

**Universidad de Valparaíso  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Industrial**



**“Propuesta de un modelo para el ruteo vehicular con ventanas de tiempo.  
Caso: Empresa Perilogistics S.A.”**

por

**Elías Andrés Hernández Estefane**

**Trabajo de Título para optar al Grado de  
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de  
Ingeniero Civil Industrial**

**Prof. Guía Enrique Faijo**

**Junio, 2015**

## **Agradecimientos**

A estas alturas se hace complicado resumir todas las personas y acontecimientos que me han llevado a ser quien soy hoy en día, pero sin duda alguna si no fuera por el apoyo incondicional de mi familia no podría ser quien soy. Gracias a ellos he logrado todo en la vida, gracias a los valores que me entregaron, al sacrificio que pusieron siempre para salir adelante y por sobre todo gracias a que siempre tuvieron la palabra precisa, en la ocasión exacta, que me hizo ver mas allá de la nieve yo mismo me ponía por delante.

También agradezco a aquellos amigos incondicionales que me entrego tanto el colegio como la universidad, los cuales siempre han sido un apoyo. Sin las herramientas necesarias no podría haber llegado hasta acá, es por eso que agradezco al colegio Instituto Zambrano que me vio crecer y me forjo como persona. Agradezco tanto a sus docentes como funcionarios los cuales desde los cinco años fueron mi segunda familia.

Por último agradecer a la Universidad de Valparaíso de Chile, tanto a la facultad de Valparaíso como a la de Santiago, y a todos sus docentes, en especial al Profeso Enrique Fajio el cual supo guiarme y ser parte fundamental en la realización de esta memoria, y funcionarios, que hicieron de mi estadía en la universidad una etapa inolvidable.

## Índice

Agradecimientos .....	2
Índice .....	3
Glosario .....	8
Lista de abreviaturas y siglas .....	9
Lista de figuras .....	10
Lista de tablas y gráficos .....	12
Resumen .....	14
Introducción.....	16
Capítulo i: antecedentes generales.....	18
1. Antecedentes generales .....	19
1.1. Marco de antecedentes.....	19
1.1.1. Empresa.....	19
Misión .....	19
Visión .....	19
Política de calidad .....	19
1.1.2. Servicios que otorga perilogistics s.a. ....	19
1.1.3. Vehículos.....	22
1.2. Problemática .....	22
1.2.1. Crecimiento de la empresa .....	22
1.2.2. Los problemas fundamentales referentes a las rutas de distribución.....	25
1.3. Objetivos.....	27
1.3.1. Objetivo general .....	27
1.3.2. Objetivos específicos.....	27

1.4. Resultados esperados.....	27
1.5. Supuestos y limitaciones .....	27
Capítulo ii: marco teórico .....	29
2. Marco teórico .....	30
2.1. Logística .....	30
2.1.1. Definición de logística: .....	30
2.1.2. Objetivos de la logística .....	31
Objetivos de tipo financieros: .....	31
Objetivos de cara al mercado y los clientes: .....	31
Objetivos de gestión de stocks y del transporte: .....	31
Objetivos dentro de la empresa:.....	31
2.1.3. Participantes activos en el ámbito de la logística.....	33
Proveedores.....	33
Centro de producción:.....	33
Almacenes centrales y/o nacionales.....	33
Almacenes locales y/o regionales .....	33
Clientes .....	33
Proveedor de servicio.....	33
2.1.4. Funciones de la logística .....	35
2.1.4.1. Compras: .....	36
2.1.4.2. Almacenamiento: .....	36
2.1.4.3. Gestión de inventarios:.....	36
2.1.4.4. Manipulación de mercancía: .....	36
2.1.4.5. Envasado de pedidos: .....	36

2.1.4.6. Planificación de la producción: .....	36
2.1.4.7. Transporte: .....	36
2.1.4.8. Servicio al cliente: .....	37
2.1.4.9. Gestión de la información .....	37
2.1.5. Decisiones a nivel estratégico, táctico y operacional .....	39
2.1.5.1. Nivel estratégico.....	39
2.1.5.2. Nivel táctico .....	39
2.1.5.3. Nivel operacional .....	40
2.1.6. Costos asociados .....	41
2.1.6.1. El costo de operar una flota .....	41
2.1.6.2. El costo en transporte de un envío .....	41
2.1.6.3. El costo de contratación de un vehículo .....	41
2.1.6.4. El costo de utilizar una empresa externa.....	41
2.1.6.5. Gastos de manejo (handling): .....	42
2.1.7. Conceptos claves .....	43
2.1.7.1. Abastecimiento .....	43
2.1.7.2. Almacenaje .....	44
2.1.7.3. Distribución .....	46
2.2. Modelos de investigación de operaciones .....	48
2.3. Problema de ruteo vehicular .....	48
2.3.1. El problema de ruteo de vehículos estático .....	50
2.3.2. El problema de ruteo de vehículos con tiempos de viaje dependientes del tiempo .....	52
2.3.3. El problema de ruteo de vehículos con información en tiempo real .....	56
2.4. El agente viajero .....	61

2.5. Técnicas exactas .....	62
2.6. Heurísticas tradicionales.....	62
2.7. Técnicas metaheurísticas: .....	67
Capítulo iii: metodología y resolución del problema. ....	69
3. Metodología de trabajo .....	70
3.1. Definir el problema.....	70
3.2. Diagnóstico actual de la empresa .....	70
3.3. Metodología y resolución del problema .....	71
3.4. Metodología, modelación y resolución.....	72
3.4.1. Estudio de tiempos .....	77
3.4.2. Filtro de los datos relevantes para la construcción del modelo.....	78
3.4.3. Modelo .....	80
3.4.4. Solución.....	81
3.4.5. Índices, variables y parámetros .....	83
3.4.6. Definición de función objetivo.....	86
Capítulo iv: verificación, validación y análisis de resultados.....	88
4. Verificación y validación del modelo .....	89
4.1. Análisis de resultados .....	92
4.2. Definición de la línea base y resultados metodología actual .....	92
4.3. Metodología propuesta .....	97
4.4. Comparación.....	100
Capitulo v: conclusiones y recomendaciones .....	101
5. Conclusiones.....	102
5.1. Recomendaciones .....	103

Capítulo vi: bibliografía.....	104
6. Bibliografía .....	105
Anexos .....	107

## Glosario

- **Almacenes centrales y/o nacionales:** Lugar donde se almacenan los productos elaborados en los centros de producción. Es el primer paso en la cadena de almacenamiento hacia los clientes. En algunos casos cuando no se atiende a una zona muy extensa, se atiende directamente a los clientes desde estos almacenes.
- **Almacenes locales y/o regionales:** En algunos casos las organizaciones deben tener más almacenes aparte de un almacén central (diferentes hábitos de consumo entre zonas, extensión del territorio de atención, entre otras). Para estos casos se construyen o arriendan almacenes regionales. En algunos casos estos almacenes también realizan venta a clientes.
- **Centro de producción:** transforman y agregan valor a las materias primas recibidas de los proveedores.
- **Clientes:** Destinatarios finales de los productos elaborados en los centros de producción.
- **Outsourcing:** Externalización subcontratación. Es el uso de recursos exteriores a la empresa para realizar actividades tradicionalmente ejecutadas por personal y recursos internos. Es una estrategia de administración por medio de la cual una empresa delega la ejecución de ciertas actividades a empresas altamente especializadas.
- **Proveedores:** son aquellos que abastecen de materias primas o aquellos necesarios para poder llevar a cabo una tarea o propósito. "Un proveedor puede ser una persona o una empresa que abastece a otras empresas con existencias (artículos), los cuales serán transformados para venderlos posteriormente o directamente se compran para su venta. Estas existencias adquiridas están dirigidas directamente a la actividad o negocio principal de la empresa que compra esos elementos."
- **Cross:** Intercambio de los términos de dos rutas: la primera parte de una ruta A es conectada con el final de la ruta y la primera de B con el final de A.
- **KPI:** Key Performance Indicators, o Indicadores Clave de Desempeño, miden el nivel del desempeño de un proceso, indicando el rendimiento de los procesos, de forma que se pueda alcanzar el objetivo fijado. Son medidas métricas de desempeño del sistema logístico de transporte y distribución.
- **WMS:** Warehouse Management System, o Sistema de Gestión de Almacenes. Se denomina a los programas informáticos destinados a gestionar las operaciones de almacenes (ubicaciones de productos, movimientos de operarios y maquinas, entre otras.)

## Lista de Abreviaturas y Siglas

- **VRP:** Vehicle Routing Problem (problemas de rutas de vehículos).
- **CVRP:** Capacitated VRP (problema de rutas vehicular capacitados)
- **CVRPTW:** Capacitated VRP with time Windows (problema de rutas vehicular capacitados con ventanas de tiempo)
- **VRPPD:** Vehicle Routing Problem with Pick-up and Deliveries (problema de rutas vehicular con Pick-up y Deliveries )
- **CVRPPDTW :**Capacitated VRP with Pick-up and Deliveries and Time Windows (problema de rutas vehicular con Pick-up y Deliveries y ventanas de tiempo )
- **MDVRP:** Multiple Depot VRP (problema de rutas vehicular con multiples almacenes)
- **MDVRPTW:** Multiple Depot VRP with Time Windows (problema de rutas vehicular con multiples almacenes con ventanas de tiempo)
- **PVRP:** Periodic VRP (problema de rutas vehiculares con periodos)
- **PVRPTW:** Periodic VRP with Time Windows (problema de rutas vehiculares con periodos y ventanas de tiempo)
- **SDVRP:** Split Delivery VRP (problema de rutas vehiculares con grietas en los despachos)
- **SDVRPTW:** Split Delivery VRP with Time Windows (problema de rutas vehiculares con grietas en los despachos y ventanas de tiempo)

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.1</b> Empresas de transportes externas a Perilogistics S.A.....	20
<b>Figura 1.2</b> Laboratorios que requieren de los servicios de Perilogistics S.A.....	21
<b>Figura 1.3</b> Vehículos con los que cuenta Perilogistics S.A. para la realización del servicio de distribución.....	22
<b>Figura 2.1</b> Elementos de una red logística.....	33
<b>Figura 2.2</b> Cadena de suministros. Participantes en el proceso de logística.....	33
<b>Figura 2.3</b> Aristas de la logística.....	34
<b>Figura 2.4</b> Distintas funciones de la Logística .....	37
<b>Figura 2.5</b> Sistema Logístico.....	42
<b>Figura 2.6</b> Ejemplo de solución de problema de ruteo.....	48
<b>Figura 2.7</b> Función Escalón de los Tiempos de Viaje.....	51
<b>Figura 2.8</b> Función de Tiempos de Viaje de un arco (i, j) con $M_{ij} = 3$ .....	52
<b>Figura 2.9</b> Cambio en velocidad de viaje durante el tiempo para un arco dado.....	53
<b>Figura 2.10</b> Función Suave de los Tiempos de Viaje (t) $\tau_{ij}$ .....	55
<b>Figura 2.11</b> Software utilizado en Solución de problemas de ruteos de vehículos con restricciones de capacidad usando teoría de grafos .....	64
<b>Figura 3.1</b> Indica dos puntos de la zona 1 a analizar .....	72
<b>Figura 3.2</b> Comunas de la zona 1.....	73
<b>Figura 3.3</b> Cadena de sucesos en la recepción de productos.....	76
<b>Figura 3.4</b> Definición matriz de decisión variable $X_{ijp}$ , aplicación software What's Best.....	85
<b>Figura 3.5</b> Indica restricciones introducidas al programa .....	86
<b>Figura 4.1</b> Detalle transportista.....	93

**Figura 4.2** Detalle transportista CJ HV 23.....95

## Lista de Tablas y Gráficos

<b>Tabla 1.1</b> Aumento del crecimiento del servicio de almacenaje de Perilogistics S.A año 2012-2013.....	23
<b>Grafico 1.1</b> Presentan una comparacion en la demanda de pedidos, sin especificar su volumen, de los años 2012 y 2013.....	24
<b>Grafico 1.2</b> Aumento de costo de transporte.....	26
<b>Tabla 2.1</b> Resultados Tesis mencionada.....	65
<b>Tabla 3.1</b> Indica kilometraje ente los nodos.....	74
<b>Tabla 3.2</b> Indica el costo del kilometraje entre nodos.....	75
<b>Tabla 3.3</b> Tiempos estimados para cada localidad.....	76
<b>Tabla 3.4</b> Matriz de pedidos zona 1.....	77
<b>Tabla 3.5</b> Ventanas de horario de cada locación.....	78
<b>Tabla 3.6</b> Indica la separación de los clusters.....	81
<b>Tabla 4.1</b> Indica nuevas ventanas horarias.....	89
<b>Tabla 4.2</b> Verificacion del modelo.....	90
<b>Tabla 4.3</b> Verificación de trayecto.....	90
<b>Tabla 4.4</b> Detalle costo ruta.....	92
<b>Tabla 4.5</b> Detalle de costo.....	94
<b>Tabla 4.6</b> Indicadores actuales de la empresa.....	96
<b>Tabla 4.7</b> Promedio de indicadores.....	96
<b>Tabla 4.8</b> Ruta optimizada.....	97

<b>Tabla 4.9</b> Costo ruta modelo.....	98
<b>Tabla 4.10</b> Costo proyectado.....	98
<b>Tabla 4.11</b> Indicadores propuestos.....	98
<b>Tabla 4.12</b> Comparación situación actual y modelada.....	99
<b>Tabla 4.13</b> Comparación de costos.....	99

## Resumen

El estudio relacionado a la logística, específicamente en la optimización de tiempos y costos en el transporte de mercaderías, es uno de los temas más en boga de los últimos tiempos por los beneficios que otorga a quien los utiliza. Es por esto que los casos como el VRP (Vehicle Routing Problem) y TSP (Traveling Salesman Problem) son cada vez más común en la bibliografía y estudios de ingeniería. Estos estudios permiten generar rutas que consideran más de un vehículo, como también de nodos (clientes) que se encuentran esparcidos en zonas determinadas. El presente estudio hace mención a la aplicación problema del vendedor viajero (TSP).

La decisión de llevar a cabo este estudio recae en que la empresa en la que se realizó el trabajo no cuenta con un método confiable que permita determinar las rutas que debe llevar a cabo su flota para la distribución de sus productos (medicamentos). La necesidad de llevar a cabo este estudio surge tras el gran aumento en la demanda de medicamentos, y por ende el crecimiento que ha logrado la empresa, en cuanto a almacén y distribución. Al no poseer un método estable, toda la creación de rutas se llevo a cabo manualmente, y principalmente siguiendo el orden de los ingresos que se realicen, indiscriminando el lugar de donde son solicitados. Dado esto los problemas no han tardado en llevar, ya que al no tener control de los que se está haciendo, como el kilometraje recorrió, tiempos necesarios para realizar rutas, se ha caído en incumplimientos en los pedidos.

Para lograr una solución al problema de la empresa se tomó la decisión de utilizar la metodología que consistía en agrupar clientes (clusters) los cuales se encuentran en la misma ruta satisfaciendo algunas condiciones particulares, principalmente las ventanas horarias particulares de cada cliente y la capacidad de la flota. La respuesta obtenida utilizando el método del agente viajero y considerando lo mencionado puede ser exacta o aproximada.

Al ser mejorado el método de ruteo de la empresa los resultados se ven reflejados en la disminución de kilometraje recorrido en las rutas y con eso una mayor satisfacción en la entrega misma de los medicamentos, por ende una disminución en el rechazo de despachos consiguiendo mayor aprobación por parte del cliente y así como fin principal mayor ahorro económico.

Los resultados anteriores demuestran las indudables ventajas de utilizar herramientas de la ingeniería industrial, para la optimización de los recursos, con el objetivo de minimizar costos dentro de una organización.

El desarrollo de esta memoria se conforma de siete capítulos. El Capítulo I consiste en la descripción de la empresa, así como sus características generales, enfoque hacia el mercado, además del problema detectado en ella y los objetivos planteados para solucionarlo. El Capítulo II consta de el material necesario para abordar el problema, los diferentes enfoques que podrían afrontar la problemática, así como trabajos desarrollados sobre el tema, pero en diferentes empresas. El Capítulo III muestra la metodología que se decidió utilizar para desarrollar el

problema de la empresa. En el Capítulo IV se desarrolla el problema, se detalla el cómo se llegó a una solución, los pasos que se siguieron y la verificación de la misma. El Capítulo V considera las conclusiones obtenidas del desarrollo del problema, además de recomendaciones necesarias para un desarrollo más exhaustivo y para expandir el estudio que se llevo a cabo. El Capítulo VI puntualiza la bibliografía que se utilizo para lograr este trabajo.

