | 6.02 | 7.35 | 4.49 | 4.08 | - | 5.25 | 7.35 | 4.86 | 2.95 | 2.39 |
| 13 | 7.81 | 3.17 | 3.64 | 2.87 | 8.26 | 3.94 | 5.26 | 0.20 | 0.83 | 2.57 | 4.20 | 3.64 | 5.25 | - | 2.57 | 0.39 | 3.17 | 2.86 |
| 14 | 7.79 | 4.67 | 6.18 | 5.08 | 9.44 | 6.48 | 7.36 | 2.44 | 1.81 | 0.00 | 6.72 | 6.19 | 7.35 | 2.57 | - | 2.89 | 4.65 | 5.06 |
| 15 | 8.10 | 2.86 | 3.39 | 2.48 | 7.94 | 3.69 | 4.86 | 0.46 | 1.21 | 2.89 | 3.95 | 3.37 | 4.86 | 0.39 | 2.89 | - | 2.86 | 2.47 |
| 16 | 10.95 | 0.04 | 4.54 | 1.59 | 5.09 | 4.80 | 2.97 | 3.08 | 3.73 | 4.65 | 5.04 | 4.41 | 2.95 | 3.17 | 4.65 | 2.86 | - | 1.58 |
| 17 | 10.22 | 1.55 | 3.00 | 0.02 | 5.89 | 3.25 | 2.40 | 2.87 | 3.63 | 5.06 | 3.47 | 2.86 | 2.39 | 2.86 | 5.06 | 2.47 | 1.58 | - |

GRUPO 2

| Nod eID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 15.88 | 14.60 | 8.44 | 15.88 | 7.23 | 14.60 | 7.31 | 8.46 | 9.56 | 15.88 | 11.22 | 14.60 | 15.88 | 15.88 | 11.22 | 14.60 |
| 1 | 15.88 | - | 4.83 | 7.90 | - | 11.64 | 4.83 | 11.43 | 7.89 | 18.27 | - | 4.67 | 4.83 | - | - | 4.67 | 4.83 |
| 2 | 14.60 | 4.83 | - | 6.22 | 4.83 | 8.61 | - | 8.41 | 6.20 | 19.50 | 4.83 | 5.17 | - | 4.83 | 4.83 | 5.17 | - |
| 3 | 8.44 | 7.90 | 6.22 | - | 7.90 | 4.16 | 6.22 | 3.96 | 0.03 | 13.93 | 7.90 | 3.55 | 6.22 | 7.90 | 7.90 | 3.55 | 6.22 |
| 4 | 15.88 | - | 4.83 | 7.90 | - | 11.64 | 4.83 | 11.43 | 7.89 | 18.27 | - | 4.67 | 4.83 | - | - | 4.67 | 4.83 |
| 5 | 7.23 | 11.64 | 8.61 | 4.16 | 11.64 | - | 8.61 | 0.21 | 4.15 | 15.29 | 11.64 | 7.66 | 8.61 | 11.64 | 11.64 | 7.66 | 8.61 |
| 6 | 14.60 | 4.83 | - | 6.22 | 4.83 | 8.61 | - | 8.41 | 6.20 | 19.50 | 4.83 | 5.17 | - | 4.83 | 4.83 | 5.17 | - |
| 7 | 7.31 | 11.43 | 8.41 | 3.96 | 11.43 | 0.21 | 8.41 | - | 3.95 | 15.27 | 11.43 | 7.45 | 8.41 | 11.43 | 11.43 | 7.45 | 8.41 |
| 8 | 8.46 | 7.89 | 6.20 | 0.03 | 7.89 | 4.15 | 6.20 | 3.95 | - | 13.96 | 7.89 | 3.55 | 6.20 | 7.89 | 7.89 | 3.55 | 6.20 |
| 9 | 9.56 | 18.27 | 19.50 | 13.93 | 18.27 | 15.29 | 19.50 | 15.27 | 13.96 | - | 18.27 | 14.50 | 19.50 | 18.27 | 18.27 | 14.50 | 19.50 |
| 10 | 15.88 | - | 4.83 | 7.90 | - | 11.64 | 4.83 | 11.43 | 7.89 | 18.27 | - | 4.67 | 4.83 | - | - | 4.67 | 4.83 |
| 11 | 11.22 | 4.67 | 5.17 | 3.55 | 4.67 | 7.66 | 5.17 | 7.45 | 3.55 | 14.50 | 4.67 | - | 5.17 | 4.67 | 4.67 | 0.00 | 5.17 |
| 12 | 14.60 | 4.83 | - | 6.22 | 4.83 | 8.61 | - | 8.41 | 6.20 | 19.50 | 4.83 | 5.17 | - | 4.83 | 4.83 | 5.17 | - |
| 13 | 15.88 | - | 4.83 | 7.90 | - | 11.64 | 4.83 | 11.43 | 7.89 | 18.27 | - | 4.67 | 4.83 | - | - | 4.67 | 4.83 |
| 14 | 15.88 | - | 4.83 | 7.90 | - | 11.64 | 4.83 | 11.43 | 7.89 | 18.27 | - | 4.67 | 4.83 | - | - | 4.67 | 4.83 |
| 15 | 11.22 | 4.67 | 5.17 | 3.55 | 4.67 | 7.66 | 5.17 | 7.45 | 3.55 | 14.50 | 4.67 | 0.00 | 5.17 | 4.67 | 4.67 | - | 5.17 |
| 16 | 14.60 | 4.83 | - | 6.22 | 4.83 | 8.61 | - | 8.41 | 6.20 | 19.50 | 4.83 | 5.17 | - | 4.83 | 4.83 | 5.17 | - |