## Introducción

Dentro de todas las empresas en la actualidad uno de los temas que se ha convertido en fundamental a interiorizar es la logística ya que permite mejorar la gestión entre los distintos elementos que componen la empresa. Como el término gestión incorpora todo lo que conlleva el ciclo de vida de cualquier producto o servicio, realzan temas de importancia como el control y planificación de productos o servicios, administración general, pero aun mas específico uno de los grandes temas hoy en día para el buen funcionamiento es la planificación de almacén y ruteo vehicular.

El problema de ruteo vehicular es una de las dificultades que más encaran las empresas de distribución, y además de ser un tema tradicional de la investigación de operaciones, es un tema que exalta por su complejidad.

Para toda empresa que entrega el servicio de distribución, sea cual sea el producto, el tema de ruteo contribuye una gran importancia, ya que es considerado un costo importante por el cliente final.

En Chile, la estructura de costos se basa principalmente por las remuneraciones, el combustible, mantenimiento, adquisición de la flota y pago de permisos<sup>1</sup>. Cabe recalcar que el mayor costo asociado a esto se lo lleva el gasto de combustible que se requiere en la distribución, y además las remuneraciones asociadas a esto, ya sean choferes y sus ayudantes, es por esto que un ahorro en estos ítems puede expresar un ahorro para la empresa como para el cliente.

Habiendo resaltado lo anterior, se entiende que es muy útil tener una herramienta que permita establecer un ruteo así se lograría, por una parte un ahorro para la empresa, y por otra la entrega de un mejor servicio al cliente final.

Específicamente en el problema de ruteo coexisten tres elementos fundamentales a tener en cuenta: cliente, estos son los sitios que demandan productos y deben ser visitados, vehículos, que son quienes realizan las visitas, y por último los depósitos, que son el lugar en donde comienza y culmina cada recorrido. Este problema puede adoptar diversas formas, ya sea rutas lineales, de un solo punto, o bien combinatorias, en las cuales existen restricciones, las cuales indican las características o limitantes que se asocian a la empresa o a los clientes, que apuntan a cumplir con una función objetivo. Se puede determinar que el problema de ruteo radica en encontrar un conjunto de rutas para los vehículos, que adopten todas las restricciones y de modo que se minimice el valor de la función objetivo.

El objetivo de este trabajo es desarrollar y diseñar un modelo de asignación, y poder resolver el problema del vendedor viajero (TSP, Traveling Salesman Problem), para la optimiza-

---

<sup>1</sup> Estudio: Análisis económico del transporte de carga nacional, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones – Subsecretaría de Transportes de Chile.

ción de rutas de distribución. Para cumplir con este objetivo se opto por la solución a través de una heurística.

Métodos para resolver estos problemas existen muchos, cuyos tipos consideran características distintas para cada caso particular y es por esto que dejan de lado algunas restricciones fundamentales del problema. En esta ocasión se añadirá las restricciones de ventanas de tiempo y tiempos totales, con el fin de realizar un diseño más acertado.

Las ventanas de tiempo indican que si un vehículo llega fuera de los intervalos de tiempos de cada cliente, este no podrá atenderlo y la entrega no será posible.

Concretamente el objetivo final que debe dar el modelo es que clientes serán atendidos por cada vehículo perteneciente a la flota, además de esto, enseñar el orden en el cual son visitados, respetando ventanas horarias de recepción.

## **Capítulo I: Antecedentes Generales**

---

*En este capítulo se detalla principalmente la empresa en la cual me adentre, definiendo su situación actual y las directrices a tomar.*

---

## **1. Antecedentes Generales**

### **1.1. Marco de antecedentes**



#### **1.1.1. Empresa**

Operador logístico farmacéutico, referentes en Chile en manejo de la cadena de frío, orientado a Compañías de alta exigencia. Aliados estratégicos de nuestros clientes, con foco en la satisfacción de sus propios clientes, aportamos valor a su gestión, combinando acciones conjuntas que permitan desarrollar procesos de mejora continua que hagan cada día más eficiente los procesos operativos.

Empresa de logística farmacéutica especializada en servicios integrales especialista en el manejo de productos que requieren cadena de frío, garantizando excelencia, rapidez, puntualidad y eficiencia en la logística y distribución a nivel nacional, incluyendo territorio insular.

#### **Misión**

Orientados a la industria farmacéutica de alta exigencia, nuestra misión es ser socio estratégico y otorgar valor agregado a la gestión de cada uno de nuestros clientes, a través de un servicio de calidad, eficiencia, dinámico y flexible en logística y servicios complementarios

#### **Visión**

Ser un referente en servicios logísticos orientados a la industria farmacéutica de alta exigencia, destacándonos en calidad y atención a las necesidades de nuestros clientes

#### **Política de calidad**

Asegurar y mantener un sistema de gestión de calidad efectivo y eficiente, que permita lograr un elevado nivel de satisfacción de acuerdo a los requisitos de nuestros clientes, y que se enmarque dentro de la mejora continua de los procesos logísticos, de manera que el manejo de los productos de nuestros clientes, se realice de acuerdo a normas de calidad nacionales e internacionales.

#### **1.1.2. Servicios que otorga Perilogistics S.A.**

- Almacenaje y distribución de medicamentos

Para lograr el buen funcionamiento, Perilogistics cuenta con un grupo integral de personas dispuestas cada una en su función, desde Ingenieros civil industrial, químicos farmacéuticos, hasta funcionarios que dada su vasta experiencia, hacen de esta empresa una de las mejores opciones del mercado nacional.

Para cumplir con la misión de distribución la empresa cuenta con alianzas estratégicas con empresas de rubro, como también una flota particular.

Las empresas que brindan en servicio de distribución son:

- Transportes cargoex LTDA
- Carlos Clavero
- Logística y distribución Chibra LTDA
- Esteban Vallejo
- Jorge Tapia
- Juan Díaz
- Rodrigo Rojas
- Sociedad de transportes Betta LTDA
- Transportes Bianca
- Tur bus

**Figura 1.1 Empresas de transportes externas a Perilogistics S.A.**



**Fuente elaboracion propia**

Además de una flota de transportes particular de suman 9 vehículos.

Perilogistics cubre todo el territorio nacional, tanto a hospitales, clínicas, centro de rehabilitación, universidades, municipios, particulares (visitadores), entre otros, los que contabilizan 3000 clientes aprox.

Para lograr tal cantidad de clientes, Perilogistics a creado alianzas estratégicas con los más importantes laboratorios, los cuales confían en el servicio entregado.

- Biogen Idec Chile SPA
- BiotecPharma Ltda.
- Ciba Vision-Chile S.A.
- Croda
- Galderma Chile Laboratorios Ltda.
- Gemark Pharma Ltda.
- Glaxo 2.0
- Glaxo Pharma

- Innovative Medicines S.A.
- Isdin Chile
- Laboratorio Andromaco
- Laboratorio Chile
- Laboratorio Raffo
- Laboratorio Silesia S.A.
- Labotec S.A.
- Maquifarm Ltda.
- Ministerio de Salud (Minsal)
- Novartis Chile S.A.
- NovoNordisk
- Pharmasan S.A.
- Química Industrial Spes S.A.
- Ramírez y Sánchez Limitada
- Sanofi Aventis de Chile S. A. (Estudios Clínicos).
- Sanofi Pasteur S.A.
- Stiefel
- Tetra Insumos Médicos Ltda.

**Figura 1.2 Laboratorios que requieren de los servicios de Perilogistics S.A**

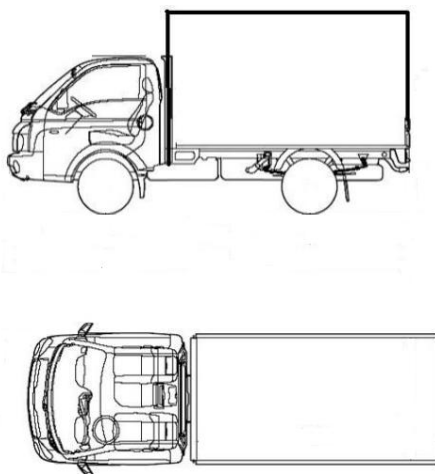


**Fuente elaboración propia**

### 1.1.3. Vehículos

La empresa cuenta con una flota de 7 camionetas tipo “combo” junto a una flota de 7 camiones  $\frac{3}{4}$  con carrocería, Porter HR. La carrocería de los vehículos cerrada con dimensiones de 2,8 metros de largo, 1,6 metros de ancho y 1,8 metros de alto. Soportan un peso de carga de 1790 Kg. Estos datos indican que poseen 8,2 m<sup>3</sup> para transportar los medicamentos. Todos los vehículos de la empresa tienen implementado el sistema de refrigeración, esta para el transporte de medicamentos que necesitan cadena de frío.

**Figura 1.3 Vehículos con los que cuenta Perilogistics S.A. para la realización del servicio de distribución**



**Fuente elaboración propia**

## 1.2. Problemática

### 1.2.1. Crecimiento de la empresa

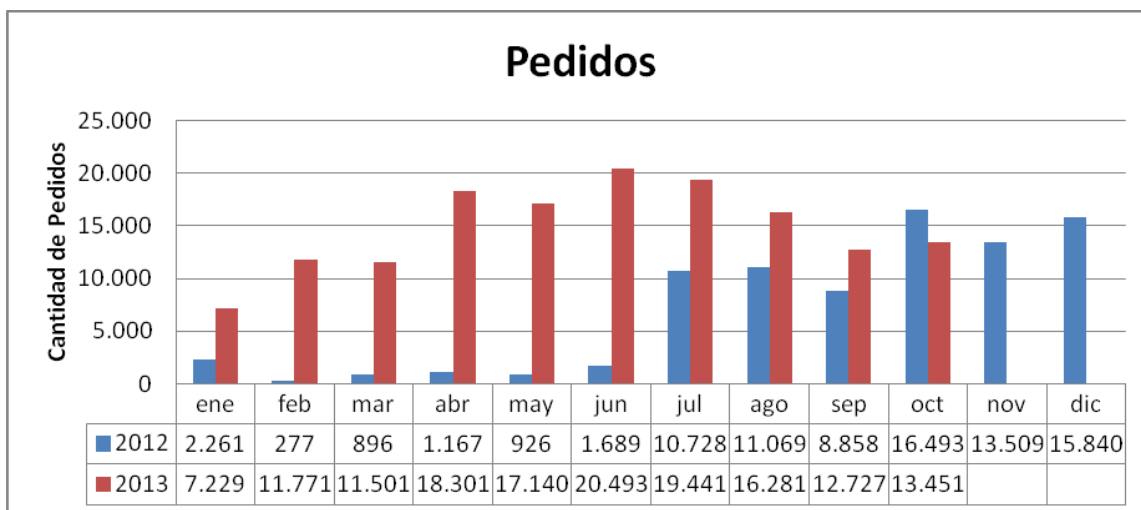
Antes de insertarse en el problema, hay que analizar cómo se encuentra actualmente. Con respecto al crecimiento que ha tenido la empresa, esto se puede analizar desde diferentes perspectivas, tanto económicas, tecnológicas y administrativas. Para ilustrar el crecimiento de la empresa, he aquí el crecimiento en cuanto a pedidos solicitados, en el año 2012, versus el año 2013 a la fecha. En la siguiente tabla se indican, mes a mes, y día a día la cantidad de pedidos que realiza la empresa Perilogistics S.A., lo cual no considera la magnitud de cada pedido, por ejemplo el día 13 de enero del 2012 se realizó un pedido, el cual es a más de una locación, y cuya cantidad no se especifica explícitamente en esta tabla.

**Tabla 1.1 Aumento del crecimiento del servicio de almacenaje de Perilogistics S.A año 2012-2013**

Cuenta Etiket	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total general		
2012																																		
ene		1.069	436	51	14	5		4	36	22	18	11	1		68		77	263	15				1	2	27	38	12			53	38	2.261		
feb	1	5	4					8					5	31	2		5			25	3	1		19			53	84	31			277		
mar	9	30			3	45	4	8	17			311	8	17	77	24			23	34	44	55	53			32	19	16	47	20		896		
abr		105	59	9	33				25	8		22	82		47	25	132	108	48				121	32	29	179	68			35		1.167		
may		10	5	37	2		22	11	96	173	27			26	56	79	11	13				23	40	46	111	11		29	46	25	27	926		
jun	126			22	15	62	87	28				299	11	11	5		65	4	88	24	21	19		11	78	77	191	441	4		1.689			
jul			404	366	584	444	227		555	324	921	132	484	255		1.007	860	1.225	220	184		929	389	502	7	24	18		305	362	10.728			
ago	182	853	529			500	458	571	651	355	20		700	1.139		600	314	145		682	251	174	926	184			230	101	138	242	1.124	11.069		
sep	87		300	802	387	607	605	273		689	345	1.232	1.326	227						164	347	598		310	166	140	103	150				8.858		
oct	228	278	612	1.105	1.078			748	624	252	675	502	60			830	700	486	875	83		501	905	1.306	1.235	900	38		1.162	934	376	16.493		
nov			84		821	825	495	876	317	100		538	722	734	813	586	45		1.030	1.227	769	522	615			617	683	517	402	171		13.509		
dic	11		191	782	1.023	609	516			834	375	210	1.576	1.441	156		1.372	1.262	367	199	17	183		352		508	397	874	880	1.453	252	15.840		
2013																																		
ene			226	1.163	803		742	336	237	365	84			25	17	242	571	140	2		82	334	416	523	83	34		161	430	138	75	7.229		
feb	50	4		723	940	1.006	415	583	443		620	1.129	338	968	337	90		360	84	136	321	982	83		315	487	889	468				11.771		
mar	219	70		74	395	553	475	475	69		232	383	305	714	1.082	196		1.385	1.002	858	801	147			195	1.157	124	590				11.501		
abr	824	281	841	1.491	2.149	363		2.005	544	174	509	400	3		226	653	857	730	1.241	297		608	1.069	849	577	438	189		658	325		18.301		
may		382	378	3		1.051	2.530	2.063	1.709	361	107		166	371	79	342	165	155		704		907	820	1.070	357		602	798	616	873	531	17.140		
jun	26		767	664	1.059	2.761	1.220		1.823	386	562	431	1.533	11		307	486	1.249	1.380	425	610		956	1.026	840	1.023	948					20.493		
jul	811	1.445	827	809	563	421		37	50	612	2.050	1.554	68		55		810	738	832	673		748	424	518	666	588	694		328	1.552	1.568	19.441		
ago	1.304	183	338		400	26	116	680	153	244		157	1.363	1.859		140	279		768	1.016	1.381	712	743	151		507	760	871	430	1.548	152	16.281		
sep		902	1.082	278	429	530	5	15	302	319	522	208	486	615		712	472						444	933	604	760	1.249	855		1.005		12.727		
oct	1.008	2.633	2.790	1.558	2.494		1.377	514	816	261																							13.451	
Total	4.886	8.250	9.873	9.937	13.192	9.808	9.294	9.235	6.644	6.916	6.891	7.650	8.135	9.966	2.916	4.609	6.940	7.034	9.073	7.849	4.649	7.126	7.608	7.640	5.904	7.321	7.234	6.671	5.609	8.683	4.505	232.048		

Fuente elaboración propia

**Grafico 1.1 Comparacion en la demanda de pedidos, sin especificar su volumen, de los años 2012 y 2013**



**Fuente elaboracion propia**

Como se aprecia en la grafica, la cual muestra hasta mediados de Octubre del 2103, la empresa, a nivel de pedidos, ha crecido en un 77,2%, esto quiere decir que no solo a aumentado sus ingresos, ya que los precios de almacén y despacho se han ido modificando con respecto a la inserción en el mercado, sino que con esto ha aumentado en personal, infraestructura y tecnología.

Focalizándonos en el área de despacho y distribución, pese a incrementar el nivel de trabajo que tiene esta área debido al incremento de despachos ya visto, se ha tenido que recurrir en mayor parte a empresas externas que realicen el despacho de los pedidos, perdiendo el control del cómo se llevan a cabo estos, incrementando el nivel de pedidos devueltos, y así el descontento de los clientes. cabe recalcar que al ser un nivel de despachos considerablemente grande, y Perilogistics es una empresa contratada por los laboratorios para el almacén y despacho de los productos, el mayor reclamo no recae del todo en ellos.

Cabe recalcar que en cuanto a tecnología y manera de llevar a cabo cada pedido y despacho Perilogistics lleva a cabo un forma bastante peculiar, ya que para la zona de Santiago, se divide toda el área en 6, y arbitrariamente, solo identificando a que comuna corresponde el pedido se separa y se designa quien, ya sea flota propia u externa, realizar el pedido.

Esto se lleva a cabo en dos tandas, a.m. y p.m. La primera se realiza con pedidos solicitados desde las 18:00 hrs. del día anterior al pedidos hasta las 8:00 hrs del mismo día, todo pedido de entre las 8:01 y 17:59, se realiza el mismo día, con excepciones de pedidos con orden de urgencia.