GRUPO 3

| Nod eID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 15.43 | 20.07 | 20.07 | 8.44 | 15.43 | 4.34 | 16.94 | 10.32 | 2.10 | 15.43 | 20.07 | 20.11 | 7.29 | 7.31 | 20.07 | 19.80 |
| 1 | 15.43 | - | 6.91 | 6.91 | 7.00 | - | 11.44 | 28.32 | 20.02 | 17.40 | - | 6.91 | 7.34 | 9.97 | 9.45 | 6.91 | 7.16 |
| 2 | 20.07 | 6.91 | - | - | 12.34 | 6.91 | 16.78 | 34.65 | 26.39 | 22.16 | 6.91 | - | 0.62 | 13.15 | 12.92 | - | 0.74 |
| 3 | 20.07 | 6.91 | - | - | 12.34 | 6.91 | 16.78 | 34.65 | 26.39 | 22.16 | 6.91 | - | 0.62 | 13.15 | 12.92 | - | 0.74 |
| 4 | 8.44 | 7.00 | 12.34 | 12.34 | - | 7.00 | 4.53 | 22.44 | 14.28 | 10.40 | 7.00 | 12.34 | 12.51 | 4.60 | 3.94 | 12.34 | 12.22 |
| 5 | 15.43 | - | 6.91 | 6.91 | 7.00 | - | 11.44 | 28.32 | 20.02 | 17.40 | - | 6.91 | 7.34 | 9.97 | 9.45 | 6.91 | 7.16 |
| 6 | 4.34 | 11.44 | 16.78 | 16.78 | 4.53 | 11.44 | - | 18.36 | 10.51 | 6.07 | 11.44 | 16.78 | 16.91 | 5.69 | 5.31 | 16.78 | 16.62 |
| 7 | 16.94 | 28.32 | 34.65 | 34.65 | 22.44 | 28.32 | 18.36 | - | 8.31 | 15.30 | 28.32 | 34.65 | 34.88 | 23.69 | 23.48 | 34.65 | 34.61 |
| 8 | 10.32 | 20.02 | 26.39 | 26.39 | 14.28 | 20.02 | 10.51 | 8.31 | - | 9.39 | 20.02 | 26.39 | 26.64 | 16.11 | 15.80 | 26.39 | 26.37 |
| 9 | 2.10 | 17.40 | 22.16 | 22.16 | 10.40 | 17.40 | 6.07 | 15.30 | 9.39 | - | 17.40 | 22.16 | 22.20 | 9.36 | 9.40 | 22.16 | 21.89 |
| 10 | 15.43 | - | 6.91 | 6.91 | 7.00 | - | 11.44 | 28.32 | 20.02 | 17.40 | - | 6.91 | 7.34 | 9.97 | 9.45 | 6.91 | 7.16 |
| 11 | 20.07 | 6.91 | - | - | 12.34 | 6.91 | 16.78 | 34.65 | 26.39 | 22.16 | 6.91 | - | 0.62 | 13.15 | 12.92 | - | 0.74 |
| 12 | 20.11 | 7.34 | 0.62 | 0.62 | 12.51 | 7.34 | 16.91 | 34.88 | 26.64 | 22.20 | 7.34 | 0.62 | - | 13.11 | 12.90 | 0.62 | 0.32 |
| 13 | 7.29 | 9.97 | 13.15 | 13.15 | 4.60 | 9.97 | 5.69 | 23.69 | 16.11 | 9.36 | 9.97 | 13.15 | 13.11 | - | 0.66 | 13.15 | 12.79 |
| 14 | 7.31 | 9.45 | 12.92 | 12.92 | 3.94 | 9.45 | 5.31 | 23.48 | 15.80 | 9.40 | 9.45 | 12.92 | 12.90 | 0.66 | - | 12.92 | 12.59 |
| 15 | 20.07 | 6.91 | - | - | 12.34 | 6.91 | 16.78 | 34.65 | 26.39 | 22.16 | 6.91 | - | 0.62 | 13.15 | 12.92 | - | 0.74 |
| 16 | 19.80 | 7.16 | 0.74 | 0.74 | 12.22 | 7.16 | 16.62 | 34.61 | 26.37 | 21.89 | 7.16 | 0.74 | 0.32 | 12.79 | 12.59 | 0.74 | - |

MIÉRCOLES

GRUPO 1

| Nod eID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 12.35 | 18.09 | 15.22 | 15.25 | 23.85 | 15.55 | 19.57 | 20.33 | 12.35 | 15.24 | 32.68 | 15.25 | 12.35 | 15.18 | 15.25 | 15.55 | 22.18 |
| 1 | 12.35 | - | 5.76 | 4.12 | 7.26 | 17.61 | 7.54 | 7.28 | 8.05 | - | 4.15 | 20.55 | 7.26 | - | 4.19 | 7.26 | 7.53 | 9.87 |
| 2 | 18.09 | 5.76 | - | 4.98 | 8.09 | 16.59 | 8.17 | 2.23 | 2.90 | 5.76 | 5.00 | 15.22 | 8.09 | 5.76 | 5.13 | 8.09 | 8.16 | 4.39 |
| 3 | 15.22 | 4.12 | 4.98 | - | 10.54 | 20.42 | 10.75 | 5.12 | 5.75 | 4.12 | 0.03 | 17.53 | 10.54 | 4.12 | 0.16 | 10.54 | 10.74 | 7.60 |
| 4 | 15.25 | 7.26 | 8.09 | 10.54 | - | 10.40 | 0.32 | 10.31 | 10.91 | 7.26 | 10.57 | 22.36 | - | 7.26 | 10.66 | - | 0.31 | 12.01 |
| 5 | 23.85 | 17.61 | 16.59 | 20.42 | 10.40 | - | 10.11 | 18.45 | 18.76 | 17.61 | 20.45 | 26.91 | 10.40 | 17.61 | 20.56 | 10.40 | 10.12 | 18.99 |
| 6 | 15.55 | 7.54 | 8.17 | 10.75 | 0.32 | 10.11 | - | 10.38 | 10.98 | 7.54 | 10.78 | 22.31 | 0.32 | 7.54 | 10.88 | 0.32 | 0.01 | 12.02 |
| 7 | 19.57 | 7.28 | 2.23 | 5.12 | 10.31 | 18.45 | 10.38 | - | 0.78 | 7.28 | 5.13 | 13.31 | 10.31 | 7.28 | 5.25 | 10.31 | 10.37 | 2.62 |
| 8 | 20.33 | 8.05 | 2.90 | 5.75 | 10.91 | 18.76 | 10.98 | 0.78 | - | 8.05 | 5.75 | 12.53 | 10.91 | 8.05 | 5.86 | 10.91 | 10.97 | 1.88 |
| 9 | 12.35 | - | 5.76 | 4.12 | 7.26 | 17.61 | 7.54 | 7.28 | 8.05 | - | 4.15 | 20.55 | 7.26 | - | 4.19 | 7.26 | 7.53 | 9.87 |
| 10 | 15.24 | 4.15 | 5.00 | 0.03 | 10.57 | 20.45 | 10.78 | 5.13 | 5.75 | 4.15 | - | 17.52 | 10.57 | 4.15 | 0.13 | 10.57 | 10.77 | 7.60 |
| 11 | 32.68 | 20.55 | 15.22 | 17.53 | 22.36 | 26.91 | 22.31 | 13.31 | 12.53 | 20.55 | 17.52 | - | 22.36 | 20.55 | 17.59 | 22.36 | 22.30 | 10.83 |
| 12 | 15.25 | 7.26 | 8.09 | 10.54 | - | 10.40 | 0.32 | 10.31 | 10.91 | 7.26 | 10.57 | 22.36 | - | 7.26 | 10.66 | - | 0.31 | 12.01 |
| 13 | 12.35 | - | 5.76 | 4.12 | 7.26 | 17.61 | 7.54 | 7.28 | 8.05 | - | 4.15 | 20.55 | 7.26 | - | 4.19 | 7.26 | 7.53 | 9.87 |
| 14 | 15.18 | 4.19 | 5.13 | 0.16 | 10.66 | 20.56 | 10.88 | 5.25 | 5.86 | 4.19 | 0.13 | 17.59 | 10.66 | 4.19 | - | 10.66 | 10.87 | 7.71 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 15 | 15.25 | 7.26 | 8.09 | 10.54 | - | 10.40 | 0.32 | 10.31 | 10.91 | 7.26 | 10.57 | 22.36 | - | 7.26 | 10.66 | - | 0.31 | 12.01 |
| 16 | 15.55 | 7.53 | 8.16 | 10.74 | 0.31 | 10.12 | 0.01 | 10.37 | 10.97 | 7.53 | 10.77 | 22.30 | 0.31 | 7.53 | 10.87 | 0.31 | - | 12.02 |
| 17 | 22.18 | 9.87 | 4.39 | 7.60 | 12.01 | 18.99 | 12.02 | 2.62 | 1.88 | 9.87 | 7.60 | 10.83 | 12.01 | 9.87 | 7.71 | 12.01 | 12.02 | - |

GRUPO 2

| Nod eID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 13.06 | 15.07 | 15.25 | 17.20 | 38.24 | 25.45 | 31.93 | 15.35 | 17.47 | 15.87 | 21.80 | 17.99 | 9.29 | 15.88 | 17.46 | 9.99 |
| 1 | 13.06 | - | 5.18 | 5.60 | 4.15 | 25.51 | 12.62 | 19.22 | 5.68 | 4.42 | 6.34 | 9.26 | 5.02 | 5.94 | 6.36 | 4.41 | 5.31 |
| 2 | 15.07 | 5.18 | - | 10.53 | 6.07 | 23.48 | 11.17 | 17.25 | 10.60 | 6.38 | 11.21 | 7.33 | 7.24 | 5.86 | 11.22 | 6.37 | 5.11 |
| 3 | 15.25 | 5.60 | 10.53 | - | 6.03 | 26.46 | 14.09 | 20.46 | 0.11 | 6.00 | 0.78 | 11.85 | 5.71 | 10.90 | 0.80 | 5.99 | 10.45 |
| 4 | 17.20 | 4.15 | 6.07 | 6.03 | - | 21.62 | 8.78 | 15.38 | 6.05 | 0.33 | 6.45 | 5.94 | 1.18 | 9.60 | 6.47 | 0.32 | 8.86 |
| 5 | 38.24 | 25.51 | 23.48 | 26.46 | 21.62 | - | 12.88 | 6.31 | 26.42 | 21.44 | 26.43 | 16.44 | 21.25 | 29.30 | 26.44 | 21.45 | 28.52 |
| 6 | 25.45 | 12.62 | 11.17 | 14.09 | 8.78 | 12.88 | - | 6.61 | 14.07 | 8.63 | 14.21 | 3.84 | 8.54 | 16.76 | 14.22 | 8.64 | 15.97 |
| 7 | 31.93 | 19.22 | 17.25 | 20.46 | 15.38 | 6.31 | 6.61 | - | 20.43 | 15.22 | 20.50 | 10.13 | 15.08 | 23.03 | 20.51 | 15.23 | 22.25 |
| 8 | 15.35 | 5.68 | 10.60 | 0.11 | 6.05 | 26.42 | 14.07 | 20.43 | - | 6.01 | 0.68 | 11.86 | 5.71 | 11.01 | 0.69 | 6.01 | 10.55 |
| 9 | 17.47 | 4.42 | 6.38 | 6.00 | 0.33 | 21.44 | 8.63 | 15.22 | 6.01 | - | 6.38 | 5.90 | 0.87 | 9.92 | 6.40 | 0.01 | 9.18 |
| 10 | 15.87 | 6.34 | 11.21 | 0.78 | 6.45 | 26.43 | 14.21 | 20.50 | 0.68 | 6.38 | - | 12.16 | 6.00 | 11.68 | 0.02 | 6.37 | 11.23 |
| 11 | 21.80 | 9.26 | 7.33 | 11.85 | 5.94 | 16.44 | 3.84 | 10.13 | 11.86 | 5.90 | 12.16 | - | 6.16 | 12.97 | 12.18 | 5.91 | 12.18 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 12 | 17.99 | 5.02 | 7.24 | 5.71 | 1.18 | 21.25 | 8.54 | 15.08 | 5.71 | 0.87 | 6.00 | 6.16 | - | 10.68 | 6.02 | 0.87 | 9.95 |
| 13 | 9.29 | 5.94 | 5.86 | 10.90 | 9.60 | 29.30 | 16.76 | 23.03 | 11.01 | 9.92 | 11.68 | 12.97 | 10.68 | - | 11.70 | 9.91 | 0.79 |
| 14 | 15.88 | 6.36 | 11.22 | 0.80 | 6.47 | 26.44 | 14.22 | 20.51 | 0.69 | 6.40 | 0.02 | 12.18 | 6.02 | 11.70 | - | 6.39 | 11.24 |
| 15 | 17.46 | 4.41 | 6.37 | 5.99 | 0.32 | 21.45 | 8.64 | 15.23 | 6.01 | 0.01 | 6.37 | 5.91 | 0.87 | 9.91 | 6.39 | - | 9.17 |
| 16 | 9.99 | 5.31 | 5.11 | 10.45 | 8.86 | 28.52 | 15.97 | 22.25 | 10.55 | 9.18 | 11.23 | 12.18 | 9.95 | 0.79 | 11.24 | 9.17 | - |