### **1.2.2. Los problemas fundamentales referentes a las rutas de distribución.**

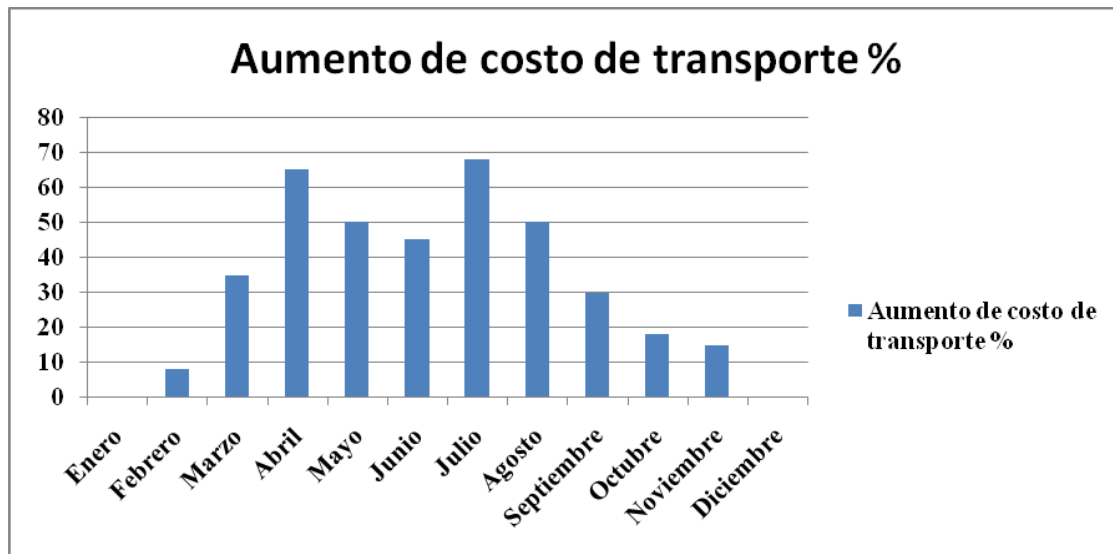
Amplia zona geográfica: Uno de los problemas surgidos por el rápido crecimiento de la empresa es la dispersión de algunos clientes en la amplia zona de la región metropolitana. Esto genera una preocupación por parte de la empresa debido a que estos puntos, encontrados en la periferia de la región, poseen costos mucho más elevados de transporte. En anexos XX se puede apreciar los puntos de venta que posee actualmente la empresa para realizar las implementaciones.

Exigencia de nivel de servicio por parte del mercado (tiempos de entrega): Los clientes contratan un servicio que debe cumplir con sus expectativas, y para ello es fundamental coordinar las entregas, cumplir con los tiempos acordados utilizando de la mejor forma posible los recursos con los que se cuentan. Cabe señalar que los puntos poseen diferentes horarios de recepción. Es por esto que debe ser fundamental un adecuado diseño de las rutas de distribución para poder cumplir con todas

Cabe mencionar que existen temporadas de baja demanda, donde la planificación ha sido más simple, pero las estimaciones de crecimiento del sector farmacéutico en Chile son al alza. En consecuencia aumentarán los clientes y con esto también la demanda como se menciono anteriormente. En la organización existe la incertidumbre de no poder cumplir con la demanda en las temporadas altas, si no se obtiene un método de planificación de rutas.

El consumo de combustible es el factor relevante ya que las distancias recorridas por cada vehículo afectan directamente el capital de la empresa y es el mayor gasto que se incurre por no tener una buena planificación de asignación de rutas

**Grafico 1.2 Aumento de costo de transporte**



**Fuente elaboracion propia**

El gráfico 1.2 muestra los meses en el cual aumentan los costos de transporte, esto se debe a que en estos meses se incrementa la demanda con el fin de tener stock para la temporada más críticas de enfermedades y se incurre en un mayor consumo de combustible y un aumento de la jornada laboral

Es por esto que es necesario el diseño y desarrollo de un modelo matemático para la optimización de las rutas de distribución. En resumen, para este caso de estudio, el problema que se aborda es el de despacho de un único producto, en este caso stands o muebles de apoyo para la realización de una sola actividad (implementar campañas), desde una sola bodega, o centro de distribución, a muchos clientes (puntos de venta) distribuidos espacialmente en la red o zona geográfica (Santiago de Chile), cada uno con su respectiva cantidad demandada de productos y una hora de recepción para las entregas (ventanas horarias), realizado por una flota fija de vehículos propios (4 vehículos) con restricción de capacidad, que demora un tiempo promedio de atención en cada cliente. Además, cada vehículo tiene la posibilidad de operar a lo más una ruta a lo largo del período de planificación.

El problema consiste en que el método para la creación de las rutas que utiliza la empresa Perilogistics S.A. no es eficiente ni eficaz, ya que solo se basa en la división de la región, lo cual en reiteradas ocasiones le impide cumplir con todos sus pedidos principalmente lo que respecta a horarios de entrega, y por ende no le permite satisfacer las necesidades de sus clientes.

En muchas oportunidades, por el hecho de tener una flota mixta (vehículos propios y externos), y a nivel de urgencia, la empresa acude a las empresas externas, lo que le genera un costo adicional.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Proponer un modelo para el ruteo vehicular con ventanas de tiempo

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Recopilar información necesaria para poder comprender el área de la logística farmacéutica.
- Diagnosticar situación actual de la empresa y sus clientes.
- Definir una estructura en cuanto a tipo de transporte (propia-externa).
- Recopilar información a cerca de herramientas computacionales y definir cuales resuelven el problema de ruteo vehicular
- Revisar información bibliográfica respecto a modelamiento de ruteo.
- Proponer modelo a utilizar para el caso actual.
- Validar y evaluar impacto del modelo propuesto.

### **1.4. Resultados Esperados**

- Disminuir los costos operacionales del servicio de transporte a través de un modelo que genere una ruta de entrega de medicamentos a los puntos determinados.
- Disminución de la incertidumbre del área de logística de la Empresa, debido incumplimiento de la entrega de la demanda.
- Sugerencia de la ruta que podrá seguir el conductor, sin que tenga que estar preocupado de cuál es la ruta que debiese tomar desde un destino a otro, para cumplir los objetivos trazados.

### **1.5. Supuestos y limitaciones**

A continuación se mostrarán los supuestos que debemos tomar en cuenta para la realización de este estudio:

- Los pedidos de acuerdo a los requerimientos de cada punto de venta o distribución serán entregados completos. Se asume que no existen mermas o pérdidas en el traslado de las mismas.
- En el momento del transporte de la mercadería, el vehículo estará sujeto al tráfico que pueda existir en la ruta donde haya sido asignado. Es por esto último que se considera una velocidad promedio de 30 Km. Sin embargo, no lo estará a posibles cierres de calles temporales, ni posibles atochamientos vehiculares en las horas de mayor tránsito de vehículos por la ciudad de Santiago de Chile que está siendo un común problema actualmente.
- Las ventanas de tiempo dependerán de los clientes; es decir, del horario de atención que tenga cada uno de los puntos de donde se está dejando los suministros.
- Se trabajara un problema de flota homogénea, es decir, los vehículos utilizados poseen los mismos costos y la misma capacidad como mencionamos anteriormente.
- Tomaremos en cuenta que todas las rutas o calles que pertenecen a la misma son hábiles para el tipo de transporte que utilizamos.
- La función objetivo del problema considera una función de costo de corto plazo que incluye costos de combustible. Por esta razón, se tratan decisiones a nivel operacional, que no incluyen, por ejemplo, la minimización de la flota de vehículos, tal como en el caso de decisiones táctico-estratégicas.
- El estudio de la mejor disposición de la entrega está fuera del alcance de este proyecto.

## **Capítulo II: Marco Teórico**

---

*En este capítulo se encuentran todos los elementos teóricos necesarios para llevar a cabo la solución de la problemática de la empresa.*

---

## 2. Marco teórico

### 2.1. Logística

#### 2.1.1. Definición de Logística:

- Para Ferrel, Hirt, AdriaEnséns, Flores y Ramos, la logística es "una función operativa importante que comprende todas las actividades necesarias para la obtención y administración de materias primas y componentes, así como el manejo de los productos terminados, su empaque y su distribución a los clientes" (O.C.Ferrel)<sup>2</sup>
- Según Lamb, Hair y McDaniel, la logística es "el proceso de administrar estratégicamente el flujo y almacenamiento eficiente de las materias primas, de las existencias en proceso y de los bienes terminados del punto de origen al de consumo" (Lamb Charles)<sup>3</sup>
- Para Enrique B. Franklin, la logística es "el movimiento de los bienes correctos en la cantidad adecuada hacia el lugar correcto en el momento apropiado" (Enrique)<sup>4</sup>

Los actuales mercados han llevado a las empresas a la conclusión de que para sobrevivir y tener éxito, ya no basta mejorar sus operaciones ni integrar sus funciones internas, sino que se hace necesario ir más allá e iniciar relaciones de intercambio de información, materiales y recursos con los proveedores y clientes en una forma mucho más integrada, es aquí donde la logística juega un papel crucial, a partir del manejo eficiente del flujo de bienes y servicios hacia el consumidor final.

Logística es un término que frecuentemente se asocia con la distribución y transporte de productos terminados; sin embargo, ésta es una apreciación parcial de la misma, ya que la logística se relaciona con la administración del flujo de bienes y servicios, desde la adquisición de las materias primas e insumos en su punto de origen, hasta la entrega del producto terminado en el punto de consumo.

De esta forma, todas aquellas actividades que involucran el movimiento de materias primas, materiales y otros insumos forman parte de los procesos logísticos, al igual que todas aquellas tareas que ofrecen un soporte adecuado para la transformación de dichos elementos en

---

<sup>2</sup> Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante, Cuarta Edición, de Ferrel O.C., Hirt Geoffrey, Ramos Leticia, AdriaEnséns Marinéala y Flores Miguel Ángel, Mc Graw Hill, 2004, Pág. 282

<sup>3</sup> Marketing, Sexta Edición, de Lamb Charles, Hair Joseph y McDaniel Carl, International Thompson Editores S.A., 2002, Pág. 383.

<sup>4</sup> Organización de Empresas, Segunda Edición, de Franklin B. Enrique, Mc Graw Hill, 2004, Pág. 362.

productos terminados: las compras, el almacenamiento, la administración de los inventarios, el mantenimiento de las instalaciones y maquinarias, la seguridad y los servicios de planta (suministros de agua, gas, electricidad, combustibles, aire comprimido, vapor, etc.).

### **2.1.2. Objetivos de la logística**

#### **Objetivos de tipo financieros:**

- Disminución de los costes financieros de los *stocks*.
- Optimización de los costes de almacenamiento y de transporte.
- Reducción de los costes de planificación y puesta en marcha.
- Reducción de los costes de personal.
- Precios ventajosos de los servicios logísticos subcontratados.

#### **Objetivos de cara al mercado y los clientes:**

- Mantenimiento de relaciones más estrechas con los clientes.
- Creación de una logística orientada a los mercados.
- Flexibilidad frente a las variables exigencias de todos los clientes en general.
- Satisfacción creciente de los clientes mediante la disminución de las tasas de error.

#### **Objetivos de gestión de stocks y del transporte:**

- Reducción de los plazos e itinerarios de entrega.
- Mayor rotación de stocks.
- Reducción de los stocks, costos de manutención (manipulación de los productos o mercancías dentro del almacén) y de preparación de pedidos.
- Optimización de la utilización de las capacidades de almacenamiento y de transporte.
- Disminución de los costos de control de la cadena logística.

#### **Objetivos dentro de la empresa:**

- Transparencia creciente dentro de la cadena logística.
- Definición y reparto claro de tareas.
- Estructuras de información eficaces, que se pueden obtener gracias a los sistemas informatizados.



### 2.1.3. Participantes activos en el ámbito de la logística

La logística tiene un gran número de participantes activos.

**Proveedores:** son aquellos que abastecen de materias primas o aquello necesario para poder llevar a cabo una tarea o propósito. "Un proveedor puede ser una persona o una empresa que abastece a otras empresas con existencias (artículos), los cuales serán transformados para venderlos posteriormente o directamente se compran para su venta. Estas existencias adquiridas están dirigidas directamente a la actividad o negocio principal de la empresa que compra esos elementos."

**Centro de producción:** transforman y agregan valor a las materias primas recibidas de los proveedores.

**Almacenes centrales y/o nacionales:** Lugar donde se almacenan los productos elaborados en los centros de producción. Es el primer paso en la cadena de almacenamiento hacia los clientes. En algunos casos cuando no se atiende a una zona muy extensa, se atiende directamente a los clientes desde estos almacenes.

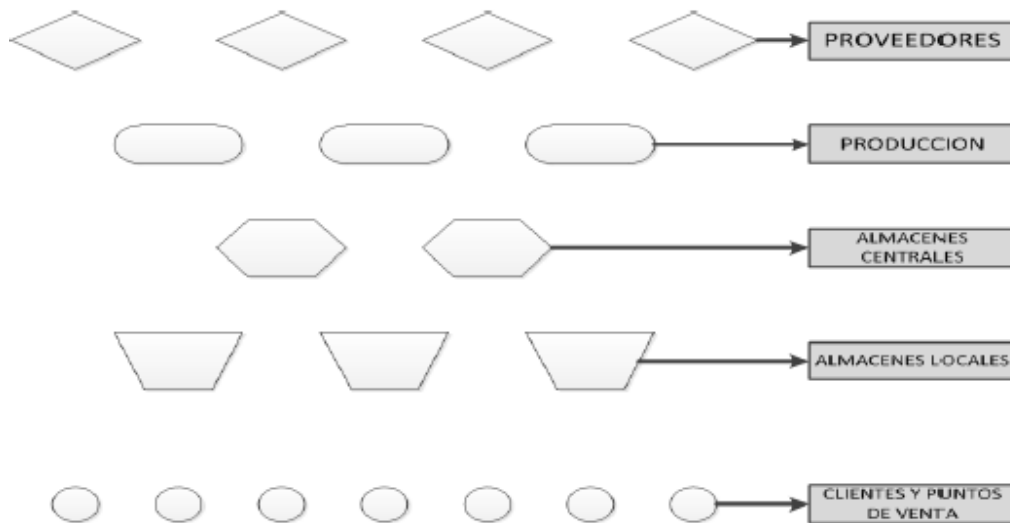
**Almacenes locales y/o regionales:** En algunos casos las organizaciones deben tener más almacenes aparte de un almacén central (diferentes hábitos de consumo entre zonas, extensión del territorio de atención, entre otras). Para estos casos se construyen o arriendan almacenes regionales. En algunos casos estos almacenes también realizan venta a clientes.

**Clientes:** Destinatarios finales de los productos elaborados en los centros de producción.

En este caso es oportuno mencionar otro agente activo, como lo son los:

**Proveedor de servicio:** se refiere a empresas ya constituidas que se dedican a otorgar un servicio complementario o completo a otra empresa del mismo o similar rubro.

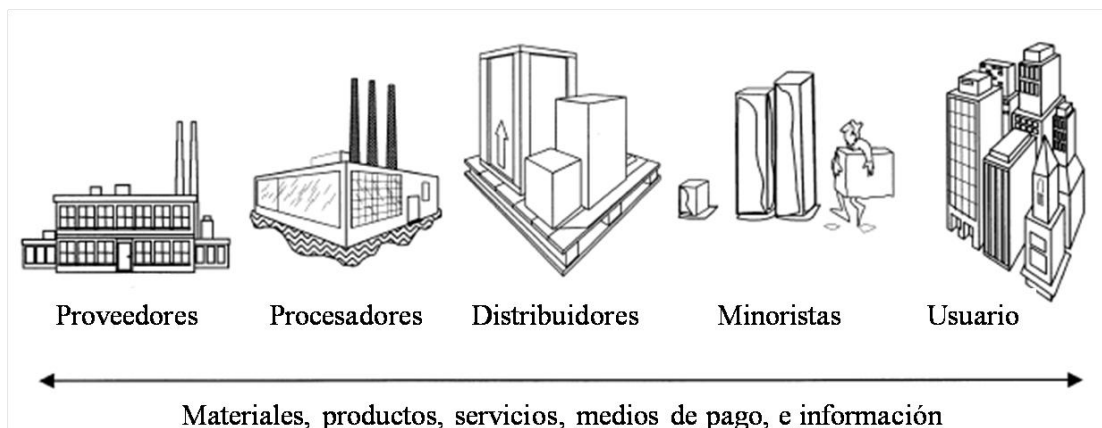
**Figura 2.1 Elementos de una red logística**



**Fuente:** Tesis “Determinación de la estructura óptima de flota para la Distribución de SKUs en sucursales de una compañía de gases industriales.” Francisco Javier Pérez Hellec, 2011.