JUEVES

GRUPO 1

| Nodel D | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 18.78 | 10.00 | 14.33 | 10.00 | 20.53 | 18.80 | 11.46 | 10.00 | 13.56 | 18.80 | 20.54 |
| 1 | 18.78 | - | 11.11 | 9.58 | 11.11 | 2.51 | 0.07 | 7.95 | 11.11 | 9.84 | 0.06 | 2.52 |
| 2 | 10.00 | 11.11 | - | 4.33 | - | 13.46 | 11.15 | 7.61 | - | 3.57 | 11.15 | 13.46 |
| 3 | 14.33 | 9.58 | 4.33 | - | 4.33 | 12.09 | 9.63 | 9.62 | 4.33 | 0.77 | 9.63 | 12.09 |
| 4 | 10.00 | 11.11 | - | 4.33 | - | 13.46 | 11.15 | 7.61 | - | 3.57 | 11.15 | 13.46 |
| 5 | 20.53 | 2.51 | 13.46 | 12.09 | 13.46 | - | 2.45 | 9.25 | 13.46 | 12.35 | 2.46 | 0.01 |
| 6 | 18.80 | 0.07 | 11.15 | 9.63 | 11.15 | 2.45 | - | 7.94 | 11.15 | 9.90 | 0.00 | 2.46 |
| 7 | 11.46 | 7.95 | 7.61 | 9.62 | 7.61 | 9.25 | 7.94 | - | 7.61 | 9.25 | 7.94 | 9.26 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 8 | 10.00 | 11.11 | - | 4.33 | - | 13.46 | 11.15 | 7.61 | - | 3.57 | 11.15 | 13.46 |
| 9 | 13.56 | 9.84 | 3.57 | 0.77 | 3.57 | 12.35 | 9.90 | 9.25 | 3.57 | - | 9.89 | 12.35 |
| 10 | 18.80 | 0.06 | 11.15 | 9.63 | 11.15 | 2.46 | 0.00 | 7.94 | 11.15 | 9.89 | - | 2.46 |
| 11 | 20.54 | 2.52 | 13.46 | 12.09 | 13.46 | 0.01 | 2.46 | 9.26 | 13.46 | 12.35 | 2.46 | - |

GRUPO 2

| No del D | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 16.71 | 15.81 | 16.42 | 16.77 | 13.54 | 15.88 | 20.95 | 18.59 | 12.69 | 18.36 | 16.77 | 15.39 | 14.24 | 20.95 | 16.94 | 20.63 | 16.71 | 16.21 |
| 1 | 16.71 | - | 7.99 | 1.10 | 0.18 | 9.28 | 9.43 | 12.70 | 2.69 | 8.98 | 6.51 | 0.21 | 9.59 | 8.70 | 12.71 | 6.14 | 10.47 | 0.01 | 7.78 |
| 2 | 15.81 | 7.99 | - | 6.89 | 7.86 | 2.66 | 1.45 | 5.88 | 10.54 | 3.26 | 3.39 | 7.82 | 1.74 | 1.77 | 5.89 | 2.36 | 4.86 | 7.97 | 0.48 |
| 3 | 16.42 | 1.10 | 6.89 | - | 0.97 | 8.25 | 8.33 | 11.65 | 3.72 | 7.99 | 5.49 | 0.93 | 8.50 | 7.64 | 11.66 | 5.05 | 9.46 | 1.09 | 6.68 |
| 4 | 16.77 | 0.18 | 7.86 | 0.97 | - | 9.18 | 9.30 | 12.54 | 2.77 | 8.90 | 6.34 | 0.04 | 9.47 | 8.60 | 12.55 | 5.99 | 10.30 | 0.16 | 7.64 |
| 5 | 13.54 | 9.28 | 2.66 | 8.25 | 9.18 | - | 2.34 | 7.48 | 11.96 | 0.94 | 5.99 | 9.15 | 1.86 | 0.90 | 7.48 | 4.77 | 7.16 | 9.27 | 3.14 |
| 6 | 15.88 | 9.43 | 1.45 | 8.33 | 9.30 | 2.34 | - | 5.21 | 11.99 | 3.21 | 4.54 | 9.26 | 0.56 | 1.73 | 5.21 | 3.72 | 4.86 | 9.41 | 1.77 |
| 7 | 20.95 | 12.70 | 5.88 | 11.65 | 12.54 | 7.48 | 5.21 | - | 14.84 | 8.39 | 6.23 | 12.50 | 5.63 | 6.94 | 0.01 | 6.68 | 2.57 | 12.69 | 5.73 |
| 8 | 18.59 | 2.69 | 10.54 | 3.72 | 2.77 | 11.96 | 11.99 | 14.84 | - | 11.66 | 8.61 | 2.80 | 12.19 | 11.36 | 14.84 | 8.52 | 12.45 | 2.70 | 10.29 |
| 9 | 12.69 | 8.98 | 3.26 | 7.99 | 8.90 | 0.94 | 3.21 | 8.39 | 11.66 | - | 6.41 | 8.87 | 2.77 | 1.56 | 8.40 | 5.09 | 7.96 | 8.97 | 3.72 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 10 | 18.36 | 6.51 | 3.39 | 5.49 | 6.34 | 5.99 | 4.54 | 6.23 | 8.61 | 6.41 | - | 6.30 | 5.00 | 5.10 | 6.24 | 1.42 | 3.97 | 6.50 | 2.92 |
| 11 | 16.77 | 0.21 | 7.82 | 0.93 | 0.04 | 9.15 | 9.26 | 12.50 | 2.80 | 8.87 | 6.30 | - | 9.44 | 8.57 | 12.51 | 5.95 | 10.26 | 0.20 | 7.60 |
| 12 | 15.39 | 9.59 | 1.74 | 8.50 | 9.47 | 1.86 | 0.56 | 5.63 | 12.19 | 2.77 | 5.00 | 9.44 | - | 1.39 | 5.63 | 4.09 | 5.40 | 9.58 | 2.14 |
| 13 | 14.24 | 8.70 | 1.77 | 7.64 | 8.60 | 0.90 | 1.73 | 6.94 | 11.36 | 1.56 | 5.10 | 8.57 | 1.39 | - | 6.94 | 3.90 | 6.40 | 8.69 | 2.25 |
| 14 | 20.95 | 12.71 | 5.89 | 11.66 | 12.55 | 7.48 | 5.21 | 0.01 | 14.84 | 8.40 | 6.24 | 12.51 | 5.63 | 6.94 | - | 6.69 | 2.58 | 12.70 | 5.74 |
| 15 | 16.94 | 6.14 | 2.36 | 5.05 | 5.99 | 4.77 | 3.72 | 6.68 | 8.52 | 5.09 | 1.42 | 5.95 | 4.09 | 3.90 | 6.69 | - | 4.77 | 6.13 | 1.95 |
| 16 | 20.63 | 10.47 | 4.86 | 9.46 | 10.30 | 7.16 | 4.86 | 2.57 | 12.45 | 7.96 | 3.97 | 10.26 | 5.40 | 6.40 | 2.58 | 4.77 | - | 10.46 | 4.53 |
| 17 | 16.71 | 0.01 | 7.97 | 1.09 | 0.16 | 9.27 | 9.41 | 12.69 | 2.70 | 8.97 | 6.50 | 0.20 | 9.58 | 8.69 | 12.70 | 6.13 | 10.46 | - | 7.76 |
| 18 | 16.21 | 7.78 | 0.48 | 6.68 | 7.64 | 3.14 | 1.77 | 5.73 | 10.29 | 3.72 | 2.92 | 7.60 | 2.14 | 2.25 | 5.74 | 1.95 | 4.53 | 7.76 | - |

GRUPO 3

| Node ID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 14.06 | 16.20 | 12.66 | 12.77 | 14.36 | 7.73 | 12.24 | 11.21 | 0.67 | 4.39 | 12.92 | 15.52 | 15.00 |
| 1 | 14.06 | - | 2.44 | 1.41 | 1.29 | 0.30 | 10.02 | 16.36 | 15.06 | 13.45 | 10.59 | 1.16 | 1.45 | 1.10 |
| 2 | 16.20 | 2.44 | - | 3.73 | 3.61 | 2.21 | 11.31 | 17.03 | 15.80 | 15.57 | 12.92 | 3.53 | 1.39 | 2.21 |
| 3 | 12.66 | 1.41 | 3.73 | - | 0.12 | 1.70 | 8.89 | 15.47 | 14.14 | 12.05 | 9.21 | 0.28 | 2.86 | 2.39 |
| 4 | 12.77 | 1.29 | 3.61 | 0.12 | - | 1.59 | 8.96 | 15.51 | 14.18 | 12.16 | 9.33 | 0.20 | 2.75 | 2.29 |
| 5 | 14.36 | 0.30 | 2.21 | 1.70 | 1.59 | - | 10.28 | 16.58 | 15.28 | 13.75 | 10.87 | 1.45 | 1.16 | 0.85 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6 | 7.73 | 10.02 | 11.31 | 8.89 | 8.96 | 10.28 | - | 7.11 | 5.74 | 7.11 | 7.89 | 9.16 | 11.26 | 11.12 |
| 7 | 12.24 | 16.36 | 17.03 | 15.47 | 15.51 | 16.58 | 7.11 | - | 1.37 | 11.85 | 14.25 | 15.71 | 17.36 | 17.43 |
| 8 | 11.21 | 15.06 | 15.80 | 14.14 | 14.18 | 15.28 | 5.74 | 1.37 | - | 10.79 | 13.00 | 14.39 | 16.09 | 16.13 |
| 9 | 0.67 | 13.45 | 15.57 | 12.05 | 12.16 | 13.75 | 7.11 | 11.85 | 10.79 | - | 4.05 | 12.31 | 14.91 | 14.40 |
| 10 | 4.39 | 10.59 | 12.92 | 9.21 | 9.33 | 10.87 | 7.89 | 14.25 | 13.00 | 4.05 | - | 9.44 | 12.02 | 11.38 |
| 11 | 12.92 | 1.16 | 3.53 | 0.28 | 0.20 | 1.45 | 9.16 | 15.71 | 14.39 | 12.31 | 9.44 | - | 2.61 | 2.11 |
| 12 | 15.52 | 1.45 | 1.39 | 2.86 | 2.75 | 1.16 | 11.26 | 17.36 | 16.09 | 14.91 | 12.02 | 2.61 | - | 0.83 |
| 13 | 15.00 | 1.10 | 2.21 | 2.39 | 2.29 | 0.85 | 11.12 | 17.43 | 16.13 | 14.40 | 11.38 | 2.11 | 0.83 | - |