La cadena de suministro o red logística comprende proveedores, centros de manufactura, bodegas, centros de distribución y locales de venta. Además, considera materias primas, inventario de productos en proceso y productos terminados que fluyen entre las instalaciones. Todo esto mencionado anteriormente comprende una serie de interrelaciones en la cadena como aprecia en la siguiente ilustración.

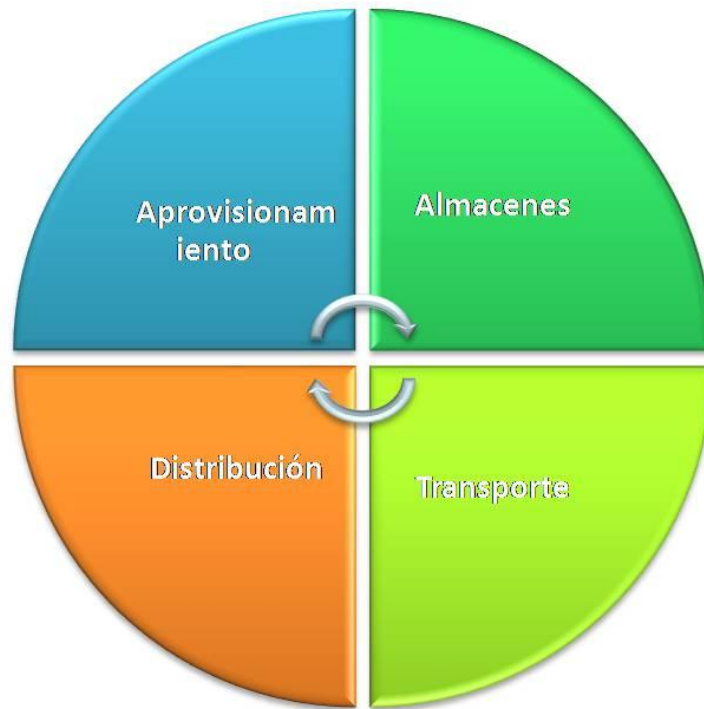
**Figura 2.2 Cadena de suministros. Participantes en el proceso de logística**



**Fuente "Gestión de la cadena de suministros (SCM), Iván J. Tumbero"**

#### 2.1.4. Funciones de la logística

Figura 2.3 Aristas de la logística



Fuente ITEC

La complejidad del sistema logístico estará definida por el servicio que se precise dar al cliente, pudiendo llegar hasta niveles altamente exigentes sobre la función logística. En general las actividades que mayor costo representan y que por tanto requieren de mayor esfuerzo de planificación y control, son las compras, la gestión de los inventarios y el transporte. De todos modos, según las características de cada empresa, estas líneas generales pueden variar.

La logística está presente en todo tipo de empresa, ya que al ser operada de la forma más óptima posible los beneficios son inmensamente convenientes para todo rubro.

En forma genérica la logística tiene diversos enfoques, según el ITEC, expertos no solo en el ámbito de la logística, sino en diversos sectores de todo tipo de empresas, las funciones de la logística se definen en:

#### **2.1.4.1. Compras:**

- Selección de las fuentes de suministro.
- Cálculo de las cantidades a comprar.
- Selección de la emisión de un pedido

#### **2.1.4.2. Almacenamiento:**

- La determinación del espacio de almacenamiento.
- El diseño del almacén.
- La ubicación de los productos en almacén.
- La elección de los elementos de manutención: carretillas elevadoras, carretillas tri-laterales, almacenes semiautomáticos o inteligentes, etc.

#### **2.1.4.3. Gestión de inventarios:**

- Definición de la política de stocks.
- Proyección de las ventas a corto plazo.
- Número, tamaño y localización de los puntos de almacenamiento.
- Control de los stocks: inventario continuo, inventarios periódicos u otros.

#### **2.1.4.4. Manipulación de mercancía:**

- Formación del personal.
- Procedimientos de preparación de pedidos.
- Almacenamiento y recuperación de mercancías.

#### **2.1.4.5. Envasado de pedidos:**

- Diseño del tratamiento.
- Definición del almacenamiento.
- Definición del nivel de protección contra pérdidas y desperfectos.

#### **2.1.4.6. Planificación de la producción:**

- Establecimiento de las secuencias y ciclos de producción.
- Especificación de las cantidades de los componentes.

#### **2.1.4.7. Transporte:**

- Selección del modo y medio de transporte.
- Consolidación de los envíos.
- Establecimiento de rutas de transportes.

- Distribución y planificación de los vehículos de transporte.
- Elección de un operador logístico con quien subcontratar los servicios.

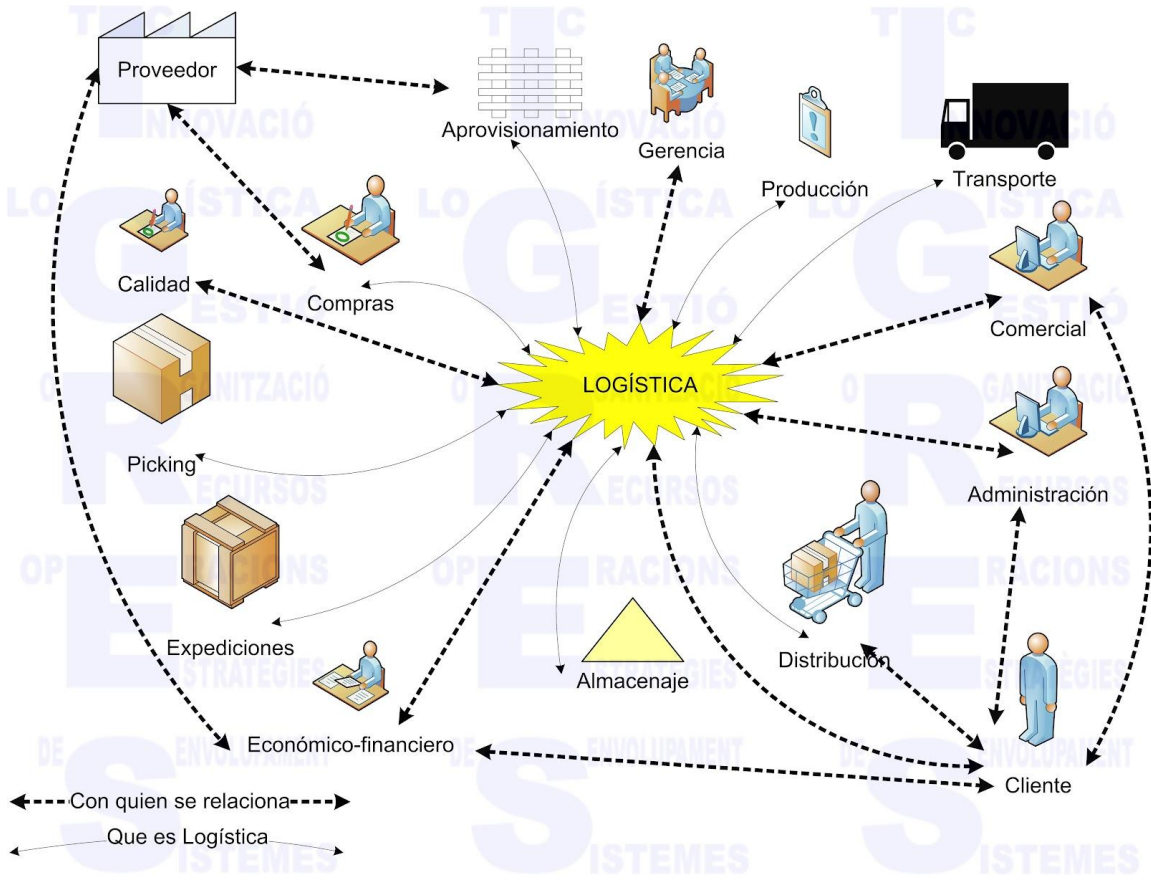
#### **2.1.4.8. Servicio al cliente:**

- Determinación de las necesidades logísticas de los clientes.
- Establecimiento de los niveles de servicio requeridos.
- Conocimiento de la respuesta del cliente al nivel deservicio que recibe.
- Gestión de la logística inversa: la recogida de devoluciones de materiales o envases.

#### **2.1.4.9. Gestión de la información**

- Recogida y almacenamiento de datos.
- Establecimiento de procedimientos de control.
- Análisis de la información.

**Figura 2.4 Distintas funciones de la Logística**



Fuente <http://www.igrescat.net/>

## **2.1.5. Decisiones a nivel estratégico, táctico y operacional**

### **2.1.5.1. Nivel estratégico**

La primera decisión a tomar en cuanto al diseño de sistemas logísticos, es a nivel estratégico y tiene relación al tipo de estrategia de distribución. El tipo de estrategia de distribución puede ser crear una red logística propia, o por cuenta ajena utilizando los canales de distribución ya establecidos. Regularmente basándose en cuestiones económicas se prefiere la segunda opción debido a la gran inversión y riesgo que se debe asumir para el establecimiento de una nueva red. Por otra parte, los intermediarios no sólo distribuirán y venderán los productos, sino que también los de la competencia, por lo que su volumen de ventas reduce los costos de distribución.

Desde luego, existen alternativas intermedias.

Respecto a la cobertura de mercado, es decir, la mayor o menor amplitud de puntos de venta en una determinada localidad, se puede clasificar la estrategia de distribución en:

- **Intensiva:** Este tipo de distribución pretende llegar al mayor número de puntos de venta, aun cuando algunos no sean rentables. Su principal inconveniente es la gran cantidad de intermediarios necesarios y su difícil control.
- **Exclusiva:** La distribución exclusiva pretende la presencia del producto en un solo punto de venta por área geográfica delimitada, sea por la vía mayorista o minorista. En este caso desaparecen los inconvenientes de la distribución intensiva.
- **Selectiva:** La distribución selectiva es una estrategia que mezcla las anteriores. Las consideraciones que llevan a elegir entre algún tipo de estrategia tiene que ver con la capacidad de ventas que tienen los distribuidores, su imagen, los servicios que prestan, instalaciones y mantenimiento de éstas, etc., el tamaño de los pedidos y otro tipo de aspectos como la participación de los distribuidores en los gastos de promoción y publicidad.

### **2.1.5.2. Nivel táctico**

La segunda decisión a tomar en el diseño de las redes de distribución es a nivel táctico, éstas se enfocan a dimensionar un sistema logístico. Los sistemas de distribución frecuentemente tienen una flota de vehículos, que se expresará en Unidades de Transporte (UTs), las cuales circulan en redes predefinidas y transportan personas o bienes Dependiendo de las necesidades del cliente. El término UT se refiere a containers reutilizables, grúas horquillas, vehículos guiados a distancia, así también como los tradicionales tipos de UT como automóviles, camiones, buses, ferrocarriles o aeroplanos.

La capacidad de un sistema de transporte está directamente relacionada con el número de UTs disponibles. Los propietarios de los sistemas de transporte invierten en UTs para tener la capacidad de satisfacer la demanda. Determinar el número óptimo de UTs para un sistema en particular, requiere encontrar un equilibrio entre el coste de una UT y el costo o penalización asociado con no entregar un pedido o no satisfacer la demanda correctamente. La flota de UTs que está disponible para atender a los clientes depende de la estrategia de distribución de cada empresa. Por un lado, éstas estrategias motivan tienden a evitar la utilización de un sistema con muy pocas UTs.

Por otra parte, estas UTs a menudo representan una inversión de capital considerable, ya sea porque cada UT es caro o porque el funcionamiento del sistema requiere un gran número de UTs de relativo bajo costo. Sean cuales sean las UTs a utilizar por la flota, previo a su selección se requiere responder tres preguntas muy relacionadas:

- ¿Cuántas UT debe contener una flota de despacho?
- ¿Cómo distribuir las UT que no están siendo utilizadas en algún lugar entre las demás ubicaciones de la red?
- ¿Qué clientes atiende cada UT?

El diseño de los sistemas de distribución requiere de tareas de mediano y corto plazo. Las tareas a mediano plazo tienen que ver con decisiones que implican o comprometen una gran cantidad de recursos o son difíciles de revertir, por ejemplo la ubicación de plantas, centros de distribución, bodegas, puntos de venta o similares requieren de un enfoque a mediano plazo. Para este caso se utilizan modelos de ubicación de facilidades. Las tareas a corto plazo tienen que ver con decisiones respecto al tipo de transporte a utilizar, capacidad de flota de transporte, rutas a realizar en la distribución, entre otras. Para resolver esta clase de problemas de corto plazo se utilizan modelos de ruteo, los cuales nos brindan una gran variedad de posibilidades de solución.

### **2.1.5.3. Nivel operacional**

La tercera decisión que se debe tomar en el diseño de las redes logísticas es a nivel operacional, éstas se enfocan en la determinación de la mejor forma para transportar los productos una vez que se hayan tomado las decisiones de nivel estratégico y táctico. El transporte de carga juega un papel fundamental las cadenas de suministro. Es esencial para poder transportar las materias primas que provienen de diferentes fuentes a las plantas, los productos semiacabados entre las fábricas y los productos acabados a los clientes y puntos de venta.

Los sistemas de transporte son en su mayoría complejos y pueden llegar a requerir considerables recursos humanos, financieros y materiales. El presupuesto y costos de transporte son una parte importante de los costos de logística en varias industrias. Son varios los involucrados en el transporte de productos. Por un lado están los productores e intermediarios, que originan la necesidad de transporte para vender sus productos. Y por otro lado los transportis-

tas que prestan el servicio de suministro de transporte, este puede ser por medio de ferrocarriles, vehículos motorizados terrestres, transporte marítimo y aéreo. Algunas empresas operan su flota de transporte de forma propia para que actúen como una flota totalmente dedicada, en otros casos las empresas recurren a flotas contratadas de forma externa y también se da el caso de flotas mixtas, donde se posee una flota base para atender las necesidades básicas o programadas y una flota externa para situaciones excepcionales o no programadas.

### **2.1.6. Costos Asociados**

Al estar este trabajo enfocado a la realización de un modelo de ruteo vehicular, es necesario sumergirse en el tema de los transportes, ya que son un elemento fundamental para la realización del servicio que entrega la empresa.

**2.1.6.1. El costo de operar una flota:** Los principales costos en la operación de una flota de vehículos relacionados con el salario de personal, seguros, consumo de combustible, depreciación del vehículo, mantenimiento, seguros, administración y ocupación. Los salarios y los seguros dependen del tiempo de consumo, combustible y mantenimiento a distancia que se debe recorrer, la depreciación depende tanto de tiempo de uso y la distancia recorrida, mientras que los costes de administración y la utilización son habitualmente considerados como un cargo fijo anual.

**2.1.6.2. El costo en transporte de un envío:** El costo que se paga para el transporte de un envío suelen compartir algunos gastos comunes. Por ejemplo, el transporte de varios artículos que se mueven en el mismo vehículo, es difícil determinar cuánto del costo del viaje tiene que ser asignado a cada producto que es parte del envío. Del mismo modo, en otros casos un costo de envío puede no estar bien definido debido a viajes con el vehículo vacío, que es necesario para mover camiones de cada punto de entrega al siguiente punto de recogida.

**2.1.6.3. El costo de contratación de un vehículo:** La tarifa de alquiler incluye, además de los costos pagados por la compañía, un recargo que regularmente no es mencionado públicamente y tiene relación a ciertas condiciones de contrato.

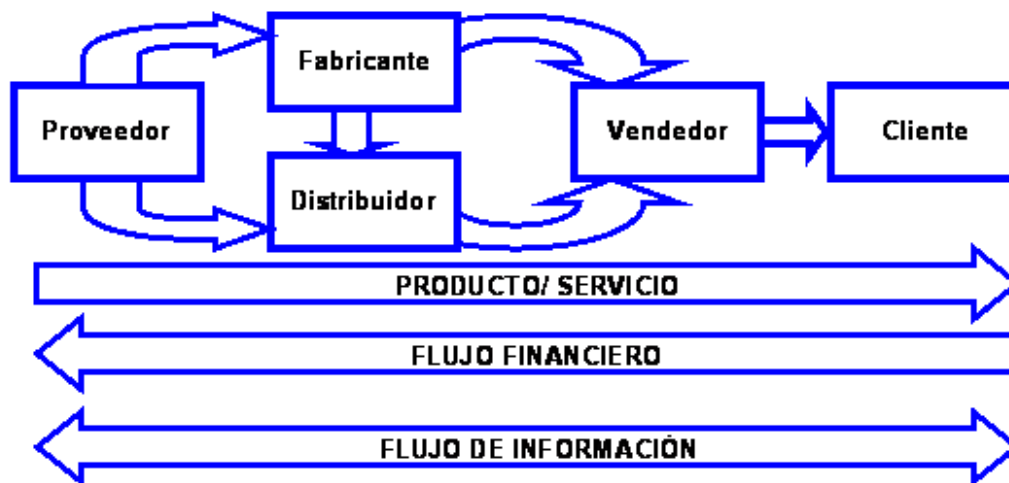
**2.1.6.4. El costo de utilizar una empresa externa:** Al utilizar una compañía pública, el costo para el transporte de un envío puede ser calculado sobre la base de las tarifas publicadas por la compañía. Para el transporte a medida, el costo de una carga completa depende tanto del origen y destino, así como el tamaño y equipamiento del vehículo requerido. Para el transporte basado en la consolidación, a cada envío se le asigna un número (llamado clase) que depende de las características físicas (peso, densidad, etc.) de las mercancías, donde cada clase tiene diferentes tarifas. Las tarifas (es decir, el costo de transporte por unidad de peso) dependen del origen y el destino del movimiento, así como en el peso del envío y su clase.

**2.1.6.5. Gastos de manejo (handling):** Los costos de manejo se producen al realizar un trabajo extra al envío del producto, como puede ser la inserción de los artículos en un recipiente (por ejemplo, un *pallet* o un contenedor), la carga de un vehículo, y revertir estas operaciones en el destino.

### 2.1.7. Conceptos Claves

Como hemos visto anteriormente la logística es un proceso relacionado con la administración eficiente del flujo de bienes y servicios y que su operatoria afecta el desenvolvimiento de muchas áreas de la organización. Por dicha razón, podemos englobar todo en un Sistema Logístico que mediante la sincronización de sus funciones componentes, como se detallaron anteriormente, permite lograr un flujo ágil para responder velozmente a una demanda cambiante y cada vez más exigente.

Figura 2.5 Sistema Logístico



Fuente Elaboración propia

Como todo sistema, su análisis y la comprensión del mismo pueden obtenerse a partir del estudio de sus partes componentes. Cabe destacar que el desarrollo de esta tesis se centra dentro del sistema de Distribución que corresponde al traslado de bienes o servicios, que en este caso son los llamados stands o muebles de promoción a los respectivos puntos de venta.

De esta forma, podemos abordar el sistema logístico considerando los siguientes subsistemas: logística de aprovisionamiento o abastecimiento, logística de planta o manufactura y logística de distribución. Centrando una mayor importancia a esta última.

Tres de los conceptos que se deben manejar a lo largo de esta memoria son:

#### 2.1.7.1. Abastecimiento

El Sistema de Abastecimiento es el conjunto interrelacionado de políticas, objetivos, normas, atribuciones, procedimientos y procesos técnicos orientados al racional flujo, dotación

o suministro, empleo y conservación de medios materiales; así como acciones especializadas, trabajo o resultado para asegurar la continuidad de los procesos productivos que desarrollan las entidades integrantes de la administración

Es la parte de la logística que tiene la responsabilidad de poner a disposición de la empresa todos aquellos productos, bienes y servicios exteriores que sean necesarios para su funcionamiento. Sus responsabilidades son:

- Prever las necesidades, planificarlas en el tiempo y expresarlas en términos adecuados.
- Buscar y adquirir en el mercado las necesidades de la empresa.
- Recibir las necesidades dentro del plazo previsto.
- Realizar la previsión de los pagos.

Hoy, el aprovisionamiento se ha convertido en una función estratégica, no clave en el éxito de la empresa, salvo en casos poco frecuentes en los que el volumen económico de las compras sea muy bajo con respecto a la facturación.

Las razones de esta importancia están en:

- Agilidad de los mercados, con múltiples empresas candidatas a ser suministradoras, cada una con sus características de precios y servicios.
- Variaciones en la demanda de los productos y en sus precio
- Dificultad de financiación de las empresas e importancia de los costes financieros. Siempre hay que considerar que los inventarios tienen un valor económico y considerar la proporción circulante/activos.
- Estrechos márgenes de beneficios, que hace que una reducción en el costo de las compras genere una mejora apreciable del beneficio .De modo que los objetivos de la logística de aprovisionamiento serán la selección de los proveedores más adecuados por precios y condiciones de servicio (plazo de entrega, fiabilidad en los plazos, etc.) y la reducción de los inventarios buscando la combinación económicamente más favorable a la empresa.

### **2.1.7.2. Almacenaje**

Es función de la logística conseguir que los materiales necesarios para el proceso de la empresa (sea el proceso productivo o el comercial de distribución) estén disponibles en el momento adecuado. Para lograrlo se parte de unos tiempos de acopio y unas previsiones que pueden ser más o menos ajustadas. Una función de los almacenes es la de dar una solución a la incertidumbre que provocan las previsiones, así como eliminar las tensiones en la cadena de suministro.

También tienen una función económica en la definición del tamaño de lote de acopio o servicio y en las compras especulativas: aquellas que se hacen para aprovechar determinadas condiciones del mercado. Por otra parte, no debe perderse la visión del valor del activo circu-

lante que se encuentra en los almacenes y que no genera ningún beneficio a la empresa mientras se encuentra allí depositado: la política de control del tamaño de los inventarios puede llegar en algunos casos a marcar la diferencia entre empresas rentables y no rentables.

Las principales funciones de los almacenes son:

- Regulación de los desequilibrios entre oferta y demanda: Dependiendo de la actividad de la empresa, existen múltiples casos.
  - Existen los casos en los que la calidad de servicio al cliente es crítica y la coordinación entre almacenes, acopios y cadena productiva debe impedir a toda costa roturas de stock que provoquen desabastecimiento a los clientes. En estos casos los almacenes se dimensionan en previsión de la variabilidad de la demanda.
  - En casos de demanda estacional, los almacenes se utilizan para laminar la producción durante un ciclo más largo, permitiendo reducir las inversiones en elementos de producción y mantener constante la actividad del personal.
  - En general siempre existe incertidumbre en la demanda y en la calidad del servicio de los proveedores. Para que esto no influya en el proceso de la empresa se utilizan los almacenes con función reguladora.
- Reducción de costos: Analizando los costos de realizar un envío, los costos de almacenaje y manipulación y los costos financieros de mantener un stock, se llega a la conclusión de que existe un tamaño de lote óptimo. El exceso de material que no precise ser consumido de inmediato será almacenado en espera de su uso.
- Compras especulativas: En casos de variaciones importantes de precios en el mercado, es posible que sea estratégico para la empresa realizar fuertes acopios para el consumo a largo plazo. En este caso se requerirá de unos almacenes capacitados para mantener los stocks.
- Complemento del proceso productivo: En ocasiones el almacenamiento puede llegar a formar parte del proceso productivo. Es el caso de productos alimenticios como el envejecido de vinos o el curado de jamones, el secado de materias primas como la madera, etc. En estos casos se está supeditado a las condiciones impuestas por el proceso productivo.

Algunas pautas para los almacenes son:

- Coordinación con el resto de funciones de la empresa: deben estar integrados en el sistema productivo, la tipología de clientes y proveedores.

- Control del volumen: Las cantidades almacenadas deben calcularse buscando el mínimo costo total, incluyendo compra, manipulación, mantenimiento, riesgo de desabastecimiento.
- Mínimo esfuerzo en su gestión, para lo que es recomendable reducir el espacio empleado, el tráfico interior y los movimientos.
- Flexibilidad para adaptarse a la realidad de la empresa en cada momento y a un costo razonable.
- Control del inventario: Es deseable que se pueda saber las cantidades y referencias de los materiales almacenados. Para ello existen soluciones informáticas, registros manuales o almacenes dedicados.

### **2.1.7.3. Distribución**

La problemática de la empresa surge desde la salida de los productos del centro de distribución hasta los clientes finales.

Es aquí donde nos centraremos ya que la problemática surge desde la salida de los productos, del centro de distribución hasta los clientes finales. La distribución es un arma estratégica que las compañías utilizan para poder llegar a sus clientes y consumidores de una forma óptima. Es acercar el producto al consumidor para que este lo pueda adquirir fácilmente cuando lo desee.

En la distribución se deben tomar en cuenta las características del producto a distribuir, los tiempos de vida del producto, las características especiales para que el producto se conserve de forma óptima: temperatura, fragilidad, manejo de empaques especiales, forma de acomodo en el transporte, documentos que deben acompañar al producto en su tránsito, etc. La distribución implica la planeación óptima del transporte y las rutas para llegar a los puntos finales de comercialización reduciendo los costos al mínimo y asegurando el cuidado de los productos para que no pierdan valor ante el consumidor.

Una cadena de distribución es el diseño final de los puntos de recolección, almacenaje, entrega y la selección de rutas fragmentándolas en primarias, secundarias, terciarias, etc. La distribución también implica la selección del transporte asignado a cada ruta, de tal manera que se pueda llegar desde el punto de recolección hasta el punto de entrega de manera confiable y con un costo óptimo.

La distribución física de un producto generalmente cuenta con cinco elementos fundamentales:

- Procesamiento de pedidos: Es la parte que se encarga de llevar la información del consumidor a la empresa suministradora con el fin de realizar productos y servicios de acuerdo a las necesidades del cliente.

- Control de inventarios: Su función es controlar el movimiento (entrada y salida) de productos para mantener un registro en los flujos de producción o ventas.
- Transporte: Con fines de producción, venta o entrega final.
- Manipulación de mercancías: Es la parte que se encarga de dar un tratamiento específico a los productos: envasado, agrupación, etc.
- Almacenamiento.

La distribución física de un producto generalmente cuenta con cinco elementos fundamentales:

- Procesamiento de pedidos
  - Además del flujo de materiales existe un segundo flujo de información que circula en sentido contrario. De la exactitud, agilidad y gestión del flujo de información depende en gran medida la rapidez y eficiencia de la logística de materiales. No es extraño encontrar plazos de entrega que se multiplican por dos o por tres al añadir al tiempo de servicio, los tiempos administrativos de cliente y proveedor: En muchos casos, una pequeña inversión en la mejora del flujo de información va a conseguir un alto rendimiento económico en la cadena logística.
- Control de los inventarios
  - Es deseable que se pueda saber las cantidades y referencias de los materiales almacenados. Para ello existen soluciones informáticas, registros manuales o almacenes dedicados.
- Transporte
  - En negocios con gran complejidad logística, el costo del transporte puede suponer el mayor coste de todos los involucrados en la producción y venta del bien, por lo cual, su gestión será crítica para la rentabilidad de la empresa. Como a todas las actividades, se les debe prestar mayor o menor esfuerzo según su importancia relativa.
  - La gestión del transporte incluye los siguientes componentes:
    - Selección de rutas.
    - Búsqueda y selección de las mejores ofertas.
    - Trazado de las rutas.
    - Ordenar y dirigir las expediciones.
    - Negociación de las reclamaciones por pérdidas o daños.
    - Comprobación de las facturas de los transportes.

## **2.2. Modelos de investigación de operaciones**

El sistema de transporte es el componente más importante para las organizaciones que prestan un servicio de almacenaje y distribución, debido a que el éxito de una cadena de abastecimiento está estrechamente relacionado con su diseño y uso adecuado. El transporte es el responsable de mover los productos terminados, materias primas e insumos, entre empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente, y agrega valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas. El transporte es uno de los puntos clave en la satisfacción del cliente. Sin embargo, es uno de los costos logísticos más elevados en lo que incurren las empresas de distribución de bienes.

Para lograr una mejora efectiva en la administración del sistema de transporte es necesaria la utilización de un sistema de asignación de rutas enfocado a la optimización del proceso de distribución de personas y mercancías cuyo objetivo principal es minimizar tiempos y costos en el proceso de entrega y en general, los costos totales de toda organización.

## **2.3. Problema de ruteo vehicular**

Uno de los problemas de transporte más estudiados e importantes es el problema ruteo de vehículos (VRP, Vehicle Routing Problem). Es una generalización del problema del vendedor viajero (TSP, Traveling salesman Problem), en donde un vendedor debe cubrir un número determinado de ciudades, de forma que cada destino sólo se visita por uno de ellos y cada viaje empieza en una ciudad base que es también el final del recorrido. En este caso, se desea minimizar la suma de las distancias recorridas a lo largo de todas las rutas. El número de vendedores puede ser fijo o una variable de decisión. Donde existe una demanda asociada a cada ciudad y una capacidad determinada de transporte para cada uno de los vehículos. Algunos autores le han llamado CVRP “Capacitated Vehicle Routing Problem”, debido a que el total de la demanda de las ciudades visitadas en una ruta no debe superar la capacidad del vehículo. Aquí, el objetivo puede ser reducir al mínimo posible la suma de la distancia recorrida por todas las rutas, el número de vehículos, o una combinación de ambos criterios. En algunos casos se imponen ciertas restricciones como el número de vehículos disponibles o el total de clientes visitables en cada ruta.

Es importante destacar el hecho de que tanto para los problemas TSP como para los VRP, la dirección en la cual se desarrolla la ruta carece de importancia, cosa que no ocurre con el TSPTW “Traveling Salesman Problem with Time Windows”, donde cada cliente restringe la satisfacción de su demanda a un horario de reparto o recogida determinado.

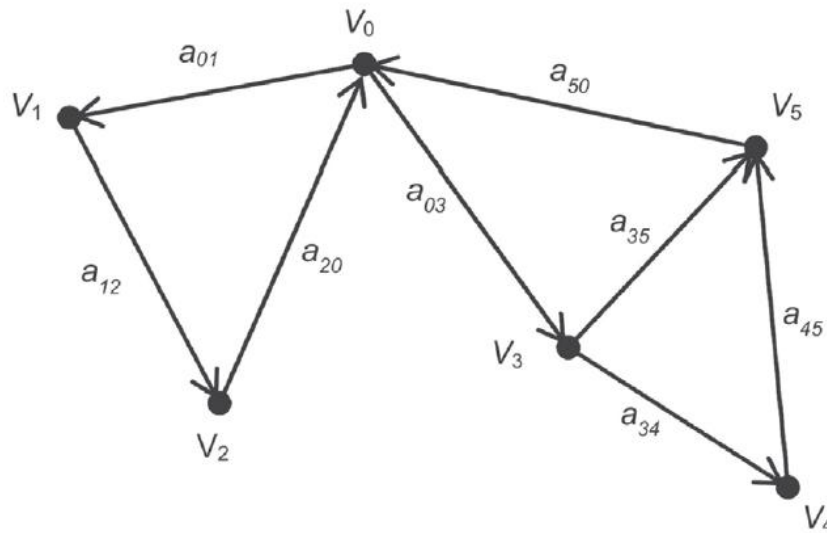
En resumen el objetivo del VRP es minimizar el costo de las rutas, que inician y terminan en un depósito, para un conjunto de clientes con demandas conocidas. Las variables o parámetro en este problema son: visitas, depósitos, localizaciones geográficas, vehículos, capacidades y pesos. Las visitas son entregas o recolección de paquetes; el depósito es donde comienzan y terminan las rutas; las localizaciones geográficas involucran tiempo, distancia,

origen y destino; los vehículos son los encargados de realizar los viajes (existen dos tipos de flotas, una flota homogénea, cuando son todos los vehículos iguales y una heterogénea, cuando son todos estos diferentes); las capacidades son las características de los vehículos, se distinguen como: volumen total, carga total y número de plataformas; los pesos especifican el costo de recorrido entre las localizaciones geográficas.

En los problemas reales de VRP aparecen muchas restricciones, entre las que cabe citar:

- Cada vehículo tiene una capacidad limitada.
- Cada cliente tiene que ser visitado dentro de una ventana determinada de tiempo.
- Varios puntos de suministro (problema de VRP con múltiples depósitos).
- Los clientes pueden ser atendidos por varios vehículos (problema VRP con suministro dividido).
- Algunas variables del problema son aleatorios, tales como el número de clientes, sus demandas, etc. (problema VRP estocástico).
- Las entregas se deben realizar en determinados días (problema VRP periódico).

**Figura 2.6 Ejemplo de solución de problema de ruteo**



**Fuente Solución de problemas de ruteos de vehículos con restricciones de capacidad usando teoría de grafos. Alexander Correa Espinal, Ph D, Juan Cogollo Flores, M Sc, Juan Salazar López, M Sc. Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.**

### 2.3.1. El Problema de Ruteo de Vehículos Estático

Siendo el VRP considerado como el problema central de la distribución de bienes y servicios, su versión asume muchos supuestos limitantes para su implementación práctica en problemas reales. Entre estos, se pueden indicar:

- Los vehículos atienden desde una sola bodega.
- Los vehículos sólo reparten o recolectan, pero no ambas a la vez.
- Los clientes son atendidos por un solo vehículo.
- El período de planificación dura sólo un día.
- No se consideran ventanas de tiempo.
- Los tiempos de viaje son constantes y conocidos durante todo el período de planificación.

Es por esto que a partir de la entrada del VRP, en el último tiempo se han estudiado una diversidad de extensiones y variaciones que han incorporado nuevas restricciones, obviando algunos de los supuestos recién enumerados y logrando adaptarse mejor a las necesidades que la gestión logística va generando.