VIERNES

GRUPO 1

| Node ID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 13.71 | 16.83 | 13.69 | 13.68 | 7.26 | 14.26 | 3.92 | 13.92 | 6.27 | 13.72 | 13.78 | 13.72 | 13.73 |
| 1 | 13.71 | - | 3.16 | 0.04 | 0.08 | 8.93 | 1.93 | 11.14 | 3.48 | 10.44 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.03 |
| 2 | 16.83 | 3.16 | - | 3.18 | 3.18 | 11.56 | 3.64 | 14.08 | 4.42 | 13.12 | 3.14 | 3.10 | 3.14 | 3.14 |
| 3 | 13.69 | 0.04 | 3.18 | - | 0.05 | 8.89 | 1.97 | 11.11 | 3.45 | 10.41 | 0.04 | 0.10 | 0.04 | 0.04 |
| 4 | 13.68 | 0.08 | 3.18 | 0.05 | - | 8.86 | 2.01 | 11.09 | 3.40 | 10.38 | 0.06 | 0.13 | 0.06 | 0.07 |
| 5 | 7.26 | 8.93 | 11.56 | 8.89 | 8.86 | - | 10.30 | 3.39 | 7.65 | 1.58 | 8.92 | 8.99 | 8.92 | 8.93 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6 | 14.26 | 1.93 | 3.64 | 1.97 | 2.01 | 10.30 | - | 12.12 | 5.40 | 11.74 | 1.96 | 1.91 | 1.96 | 1.95 |
| 7 | 3.92 | 11.14 | 14.08 | 11.11 | 11.09 | 3.39 | 12.12 | - | 10.62 | 2.37 | 11.15 | 11.21 | 11.15 | 11.15 |
| 8 | 13.92 | 3.48 | 4.42 | 3.45 | 3.40 | 7.65 | 5.40 | 10.62 | - | 9.23 | 3.45 | 3.50 | 3.45 | 3.46 |
| 9 | 6.27 | 10.44 | 13.12 | 10.41 | 10.38 | 1.58 | 11.74 | 2.37 | 9.23 | - | 10.44 | 10.50 | 10.44 | 10.45 |
| 10 | 13.72 | 0.03 | 3.14 | 0.04 | 0.06 | 8.92 | 1.96 | 11.15 | 3.45 | 10.44 | - | 0.07 | - | 0.01 |
| 11 | 13.78 | 0.07 | 3.10 | 0.10 | 0.13 | 8.99 | 1.91 | 11.21 | 3.50 | 10.50 | 0.07 | - | 0.07 | 0.06 |
| 12 | 13.72 | 0.03 | 3.14 | 0.04 | 0.06 | 8.92 | 1.96 | 11.15 | 3.45 | 10.44 | - | 0.07 | - | 0.01 |
| 13 | 13.73 | 0.03 | 3.14 | 0.04 | 0.07 | 8.93 | 1.95 | 11.15 | 3.46 | 10.45 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | - |

GRUPO 2

| No del D | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 7.26 | 11.30 | 16.57 | 14.27 | 10.71 | 18.39 | 18.65 | 13.72 | 11.33 | 10.84 | 11.32 | 10.58 | 7.26 | 6.27 | 14.34 | 3.92 | 13.18 | 14.19 |
| 1 | 7.26 | - | 4.58 | 11.02 | 9.23 | 4.50 | 12.59 | 12.73 | 7.90 | 4.62 | 5.62 | 5.88 | 4.44 | - | 1.59 | 9.26 | 3.39 | 7.37 | 10.16 |
| 2 | 11.30 | 4.58 | - | 6.71 | 5.41 | 1.13 | 8.12 | 8.22 | 3.64 | 0.04 | 2.81 | 2.63 | 1.28 | 4.58 | 6.15 | 5.41 | 7.74 | 3.20 | 6.99 |
| 3 | 16.57 | 11.02 | 6.71 | - | 2.44 | 6.53 | 1.89 | 2.28 | 3.13 | 6.68 | 5.76 | 5.34 | 6.58 | 11.02 | 12.60 | 2.35 | 13.68 | 3.65 | 3.92 |
| 4 | 14.27 | 9.23 | 5.41 | 2.44 | - | 4.87 | 4.33 | 4.71 | 2.02 | 5.40 | 3.67 | 3.35 | 4.88 | 9.23 | 10.77 | 0.09 | 11.59 | 2.27 | 2.15 |
| 5 | 10.71 | 4.50 | 1.13 | 6.53 | 4.87 | - | 8.12 | 8.28 | 3.40 | 1.16 | 1.76 | 1.70 | 0.16 | 4.50 | 6.08 | 4.89 | 7.35 | 2.88 | 6.21 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6 | 18.39 | 12.59 | 8.12 | 1.89 | 4.33 | 8.12 | - | 0.50 | 4.76 | 8.09 | 7.55 | 7.09 | 8.19 | 12.59 | 14.18 | 4.25 | 15.39 | 5.30 | 5.64 |
| 7 | 18.65 | 12.73 | 8.22 | 2.28 | 4.71 | 8.28 | 0.50 | - | 4.97 | 8.19 | 7.81 | 7.34 | 8.36 | 12.73 | 14.32 | 4.62 | 15.59 | 5.51 | 6.10 |
| 8 | 13.72 | 7.90 | 3.64 | 3.13 | 2.02 | 3.40 | 4.76 | 4.97 | - | 3.62 | 2.90 | 2.40 | 3.46 | 7.90 | 9.48 | 1.99 | 10.63 | 0.55 | 4.06 |
| 9 | 11.33 | 4.62 | 0.04 | 6.68 | 5.40 | 1.16 | 8.09 | 8.19 | 3.62 | - | 2.82 | 2.63 | 1.30 | 4.62 | 6.18 | 5.39 | 7.77 | 3.18 | 6.99 |
| 10 | 10.84 | 5.62 | 2.81 | 5.76 | 3.67 | 1.76 | 7.55 | 7.81 | 2.90 | 2.82 | - | 0.52 | 1.68 | 5.62 | 7.13 | 3.71 | 7.94 | 2.38 | 4.61 |
| 11 | 11.32 | 5.88 | 2.63 | 5.34 | 3.35 | 1.70 | 7.09 | 7.34 | 2.40 | 2.63 | 0.52 | - | 1.66 | 5.88 | 7.42 | 3.38 | 8.34 | 1.87 | 4.51 |
| 12 | 10.58 | 4.44 | 1.28 | 6.58 | 4.88 | 0.16 | 8.19 | 8.36 | 3.46 | 1.30 | 1.68 | 1.66 | - | 4.44 | 6.02 | 4.90 | 7.25 | 2.93 | 6.17 |
| 13 | 7.26 | - | 4.58 | 11.02 | 9.23 | 4.50 | 12.59 | 12.73 | 7.90 | 4.62 | 5.62 | 5.88 | 4.44 | - | 1.59 | 9.26 | 3.39 | 7.37 | 10.16 |
| 14 | 6.27 | 1.59 | 6.15 | 12.60 | 10.77 | 6.08 | 14.18 | 14.32 | 9.48 | 6.18 | 7.13 | 7.42 | 6.02 | 1.59 | - | 10.81 | 2.37 | 8.95 | 11.60 |
| 15 | 14.34 | 9.26 | 5.41 | 2.35 | 0.09 | 4.89 | 4.25 | 4.62 | 1.99 | 5.39 | 3.71 | 3.38 | 4.90 | 9.26 | 10.81 | - | 11.64 | 2.26 | 2.22 |
| 16 | 3.92 | 3.39 | 7.74 | 13.68 | 11.59 | 7.35 | 15.39 | 15.59 | 10.63 | 7.77 | 7.94 | 8.34 | 7.25 | 3.39 | 2.37 | 11.64 | - | 10.09 | 12.01 |
| 17 | 13.18 | 7.37 | 3.20 | 3.65 | 2.27 | 2.88 | 5.30 | 5.51 | 0.55 | 3.18 | 2.38 | 1.87 | 2.93 | 7.37 | 8.95 | 2.26 | 10.09 | - | 4.16 |
| 18 | 14.19 | 10.16 | 6.99 | 3.92 | 2.15 | 6.21 | 5.64 | 6.10 | 4.06 | 6.99 | 4.61 | 4.51 | 6.17 | 10.16 | 11.60 | 2.22 | 12.01 | 4.16 | - |

GRUPO 3

| Node D | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 0 | - | 12.02 | 0.85 | 11.29 | 12.30 | 3.72 | 8.75 | 11.53 | 11.29 | 4.47 | 0.87 | 11.23 |
| 1 | 12.02 | - | 12.74 | 6.01 | 13.54 | 14.54 | 12.50 | 6.22 | 6.01 | 7.67 | 11.24 | 1.79 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 0.85 | 12.74 | - | 12.14 | 12.17 | 2.94 | 8.57 | 11.93 | 12.14 | 5.26 | 1.50 | 11.88 |
| 3 | 11.29 | 6.01 | 12.14 | - | 17.73 | 14.77 | 15.63 | 11.46 | - | 7.21 | 10.83 | 7.26 |
| 4 | 12.30 | 13.54 | 12.17 | 17.73 | - | 10.85 | 3.64 | 7.62 | 17.73 | 12.21 | 11.65 | 11.75 |
| 5 | 3.72 | 14.54 | 2.94 | 14.77 | 10.85 | - | 7.25 | 12.48 | 14.77 | 7.63 | 3.97 | 13.41 |
| 6 | 8.75 | 12.50 | 8.57 | 15.63 | 3.64 | 7.25 | - | 7.65 | 15.63 | 9.31 | 8.16 | 10.82 |
| 7 | 11.53 | 6.22 | 11.93 | 11.46 | 7.62 | 12.48 | 7.65 | - | 11.46 | 8.69 | 10.66 | 4.47 |
| 8 | 11.29 | 6.01 | 12.14 | - | 17.73 | 14.77 | 15.63 | 11.46 | - | 7.21 | 10.83 | 7.26 |
| 9 | 4.47 | 7.67 | 5.26 | 7.21 | 12.21 | 7.63 | 9.31 | 8.69 | 7.21 | - | 3.81 | 7.14 |
| 10 | 0.87 | 11.24 | 1.50 | 10.83 | 11.65 | 3.97 | 8.16 | 10.66 | 10.83 | 3.81 | - | 10.40 |
| 11 | 11.23 | 1.79 | 11.88 | 7.26 | 11.75 | 13.41 | 10.82 | 4.47 | 7.26 | 7.14 | 10.40 | - |