En el caso del primer supuesto, resulta frecuente que las empresas distribuyan utilizando más de un depósito. El problema de ruteo vehicular con múltiples depósitos, en inglés Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP), ha sido estudiado, entre otros, por Gillett y Johnson en el documento Multi-terminal vehicle-dispatch algorithm y por Cordeau, J., Gendreau, M. y Laporte, G en el documento A tabú search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problem.

En algunas ocasiones, existe la posibilidad de que los clientes no sólo reciban carga, sino que también regrese mercadería, lo que se conoce como logística reversa. Esta característica es considerada en el problema de ruteo vehicular con carga y descarga simultánea, en inglés VRP with Simultaneous Pick-up and Delivery (VRPSPD). Este problema ha sido estudiado, entre otros, por Min en el documento The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up pointsy, más actualmente, por Bianchessi y Righini Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery.

Un escenario un tanto más restrictivo está modelado en el problema de ruteo vehicular con devoluciones, en inglés Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB), en donde en cada ruta se debe repartir toda la carga antes de cargar nuevamente el vehículo. Este problema ha sido estudiado, entre otros, por Deif y Bodin en el documento Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing with backhauling. Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistics Management Toth y Vigo (1997), y, más recientemente, por Brandão en A new tabu search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls Estas restricciones adicionales, pueden hacer más complejo el

problema de planificación de rutas, lo que puede traducirse en una mala utilización de la capacidad de la flota, incrementando las distancias recorridas y el número de vehículos a utilizar.

Una limitación importante presente en la formulación original del VRP es que cada cliente es abordado exclusivamente por un solo vehículo. El problema de ruteo vehicular con atención segregada, en inglés Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP) disminuye esta restricción y aprueba que un cliente pueda ser atendido por más de un vehículo, lo que puede ser provechoso en problemas donde la demanda de los clientes es mayor en relación a la capacidad de los vehículos. Este problema ha sido estudiado, entre otros, por Dror y Trudeau en Saving by Split delivery Routing y Chen S., Golden, B. y Wasil, E en The split delivery vehicle routing problem: A new heuristic and benchmark problems.

El VRP, en su forma original, cuenta con un único período de planificación, que normalmente se relaciona a un día. Con respecto a la distribución de bienes, en muchas situaciones reales se requiere de más de un día de planificación, como por ejemplo la recolección de basura. El problema de ruteo vehicular multiperíodo, en inglés Period Vehicle Routing Problem (PVRP), se define como el problema de hallar el ruteo mas óptimo para un período compuesto por X días. Véase que en el PVRP a los clientes no sólo se le deben asignar rutas, sino que también deben ser asignados a días. Este problema se puede encontrar en Beltrami y Bodin en Networks and vehicle routing for municipal waste collection, y una versión más actual en Francis y Smilowitz Modeling techniques for periodic vehicle routing problems

El VRP y sus ramificaciones a las cuales se ha hecho alusión, conciernen a problemas de carácter puramente espacial y estático, lo cual será tratado posteriormente. Una investigación reciente de problemas de ruteo de vehículos puede encontrarse en Golden B., Raghavan, S. y Wasil, E. (2008). The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges

Durante las últimas décadas, se han desarrollado diversas incorporaciones al VRP que muestran como por ejemplo restricciones temporales al problema. El problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo, en inglés Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), es una evolución del VRP donde además de la limitación de capacidad de carga de los vehículos se añade la condición de que cada cliente debe ser visitado dentro de un intervalo de tiempo determinado. Algunas contribuciones significativas pertenecen a Golden y Assad, Solomon en Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints Antes y Derigs en A new parallel tour construction algorithm for the vehicle routing problem with time windows. , Bramel y Simchi-Levi y Bräysy y Gendreau en sus respectivos trabajos.

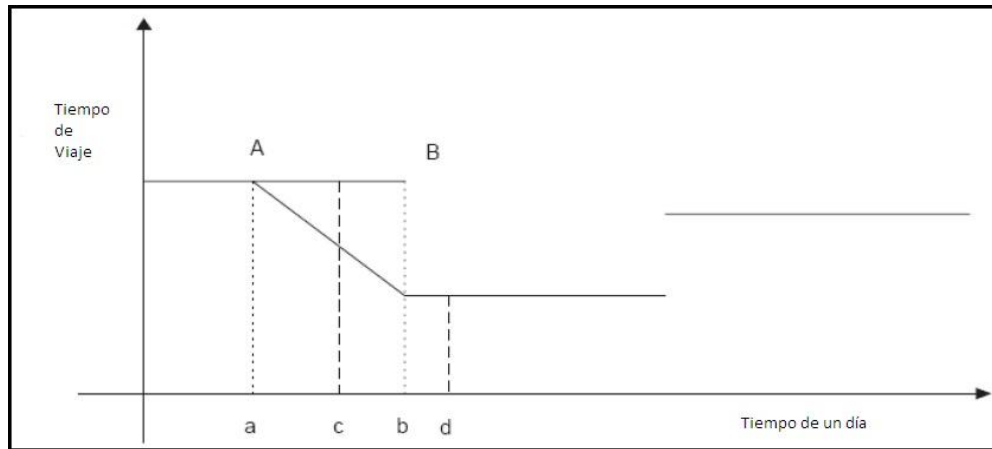
Es trascendental señalar, que los problemas que a analizaran continuación se, son de naturaleza determinística, es decir, no incluyen estocasticidad. Los problemas estocásticos han sido estudiados, entre otros, por Gendreau, M. Laporte, G. y Séguin, en Stochastic Vehicle Routing, y más actualmente, por Kim S., Lewis, M. y White, C en Optimal Vehicle Routing With Real-Time Traffic Information.

### 2.3.2. El Problema de Ruteo de Vehículos con Tiempos de Viaje Dependientes del Tiempo

En muchos países, los altos niveles de congestión pueden provocar que las circunstancias de la red de repartición cambien radicalmente de un momento del día a otro. Las variantes del VRP que consideran este aspecto, en inglés el Time Dependent Vehicle Routing Problem (TDVRP), fijan diferentes tiempos de viajes en los arcos de la red de acuerdo al momento del día.

Al alterar los tiempos de viaje en los arcos a lo largo del período de planificación, se debe tener en cuenta la propiedad First-In-First-Out (FIFO). Si los tiempos de viaje son modelados como una función escalón, como en la Figura 2.4, es posible que un vehículo que parte en un tiempo “d” arribe más temprano que un vehículo que parte en un tiempo “c”. Dado que cualquier partida entre  $a$  y  $(b-\epsilon)$ , con  $\epsilon \rightarrow 0$ , llegará al destino más tarde que cualquier partida en  $(b+\epsilon)$ , todas las partidas deberán esperar hasta este tiempo  $(b+\epsilon)$ . Este escenario, en la práctica, no es realista e implica que los tiempos de viaje no debieran ser representados por una función escalón.

**Figura 2.7 Función Escalón de los Tiempos de Viaje**



**Fuente: Haghani y Jung (2005)**

Como base se recopiló información bibliográfica de los trabajos de Malandraki y Daskin, Ichoua y Fleischmann.

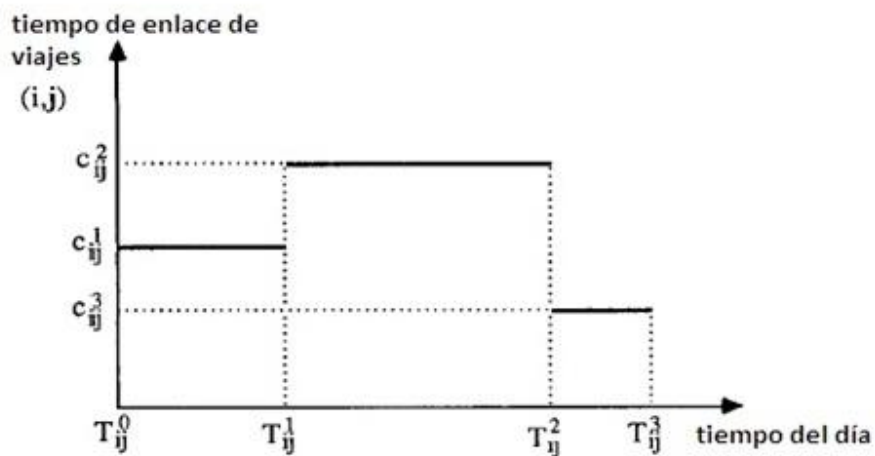
En el artículo de Malandraki y Daskin Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms., el TDVRP es precisado como “Una flota de vehículos de capacidad fija sirven clientes de demandas fijas desde una bodega central. Los clientes son asignados a los vehículos y estos son ruteados de tal forma que el tiempo total de

las rutas sea el mínimo. El tiempo de viaje entre dos clientes o entre un cliente y la bodega depende de la distancia entre los puntos y la hora del día<sup>5</sup>.

Se muestra una formulación de programación lineal entera mixta para el TDVRP. En la cual se ocupa una red completa y una matriz dependiente del tiempo, donde el tiempo de viaje entre un nodo  $i$  y un nodo  $j$  depende del tiempo en la que el vehículo parte desde  $i$ . Así, los tiempos de viaje son asimétricos, esto quiere decir que el tiempo de viaje entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$  puede ser diferente que aquel entre el nodo  $j$  y el nodo  $i$ .

En la formulación, se minimizan los tiempos totales en ruta, que incluyen tiempos de viaje, tiempos de atención, y tiempos de espera en los nodos.

**Figura 2.8 Función de Tiempos de Viaje de un arco  $(i, j)$  con  $M_{ij} = 3$ .**



**Fuente: Malandraki, C. y Daskin, M.S. (1992). Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms. Transportation Science, 26, 185-200.**

En el artículo de Ichoua Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times, los autores exhiben un modelo cimentado en velocidades de viaje dependientes del tiempo que satisfacen la condición de FIFO.

En la definición del problema, se consideró una flota homogénea de vehículos de capacidad fija, que debe servir clientes de demandas fijas dentro de un horizonte de tiempo dividido en varios intervalos de tiempo. Se contaba con una matriz dependiente del tiempo que con-

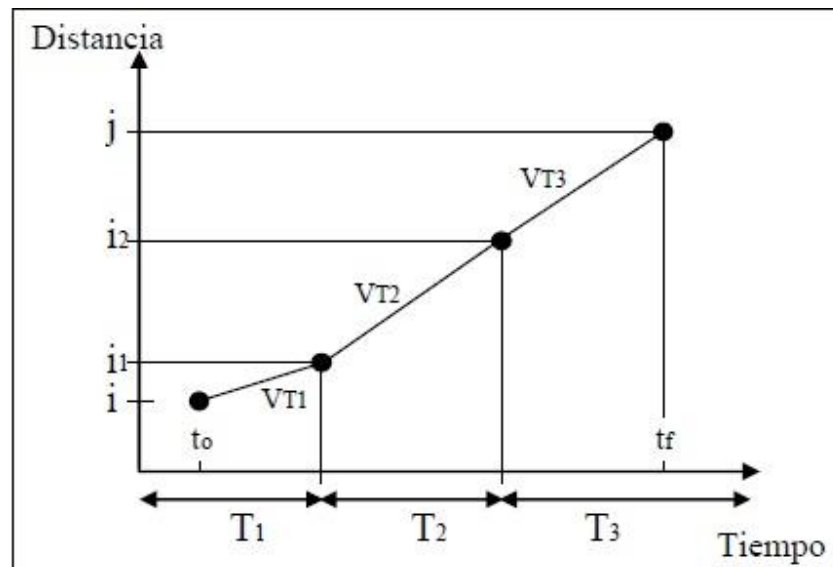
<sup>5</sup> Malandraki, C. y Daskin, M.S. (1992). Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms. Transportation Science, 26, 185-200.

tenía los tiempos de viaje entre cada par  $(i, j)$  para cuando el vehículo parte desde  $i$  dentro de un determinado intervalo de tiempo<sup>6</sup>

Asimismo se consideraron ventanas de tiempo suaves para los clientes, y dura para la bodega, ya que el objetivo consistía en minimizar el costo total de las rutas, que contenía a los tiempos totales de viaje y la tardanza total sobre todos los clientes.

Originariamente, se planteó una función de tipo escalón para los tiempos de viaje, pero puesto que no cumple con FIFO, se propuso trabajar con velocidades dependientes del tiempo, conviniendo la velocidad cuando el vehículo cruzara el límite entre dos intervalos. Luego, las velocidades de viajes eran indexadas según período de tiempo y arco, disminuyendo el tiempo computacional, pero incrementando así el costo de almacenamiento. Para delimitar el número de valores para las velocidades a estimar, el conjunto de arcos fue dividido en diversas categorías, con lo que la velocidad de viaje durante un período en un arco  $(i, j)$  que corresponde a una categoría, es igual a la velocidad asociada a esa categoría en aquel período de tiempo. A juicio de los autores, el dividir los arcos parece un supuesto razonable para redes de transporte urbanas, porque los arcos, habitualmente, pueden dividirse según sus características físicas<sup>7</sup>.

**Figura 2.9 Cambio en velocidad de viaje durante el tiempo para un arco dado.**



**Fuente: Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2003). Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times. European Journal of Operational Research, 144 (2), 379-396.**

<sup>6</sup> Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2003). Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times. European Journal of Operational Research, 144 (2), 379-396.

<sup>7</sup> Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2003). Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times. European Journal of Operational Research, 144 (2), 379-396.

En el artículo de Fleischmann *Time-Varying Travel Times in Vehicle Routing* los autores muestran una desviación de los datos de tiempos de viaje resultantes del Sistema de Información de Tráfico de Berlín, medidos entre 1988 y 1996, donde el largo de los intervalos de tiempo considerados fue de 5 minutos entre las 5 a.m. y las 11 p.m., y de 6 horas para el resto del día. Además, se describe un marco general para la implementación de tiempos de viaje dependientes del tiempo en el VRPTW<sup>8</sup>.

Al utilizar tiempos de viaje dependientes de las condiciones de operación de la red, se puede traducir en importantes beneficios. Por ejemplo, si se usan arcos no congestionados durante el día, el tiempo total de viaje debiera disminuir. Conjuntamente, el itinerario se vuelve más confiable y, es por esto que podrá satisfacer de mejor manera las restricciones de tiempo que se pudieran imponer.

Para la modelación de los tiempos de viaje, los autores definieron  $\tau_{ijk}$  como el tiempo de viaje mínimo entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$  cuando el tiempo de partida es en el intervalo de tiempo  $Z_k$ , donde el día fue dividido en intervalos de tiempo  $Z_k = [z_k, z_{k-1}]$ , con  $(k = 1, \dots, K)$ , y donde  $[z_K, z_0]$  corresponde al día completo o al período relevante de planificación. Los nodos representaban a los clientes y a la bodega en el VRP.

Los datos presentaban saltos al pasar de un intervalo de tiempo a otro, por lo que los autores linealizaron la función de tiempos de viaje. Esta linealización, se realiza en un intervalo  $[z_k - \delta_{ijk}, z_k + \delta_{ijk}]$  con un apropiado parámetro  $\delta_{ijk}$  y pendiente<sup>9</sup>:

$$s_{ijk} = \frac{\tau_{ij,k+1} - \tau_{ijk}}{2 * \delta_{ijk}}$$

Luego, la función de tiempo de viaje ( $\tau$ )  $\tau_{ij}$ , que es definido como el tiempo de viaje desde  $i$  a  $j$  para el tiempo de partida  $t$  en  $i$ , para  $k = 1, \dots, K$  y  $\delta_{ij0} = \delta_{ijk} = 0$  viene dada por:

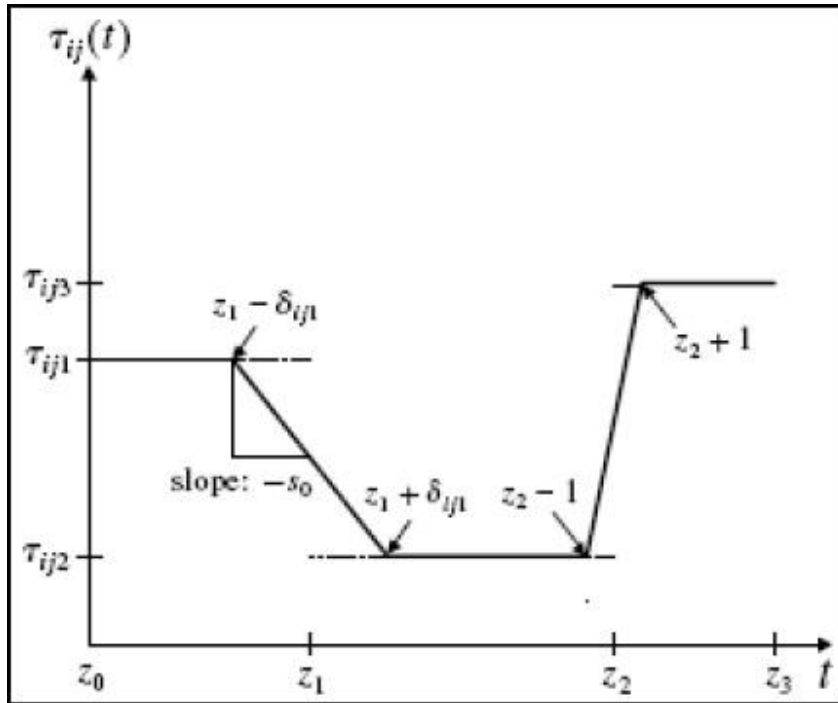
$$\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \tau_{ijk} & \text{para } z_{ijk} + \delta_{ijk-1} \leq t \leq z_k - \delta_{ijk} \\ \tau_{ijk} + (t - z_k + \delta_{ijk}) * s_{ijk} & \text{para } z_k - \delta_{ijk-1} \leq t \leq z_k \end{cases}$$

Respecto del parámetro  $\delta_{ijk}$ , este corresponde cumplir con que su valor sea menor que el largo de los intervalos a los que pertenece  $z_k$ . La Figura 2.7 muestra cómo queda la función linealizada.

<sup>8</sup> Fleischmann, B., Gietz, M. y Gnutzmann, S. (2004). *Time-Varying Travel Times in Vehicle Routing*. *Transportation Science*, 38 (2), 160-173.

<sup>9</sup> Fleischmann, B., Gietz, M. y Gnutzmann, S. (2004). *Time-Varying Travel Times in Vehicle Routing*. *Transportation Science*, 38 (2), 160-173.

**Figura 2.10 Función Suave de los Tiempos de Viaje (t)  $\tau_{ij}$ .**



**Fuente: Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2003). Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times. European Journal of Operational Research, 144 (2), 379-396**

Teniendo la función de tiempos de viaje linealizada, se definió una función de tiempo de arribo como la suma entre el tiempo de partida y el tiempo de viaje para ese instante de partida para así cumplir con la condición de FIFO en la red.

### **2.3.3. El Problema de Ruteo de Vehículos con Información en Tiempo Real**

El VRP con datos en tiempo real, en inglés Real Time – Vehicle Routing Problem (RT-VRP), y el RT-VRPTW, es una de las variedades del VRP, y del VRPTW, donde se considera información en tiempo real, como clientes que solicitan el servicio a medida que el tiempo transcurre, o como aquella que hace variar tiempos de viaje producto de incidentes que se generan en la red. Así, pueden existir requerimientos por el servicio en tiempo real y/o cambios en los tiempos de viaje en la red.

En el RT-VRP, el planificador puede no conocer toda la información al momento en que el proceso de ruteo empieza. Además, en el caso del RT-TDVRP, la información, incluyendo demandas y tiempos de viaje dependientes del tiempo, pueden variar después de que las rutas iniciales han sido montadas, y tal información puede no ser conocida con anterioridad.

Cuando aparece un nuevo cliente, la principal tarea del centro de despacho es incorporar en el plan actual de rutas. Más aún, si los tiempos de viaje han variado debido a un incidente de imprevisto, en orden de alcanzar un menor costo de viaje, los clientes entrantes ya asignados deben ser reasignados basándose en la localización y cargas de los vehículos en ruta. El centro de despacho debe entregar una respuesta rápida en orden de manifestar en tiempo real a las nuevas condiciones de operación.

Existen muchos artículos que estudian el RT-VRP. Por ejemplo, Regan Regan, A., Mahmassani, H. y Jaillet, P despliegan una técnica para la toma de decisiones dinámica de una flota comercial de despacho que utiliza información en tiempo real, en la que enfatizan los despachos en tiempo real y la aceptación de cargas, y desarrollan un marco de simulación para evaluar el funcionamiento de la misma. Durban y Hoffman estudian el problema de reparto de cemento que incluye ventanas de tiempo y múltiples depósitos, pero además incluyen demandas que surgen en tiempo real. Los autores crean una red espacio-tiempo y a partir de ella exponen un modelo de optimización. El aporte de los autores está primordialmente en el desarrollo de una herramienta de apoyo de decisiones que establece, entre otras cosas, si nuevas órdenes deberían ser admitidas, cuándo los conductores deberían comenzar su trabajo, la asignación en tiempo real de conductores a cargas de entrega y el envío de estos conductores a los clientes. Finalmente, Ichoua despliega una metodología para prever la localización de posibles clientes que surjan en tiempo real, por su parte Cortés añade técnicas de control para identificar los incidentes que se producen en la red para un problema de pick-up and delivery con flota fija.

Por otra parte, existen artículos en los que se desarrollan heurísticas para la solución de este problema de ruteo. La presente revisión bibliográfica se centralizará en los trabajos de Ichoua, Haghani y Jung y Chen.

En el documento *Diversion Issues in Real-Time Vehicle Dispatching* el problema es de recolección o entrega dinámica, solventado por aplicaciones de servicio de correo y considerando restricciones de ventanas de tiempo. En su versión estática, se trata simplemente del VRPTW en su versión original, pero, en su versión dinámica, se presentan algunas novedades.

Dada una nueva orden en el instante  $t$ , el problema es asignarla a un vehículo particular e incluirlo en su ruta planeada a mínimo costo.

Como pedestal, se uso la heurística de Búsqueda Tabú Paralela con Memoria Adaptativa que presenta Gendreau M. Laporte, G. y Séguin, R en *Stochastic Vehicle Routing*. Se realizó una implementación en paralelo, donde el “maestro” maneja la Memoria y crea la Solución Inicial, mientras los “esclavos” corren la Búsqueda Tabú.

Así como se presenta en esta heurística, el destino actual de los vehículos es fijo. No obstante, los autores proponer una modificación que no establece el destino actual como fijo y aprueba desvíos en las rutas. Los desvíos, consisten en aprobar a un vehículo que se desvíe de su actual destino para servir una orden que acaba de aparecer en los alrededores de su actual

posición. Entonces, la modificación que aquí se incluyó residió en considerar la posición actual como el nodo fijo, y así incluir a todos los potenciales destinos en la ruta que pasará por el proceso de optimización. Así, el proceso de re optimización, que se basa en intercambios de tipo CROSS, considera al destino “actual” como un nodo más.<sup>10</sup>

Como posición actual, se consideró la posición en la que los vehículos estarán una vez que el proceso de optimización ha finalizado, esto es, en  $t + \delta \cdot t$ , donde  $\delta \cdot t$  corresponde al tiempo requerido para aplicar el procedimiento de optimización.

El objetivo del problema consistió en la minimización de la suma de la distancia total recorrida y de las tardanzas totales sobre cada cliente, con restricciones de ventanas de tiempo y sin restricciones de capacidad. El número de vehículos se fijó según las mejores soluciones encontradas en la literatura para cada una de las instancias.

Para probar la heurística, se tomaron las instancias de Solomon. Los resultados mostraron que existe una reducción en la distancia total recorrida y en la tardanza total, así como también en el número de clientes no atendidos, al compararlos con los resultados que la heurística original entrega.

El artículo aquí expuesto, es relativamente escueto en cuanto a los elementos que el considera. Además, sólo la aparición de nuevos clientes forma parte de la información en tiempo real del problema y no se consideran diversificaciones en los tiempos de viaje, sino que sólo la manera de manipular la entrada de nuevos clientes. Además, no existe una implementación sobre una red real.

Retomando el artículo Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times, figura 2.6 página 42, brota como una ramificación dentro del mismo problema ya discutido, por lo tanto, incluye tiempos de viaje dependientes del tiempo, que cumplen con FIFO, y ventanas de tiempo.

Aquí, un nuevo evento puede ser de dos tipos: (i) la aparición de una nueva orden y (ii) el término del servicio a un cliente. El último, tiene relación con que el conductor no sabrá necesariamente cuál es su próximo destino dentro de propia ruta.

Entonces, una vez que haya terminado con el servicio, este debe ser informado ipsofactamente de ello. Ante la ocurrencia de alguno de estos eventos, la Búsqueda Tabú es usada para mejorar la solución actual.

Una nueva modificación que se realizó a este problema, respecto del anterior, es que si hubiese alguna flexibilidad de tiempo en el próximo destino del vehículo, el vehículo espera

---

<sup>10</sup> Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2000). Diversion Issues in Real-Time Vehicle Dispatching. *Transportation Science*, 34 (4), 426-438

en el origen en vez de en el destino. La idea es que el vehículo atienda a un posible cliente que podría aparecer en la vecindad de su actual posición.

Esta investigación, no considera que los tiempos de viaje puedan variar por incidentes, congestión no-recurrente.

En el documento *A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times* los autores exhiben una formulación para el problema de ruteo dinámico de vehículos con ventanas de tiempo suaves, tiempos de viaje dependientes del tiempo y control vehicular en tiempo real, y un algoritmo genético para resolverlo. El rendimiento de este algoritmo es evaluado confrontando sus resultados con soluciones exactas y cotas inferiores para problemas generados de forma aleatoria.

El problema estudiado, consideró órdenes y variaciones de los tiempos de viaje entre dos nodos en tiempo real, que pueden aparecer en cualquier instante a lo largo del período de planificación (en este caso de 8:00 hrs. a 18:00 hrs.). Sin embargo, las demandas que aparecen después de un cierto instante (en este caso las 14:00 hrs.), no son consideradas para el mismo período y deben esperar hasta el comienzo del siguiente<sup>11</sup>.

Las demandas pueden ser de dos tipos: pick-up o delivery, es por esto que no se permite que un vehículo recoja un producto desde un cliente para llevárselo a otro.

Las actualizaciones de rutas se realizan cada ciertos períodos de tiempo fijos, donde se incluyen todas las variaciones de tiempo y demandas no consideradas hasta ese momento, y, al igual que en el documento de Ichoua S., Gendreau, M. y Potvin, J. y en Chen H., Hsueh, C. y Chang, M se acoge el concepto de nodo crítico, siendo sólo los nodos de clientes los candidatos a serlo. Al actualizar las rutas, una orden de delivery, una vez que ha sido ordenada a un vehículo, no se puede cambiar a otro; en cambio, en el caso de pick-up, sí pueden intercambiarse las órdenes. Por esta razón, se puede manifestar que existen los desvíos, pero de manera restringida.

El problema es formulado como uno de programación lineal entera mixta, donde se minimiza el costo total, compuesto por: (i) costos fijos por uso de vehículos; (ii) costos de ruteo; (iii) costos por esperas para comenzar la atención; y (iv) penalidades por atrasos en la atención de los clientes.

Originariamente, los resultados del algoritmo genético propuesto son comparados con soluciones exactas y con procedimientos de búsqueda de cotas inferiores de un problema con demanda estática y tiempos de viaje dependientes del tiempo. El problema de mayor tamaño que pudieron solucionar con el algoritmo genético constó de 30 nodos y 30 intervalos de tiempo, y del cual no pudieron obtener una solución exacta.

---

<sup>11</sup> Haghani, A. y Jung, S. (2005). *A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times*, *Computers & Operation Research*, 32, 2959-2986.

Posteriormente, los autores crean una red ficticia para comparar los resultados en un ambiente de mayor dinamismo, esta vez, con la consideración de demandas en tiempo real. Esta red, estuvo conformada por tres categorías de arcos. Se consideraron hasta 50 demandas estáticas y la aparición de 10 dinámicas cada una hora. Precisaron doce casos de evaluación que se diferenciaron por el porcentaje de arcos perturbados por un incidente y por la variación en los tiempos de viaje producida por este.

La principal conclusión del artículo es que una estrategia de solución dinámica mejora a medida que el sistema crece en su dinamismo.

En el artículo *The real time- time-dependent vehicle routing problem*, el TDVRPTW con información en tiempo real es propuesto como un modelo de programación entera mixta para la solución del problema de actualización de rutas.

El TDVRPTW con información en tiempo real considerado, incluyó demandas predefinidas y en tiempo real, y las condiciones actuales de operación de la red, esto es, los tiempos de viaje entre un nodo y otro van a depender del momento en que se realizan.

Al momento de la planificación de las rutas a recorrer, sólo se cuenta con la información de los nodos a visitar que han requerido el servicio de manera predeterminada, esto es, antes del comienzo de la ruta. Sin embargo, estas rutas pueden sufrir cambios importantes si se considera la aceptación de demandas en tiempo real, sobre todo si se consideran ventanas de tiempo.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Chen, H., Hsueh, C. y Chang, M. (2006). *The real time- time-dependent vehicle routing problem*. *Transportation Research Part E*, 42, 383-408.

## 2.4. El agente viajero

Quizás el problema de Optimización Combinatoria más estudiado en la literatura desde hace más de 40 años es el conocido Problema del Viajante o TSP (*Traveling Salesman Problem*). Su formulación es la siguiente: Un individuo tiene que visitar  $n-1$  ciudades partiendo de una ciudad inicial (ciudad uno) y volver a ella, de forma que la ruta elegida sea la más corta o más barata. En este problema y en su generalización al Problema de Rutas de Vehículos o VRP (*Vehicle Routing Problem*), es donde más “éxito” ha tenido las aplicaciones de técnicas algorítmicas al desarrollo de sistemas eficientes en el mundo de la industria, comercio, defensa... Su importancia está, por tanto, fuera de toda duda. El VRP tiene un planteamiento basado en el TSP y, por ello, ha adoptado las técnicas de solución de éste, es más: la gran mayoría de las técnicas de solución de los problemas de rutas son básicamente algoritmos del TSP con la incorporación de algunos pasos previos o posteriores. Resulta por tanto imprescindible para un correcto estudio de los problemas de rutas, un conocimiento profundo de los algoritmos del TSP.

El TSP constituye la situación general y de partida para formular otros problemas combinatorios más complejos, aunque más prácticos, como el ruteo de vehículos y la programación de tareas dependientes del tiempo de alistamiento. En el TSP se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera, no se distinguiría de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales.

Este problema consiste en un agente de ventas que tiene que visitar  $n$  ciudades, comenzando y terminando en una misma ciudad, visitando solamente una vez cada ciudad, y haciendo el recorrido de costo mínimo, este costo de recorrido puede estar expresado en términos de tiempo o distancia, es decir, recorrer el mínimo de kilómetros o llevar a cabo un tour en el menor tiempo posible.

El problema del agente viajero se puede modelar fácilmente mediante un grafo completo dirigido, en donde los vértices del grafo son las ciudades y los arcos los caminos, dichos arcos deben tener un peso, y este peso representa la distancia que hay entre dos vértices que están conectados por medio de dicho arco. Una solución del problema del agente viajero, se puede representar como una secuencia de  $n + 1$  ciudades, en donde un tour comienza y termina con la misma ciudad.

Este problema se puede formular de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} + X_{ij} \quad & \text{Funcion Objetivo 1} \\ \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad & i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad 1.1$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad 1.2$$

$$\sum_{k=1}^n Y_{ik} - \sum_{k=1}^n Y_{ki} = -1 \quad i = 2, \dots, n \quad 1.3$$

$$Y_{ij} \leq (n-1)X_{ij} \quad ij = 1, \dots, n \quad 1.4$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, Y_{ij} \geq 0 \quad ij = 1, \dots, n \quad 1.5$$

La función objetivo uno indica que el mínimo costo total de la solución es la suma de los costos de las distancias de los arcos entre los nodos utilizados. Las variables binarias indican si el arco  $x_{ij}$  es utilizado en la solución. Las restricciones 1.1 y 1.2 indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. La restricción 1.3, son variables auxiliares que ayudan a eliminar los sub-tours e indican que todo subconjunto de nodos debe ser abandonado al menos una vez. La restricción 1.4 señala la relación de variables de los arcos de los sub tours indica que será menor a los arcos de Representando que la red de nodos y arcos será siempre más grande que los sub tours. La restricción 1.5 señala los números binarios de las variables de decisión  $x_{ij}$ .

## 2.5. Técnicas exactas

Los algoritmos exactos son aquellos que siempre producen una solución óptima. Dichas técnicas no son adecuadas en aplicaciones que requieren soluciones rápidas o que tratan de resolver instancias de problemas muy grandes. Debido a la naturaleza NP del problema VRP, la búsqueda exhaustiva de estas técnicas no resulta eficiente computacionalmente (Corona, José (2005)). Entre las que se encuentran:

- Ramificación y acotamiento (Branch and Bound, hasta 100 nodos, Fisher, 1994)
- Ramificación y corte (Branch and Cut, Augerat et al., 1998)
- Programación dinámica (Balinski y Quandt, 1964)
- Programación lineal entera (Balinski y Quandt, 1964)

## 2.6. Heurísticas tradicionales

Las heurísticas, son procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable (no necesariamente óptimas) en tiempos de cálculo moderados. Son la forma más usada para resolver problemas de ruteo de vehículos, ya que como se sabe la mayorías de estos son NP-completos, lo que deriva en grandes tiempos de resolución cuando se usan métodos exactos.