SÁBADO

GRUPO 1

| Nod eID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | - | 5.24 | 4.87 | 20.33 | 5.24 | 4.87 | 20.33 | 20.33 | 5.24 | 4.87 | 4.87 | 5.24 | 5.24 | 4.87 | 5.24 | 5.24 | 4.87 | 20.33 |
| 1 | 5.24 | - | 1.64 | 20.08 | - | 1.64 | 20.08 | 20.08 | - | 1.64 | 1.64 | - | - | 1.64 | - | - | 1.64 | 20.08 |
| 2 | 4.87 | 1.64 | - | 18.52 | 1.64 | - | 18.52 | 18.52 | 1.64 | - | - | 1.64 | 1.64 | - | 1.64 | 1.64 | - | 18.52 |
| 3 | 20.33 | 20.08 | 18.52 | - | 20.08 | 18.52 | - | - | 20.08 | 18.52 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | - |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4 | 5.24 | - | 1.64 | 20.08 | - | 1.64 | 20.08 | 20.08 | - | 1.64 | 1.64 | - | - | 1.64 | - | - | 1.64 | 20.08 |
| 5 | 4.87 | 1.64 | - | 18.52 | 1.64 | - | 18.52 | 18.52 | 1.64 | - | - | 1.64 | 1.64 | - | 1.64 | 1.64 | - | 18.52 |
| 6 | 20.33 | 20.08 | 18.52 | - | 20.08 | 18.52 | - | - | 20.08 | 18.52 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | - |
| 7 | 20.33 | 20.08 | 18.52 | - | 20.08 | 18.52 | - | - | 20.08 | 18.52 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | - |
| 8 | 5.24 | - | 1.64 | 20.08 | - | 1.64 | 20.08 | 20.08 | - | 1.64 | 1.64 | - | - | 1.64 | - | - | 1.64 | 20.08 |
| 9 | 4.87 | 1.64 | - | 18.52 | 1.64 | - | 18.52 | 18.52 | 1.64 | - | - | 1.64 | 1.64 | - | 1.64 | 1.64 | - | 18.52 |
| 10 | 4.87 | 1.64 | - | 18.52 | 1.64 | - | 18.52 | 18.52 | 1.64 | - | - | 1.64 | 1.64 | - | 1.64 | 1.64 | - | 18.52 |
| 11 | 5.24 | - | 1.64 | 20.08 | - | 1.64 | 20.08 | 20.08 | - | 1.64 | 1.64 | - | - | 1.64 | - | - | 1.64 | 20.08 |
| 12 | 5.24 | - | 1.64 | 20.08 | - | 1.64 | 20.08 | 20.08 | - | 1.64 | 1.64 | - | - | 1.64 | - | - | 1.64 | 20.08 |
| 13 | 4.87 | 1.64 | - | 18.52 | 1.64 | - | 18.52 | 18.52 | 1.64 | - | - | 1.64 | 1.64 | - | 1.64 | 1.64 | - | 18.52 |
| 14 | 5.24 | - | 1.64 | 20.08 | - | 1.64 | 20.08 | 20.08 | - | 1.64 | 1.64 | - | - | 1.64 | - | - | 1.64 | 20.08 |
| 15 | 5.24 | - | 1.64 | 20.08 | - | 1.64 | 20.08 | 20.08 | - | 1.64 | 1.64 | - | - | 1.64 | - | - | 1.64 | 20.08 |
| 16 | 4.87 | 1.64 | - | 18.52 | 1.64 | - | 18.52 | 18.52 | 1.64 | - | - | 1.64 | 1.64 | - | 1.64 | 1.64 | - | 18.52 |
| 17 | 20.33 | 20.08 | 18.52 | - | 20.08 | 18.52 | - | - | 20.08 | 18.52 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | 20.08 | 20.08 | 18.52 | - |

GRUPO 2

| Nod eID | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| 0 | - | 5.45 | 13.99 | 16.10 | 7.37 | 5.45 | 19.82 | 8.00 | 9.22 | 6.96 | 16.69 | 5.45 | 19.82 | 9.25 | 6.97 | 7.37 |
| 1 | 5.45 | - | 14.79 | 14.78 | 7.41 | - | 19.57 | 7.46 | 5.53 | 2.75 | 15.79 | - | 19.57 | 5.55 | 2.76 | 7.41 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 13.99 | 14.79 | - | 29.31 | 7.39 | 14.79 | 6.27 | 7.36 | 20.29 | 17.54 | 5.11 | 14.79 | 6.27 | 20.32 | 17.54 | 7.39 |
| 3 | 16.10 | 14.78 | 29.31 | - | 21.95 | 14.78 | 34.36 | 22.15 | 9.79 | 12.19 | 30.56 | 14.78 | 34.36 | 9.78 | 12.19 | 21.95 |
| 4 | 7.37 | 7.41 | 7.39 | 21.95 | - | 7.41 | 12.66 | 0.89 | 12.94 | 10.17 | 9.33 | 7.41 | 12.66 | 12.96 | 10.17 | - |
| 5 | 5.45 | - | 14.79 | 14.78 | 7.41 | - | 19.57 | 7.46 | 5.53 | 2.75 | 15.79 | - | 19.57 | 5.55 | 2.76 | 7.41 |
| 6 | 19.82 | 19.57 | 6.27 | 34.36 | 12.66 | 19.57 | - | 12.29 | 24.87 | 22.23 | 4.10 | 19.57 | - | 24.88 | 22.23 | 12.66 |
| 7 | 8.00 | 7.46 | 7.36 | 22.15 | 0.89 | 7.46 | 12.29 | - | 12.94 | 10.20 | 8.81 | 7.46 | 12.29 | 12.96 | 10.20 | 0.89 |
| 8 | 9.22 | 5.53 | 20.29 | 9.79 | 12.94 | 5.53 | 24.87 | 12.94 | - | 2.78 | 20.96 | 5.53 | 24.87 | 0.03 | 2.77 | 12.94 |
| 9 | 6.96 | 2.75 | 17.54 | 12.19 | 10.17 | 2.75 | 22.23 | 10.20 | 2.78 | - | 18.38 | 2.75 | 22.23 | 2.80 | 0.01 | 10.17 |
| 10 | 16.69 | 15.79 | 5.11 | 30.56 | 9.33 | 15.79 | 4.10 | 8.81 | 20.96 | 18.38 | - | 15.79 | 4.10 | 20.97 | 18.38 | 9.33 |
| 11 | 5.45 | - | 14.79 | 14.78 | 7.41 | - | 19.57 | 7.46 | 5.53 | 2.75 | 15.79 | - | 19.57 | 5.55 | 2.76 | 7.41 |
| 12 | 19.82 | 19.57 | 6.27 | 34.36 | 12.66 | 19.57 | - | 12.29 | 24.87 | 22.23 | 4.10 | 19.57 | - | 24.88 | 22.23 | 12.66 |
| 13 | 9.25 | 5.55 | 20.32 | 9.78 | 12.96 | 5.55 | 24.88 | 12.96 | 0.03 | 2.80 | 20.97 | 5.55 | 24.88 | - | 2.79 | 12.96 |
| 14 | 6.97 | 2.76 | 17.54 | 12.19 | 10.17 | 2.76 | 22.23 | 10.20 | 2.77 | 0.01 | 18.38 | 2.76 | 22.23 | 2.79 | - | 10.17 |
| 15 | 7.37 | 7.41 | 7.39 | 21.95 | - | 7.41 | 12.66 | 0.89 | 12.94 | 10.17 | 9.33 | 7.41 | 12.66 | 12.96 | 10.17 | - |