Actualmente, los algoritmos para resolver las distintas instancias del VRP son muy variados en distintos aspectos, como el enfoque de optimización utilizado: local o global, a qué clase de algoritmos pertenece, por ejemplo si están basados en programación lineal o si son heurísticas clásicas o meta heurísticas.

En general para el problema de ruteo de vehículos se puede se han propuesto diferentes métodos para su solución, estos se pueden agrupar en dos grandes grupos, métodos exactos y métodos aproximados. Múltiples métodos exactos han sido propuestos siendo apropiados en problemas pequeños, pero dada su alta complejidad en tiempo computacional son inapropiados para problemas de dimensiones mayores en los que con frecuencia se utilizan métodos heurísticos.

Las heurísticas tienen también otra ventaja sobre los métodos exactos, que es que son menos sofisticadas algorítmicamente, con lo que es más fácil programarla y a la vez son más fáciles de comprender. La mayoría de las heurísticas que se estudiarán, resuelven los tipos más sencillos de VRP y TSP, pero en los últimos años han sido extendidas y modificadas para manejar una gran cantidad de restricciones adicionales, como son ventanas de tiempo, largo máximo de la ruta, etc.

Existen cinco familias de heurísticas para resolver el VRP.

- **Ahorro:** Se construye una solución de forma que en cada paso del procedimiento una configuración actual (que posiblemente es infactible) se compara con una configuración alternativa que también puede ser infactible. Esta configuración alternativa es tal que entrega el más grande ahorro en términos de alguna función (por ejemplo: costo total). El proceso iterativo termina cuando se encuentra una configuración factible. El más conocido de los métodos de ahorro es el de Clark & Wright (1964), el cual hasta hoy sigue siendo uno de los más usados.
- **Inserción:** Son métodos en los cuales se crea una solución mediante sucesivas inserciones de clientes en las rutas. En cada iteración se tiene una solución parcial cuyas rutas sólo visitan un subconjunto de los clientes y se selecciona un cliente no visitado para insertar en dicha solución.
- **Mejora/Intercambio:** Se mantiene en toda iteración la factibilidad. En cada paso una solución factible es modificada para avanzar hacia otra solución factible pero con un costo total menor. El procedimiento continúa hasta que no se pueden hacer reducciones de costo.
- **Cluster First, Route Second:** Los métodos asignar primero y rutear después tienen dos fases. En la primera se busca generar grupos de clientes, también llamados *clusters*, que estarán en una misma ruta en la solución final. Luego para cada *cluster* se crea una ruta que visite a todos sus clientes. Las restricciones de capacidad son consideradas en la primera etapa, asegurando que la demanda total de cada cluster no supere la capacidad del vehículo. Por lo tanto construir las rutas de cada *cluster*, es resolver un TSP, que dependiendo del número de clientes del *cluster*, puede resolverse de manera exacta

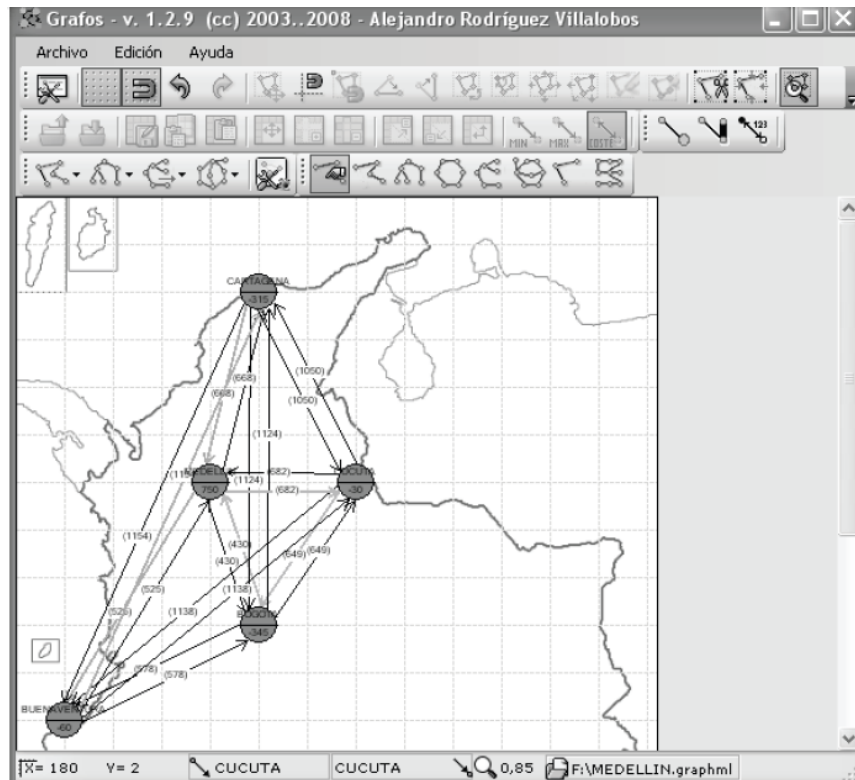
o aproximada. Uno de los métodos más usados para construir los *clusters* es el algoritmo *Sweep* o de Barrido.

- Route First, Cluster Second: En los métodos rutear primero, asignar después (Route First, Cluster Second) también hay dos fases. Primero se calcula una ruta que visita a todos los clientes resolviendo un TSP. En general esta ruta no respeta las restricciones del problema, por lo cual en la segunda fase la gran ruta se particiona en varias rutas, cada una de las cuales si es factible.

Existe mucha bibliografía que avala el uso del problema del agente viajero en diferentes tipos de problemas. Aquí algunos de los textos y extractos de los mismos

- Solución de problemas de ruteos de vehículos con restricciones de capacidad usando teoría de grafos. Alexander Correa Espinal, Ph D, Juan Cogollo Flores, M Sc, Juan Salazar López, M Sc. Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.  
Objetivo: Disminuir número de vehículos involucrados en la distribución de una empresa no mencionada en Medellín, Colombia. Software utilizado: Grafos

**Figura 2.11 Software utilizado en Solución de problemas de ruteos de vehículos con restricciones de capacidad usando teoría de grafos.**



**Fuente Solución de problemas de ruteos de vehículos con restricciones de capacidad usando teoría de grafos. Alexander Correa Espinal, Ph D, Juan Cogollo Flores, M Sc, Juan Salazar López, M Sc. Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.**

**Tabla 2.1 Resultados Tesis mencionada.**

<b>RESULTADO</b>	<b>RUTA 1</b>	<b>RUTA 2</b>
Recorrido 1	Medellín-Buenaventura	Medellín-Cúcuta
Recorrido 2	Buenaventura-Cartagena	Cúcuta-Bogotá
Recorrido 3	Cartagena-Medellín	Bogotá-Medellín
Distancia total	2,347 Km	1,761 Km
Costo fijo	\$ 2,400,000	\$ 2,400,000
Costo variable	\$ 5,867,500	\$ 4,402,500
Aprovechamiento ( Servicio / Capacidad)	375/375 = 100 %	375/375 = 100 %

**Fuente Solución de problemas de ruteos de vehículos con restricciones de capacidad usando teoría de grafos. Alexander Correa Espinal, Ph D, Juan Cogollo Flores, M Sc, Juan Salazar López, M Sc. Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.**

- Diseño y Desarrollo de un Modelo de Asignación para la Optimización de Rutas de Distribución de la Empresa Disecom S.A. Sebastián Céspedes Vera, Heinz Schultz Arteaga, Universidad de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Industrial.  
Objetivo: Diseño de una propuesta de mejora del sistema de distribución operacional, a través de una herramienta computacional, que asista al ruteo semanal de vehículos de una compañía que despacha stands.  
Software utilizado: What's Best!  
Resultados: Un modelo de asignación para la optimización de rutas de distribución que obtiene la minimización de costos de un 57,65 % para resolver el problema planteado, que equivale a \$10.262.279
- Modelo de ruteo de vehículos. Oscar Mauricio Morales Silva, Universidad EAN, Especialización en Gerencia Logística, Bogotá, Colombia.
- Formulación y solución de un problema de ruteo de vehículos con demanda variable en tiempo real, trasbordos y ventanas de tiempo. Claudio Andrés Contardo Vera, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Matemática

## 2.7. Técnicas Metaheurísticas:

El énfasis en las técnicas metaheurísticas está en realizar una exploración profunda de las regiones más prometedoras del espacio solución. La calidad de las soluciones producidas por estos métodos es mucho mejor que la obtenida por las heurísticas clásicas, aunque su tiempo de cómputo es por lo general mucho mayor.

Existen dos tipos principales de familias de técnicas heurísticas avanzadas (metaheurísticas), que son, las basadas en métodos de búsqueda local, y las que explotan las poblaciones de soluciones (Algoritmos genéticos y meméticos). A continuación se presentarán ideas claves y las técnicas más utilizadas bajo cada familia.

### Métodos de búsqueda local o por vecindario

Su principio de funcionamiento de base, parte del hecho que hay una solución inicial realizable, y a ésta se le aplican una serie de modificaciones locales a la solución, entre tanto, dichas modificaciones mejoren el objetivo del problema en estudio. Dichos métodos, se basan en la utilización de heurísticas de mejora iterativa, y tienen diversos problemas, como son: el hecho de encontrar óptimos locales, la calidad de las soluciones y su tiempo de cálculo dependen de la riqueza de las transformaciones permitidas. Por otra parte es necesario definirles la forma en la cual está definido su espacio de búsqueda explorado por el algoritmo, los cuales serán definidos a continuación:

- Espacio de búsqueda: Es simplemente el conjunto de todas las soluciones que pueden ser consideradas (visitadas) durante la ejecución del algoritmo. Puede corresponder también, al dominio realizable de un problema, con cada punto que corresponde a una solución del mismo, respetando todas las restricciones.
- Vecindario: En cada iteración, las transformaciones que pueden ser aplicadas a la solución en curso  $S$ , definen un conjunto de soluciones vecinas de  $S$ , y esto es lo que se llama vecindario  $N(S)$  de  $S$ . En general, para todo problema, existen más posibles definiciones de vecindarios que de espacios de búsqueda.

Entre los principales métodos de búsqueda local se encuentran:

- Búsqueda local simple
- Búsqueda local múltiple
- Rococido simulado
- Variable Neighborhood Search (VNS)
- Variable Neighborhood Descent (VND)
- Métodos de búsqueda con tabús (simples y probabilísticos)

Actualmente, las tendencias recientes, están trabajando el llamado paralelismo e híbridos, los cuales respectivamente, trabajan con cálculos paralelos para acelerar las fases más

exigentes en cálculo o que intercambian información para encontrar mejores soluciones, ver para más información el capítulo del libro de (Enrique Alba (2005)). Y posteriormente, la otra tendencia es la de realizar conjunciones entre diversos métodos de optimización (Branch-and-Bound, algoritmos genéticos, de hormigas, meméticos, programación por restricciones y métodos de búsqueda local), los cuales han demostrado ser los métodos más eficientes a hoy de ésta rama de optimización matemática.

### Métodos de exploración poblacional

Las metaheurísticas basadas en poblaciones o poblacionales, son aquellas que emplean un conjunto de soluciones (población) en cada iteración del algoritmo, en lugar de utilizar una única solución como las metaheurísticas de trayectoria o de búsqueda local. Estas metaheurísticas proporcionan de forma intrínseca un mecanismo de exploración paralelo del espacio de soluciones, y su eficiencia depende en gran medida de cómo se manipule dicha población (Duarte, A. (2007)).

Entre los principales métodos basados en manejo de poblaciones se encuentran:

- Algoritmos genéticos
- Algoritmos meméticos
- Optimización mediante cúmulo de partículas (Swarm)
- Evolución Diferencial
- Optimización por colonia de hormigas
- Algoritmos de estimación de distribución
- Algoritmos de búsqueda dispersa (Scatter Search y Path Relinking)

### **Capítulo III: Metodología y resolución del problema.**

---

*En él se representa la metodología en detalle para lograr resolver el problema del vendedor viajero ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, además del modelo matemático propuesto.*

---

### **3. Metodología de trabajo**

#### **3.1. Definir el problema**

El primer aspecto y pilar fundamental de este trabajo es definir el problema que se desea resolver, mostrar las causas por las cuales se está generando y dar a conocer la herramienta de ingeniería que se utilizará para la resolución de este.

El problema consiste en que el método para la creación de las rutas que utiliza la empresa Perilogistics S.A. no es eficiente ni eficaz, ya que solo se basa en la división de la región, lo cual en reiteradas ocasiones le impide cumplir con todos sus pedidos principalmente lo que respecta a horarios de entrega, y por ende no le permite satisfacer las necesidades de sus clientes.

#### **3.2. Diagnóstico actual de la empresa**

El diagnóstico de la situación actual ha sido realizado en base a la información aportada por la empresa por medio del subgerente de operaciones de la empresa. De esto se desprende y se obtiene la siguiente información que será fundamental para el desarrollo de este trabajo y además será posible definir la línea base o situación inicial que servirá para la comparación del método actual de trabajo versus el método propuesto.

- Recopilación de información de la empresa, que servirá para tener una visión general del rubro en el cual se encuentra inserta la empresa como también conocer las actividades que realiza.
- Información respecto al centro de distribución y clientes. Estableciendo dirección y ubicaciones para la creación de la matriz de distancia, ventanas de tiempo de cada cliente, demandas y tiempos de entrega para cada uno.
- Descripción de las actividades del proceso de distribución.
- Descripción de rutas realizadas.
- Descripción de la flota actual de la empresa, respecto a vehículos disponibles, capacidad (volumen).
- Descripción de costos fijos y variables.

- Zona de estudio

Santiago es dividido en 6 zonas, cada zona con sus respectivas comunas, y la finalidad del modelo es cubrir por igual cada zona, ósea enfocar las condiciones de cada una (restricciones), y así poder, por ejemplo, cubrir por igual la zona 1 y la zona 6.

- Zonas

- Zona 1: Ñuñoa, Providencia, La Reina, Las Condes, Vitacura, Lo Barnechea.

- Zona 2: Macul, Peñalolén, La Florida, Puente Alto, La Pintana, La Granja, San Joaquín.
- Zona 3: San Miguel, San Ramón, La Cisterna, El Bosque, San Bernardo.
- Zona 4: Santiago Centro, Independencia, Recoleta, Conchalí, Huechuraba.
- Zona 5: Lo Espejo, Pedro Aguirre Cerda, Cerrillos, Maipú, Estación Central.
- Zona 6: Quinta Normal, Lo Prado, Cerro Navia, Pudahuel, Quilicura, Renca.

Para luego procesar la información, zona por zona, realizar filtros, construcción de gráficos y matrices de distancia.

- Procesamiento de información para la generación del modelo
  - Matriz de distancia
  - Matriz de costos asociados
  - Ventanas de tiempo
  - Tiempo de despacho

### **3.3. Metodología y resolución del problema**

- Construcción del modelo: como ya se menciona anteriormente, se utilizara la herramienta del agente viajero.
- Resolución del modelo: luego de construido el modelo matemático que mejor describe la situación de estudio, se aplican los algoritmos y métodos matemáticos diseñados para su resolución. Las etapas en la resolución del modelo son:
  - Elección de la técnica de resolución adecuada: La mayoría de los modelos de optimización pueden resolverse utilizando técnicas eficientes ya existentes, que proporcionan una solución óptima para el modelo. En este caso la técnica será la resolución por software, utilizando Microsoft Excel y Lindo What's Best.
  - Generación de las soluciones del modelo: Posterior a la elección de la técnica de resolución, se debe resolver el problema considerando las condiciones de la empresa. El objetivo de las soluciones no sólo se relaciona con la flota óptima, sino también con los costos de implementación o ahorros generados con el resultado obtenido.
  - Análisis de resultados: Los resultados deben ser analizados para ver si son satisfactorios o no.
  - Si los resultados no son satisfactorios: Como ningún modelo es totalmente exacto, ni ninguna técnica de validación está exenta de errores, si los resultados no son satisfactorios puede ser necesario revisar el modelo utilizado.

- Verificación y validación de la solución: es en esta fase donde se comprueba que el modelo propuesto realice lo que se solicita. El modelo es válido si, bajo condiciones de datos semejantes, reproduce el funcionamiento en el pasado. La metodología tradicionalmente utilizada para validar un modelo consiste en una prueba retrospectiva, esto es, contemplar la comparación de los resultados de la estrategia de ruteo que utiliza actualmente la empresa versus los resultados planteados por la metodología desarrollada.
- Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones :se controla si la función objetivo ofrece las ventajas esperadas, se verifica la representatividad del modelo y se efectúan análisis de los resultados de la solución obtenida que generarán las conclusiones y recomendaciones

### **3.4. Metodología, modelación y resolución**

El modelo antes presentado se basa en la obtención de una cantidad considerable de parámetros que son necesarios en el desarrollo de la metodología utilizada. En base a esto se determinan cuáles serán los requerimientos de información necesarios para poder desarrollar el modelo planteado

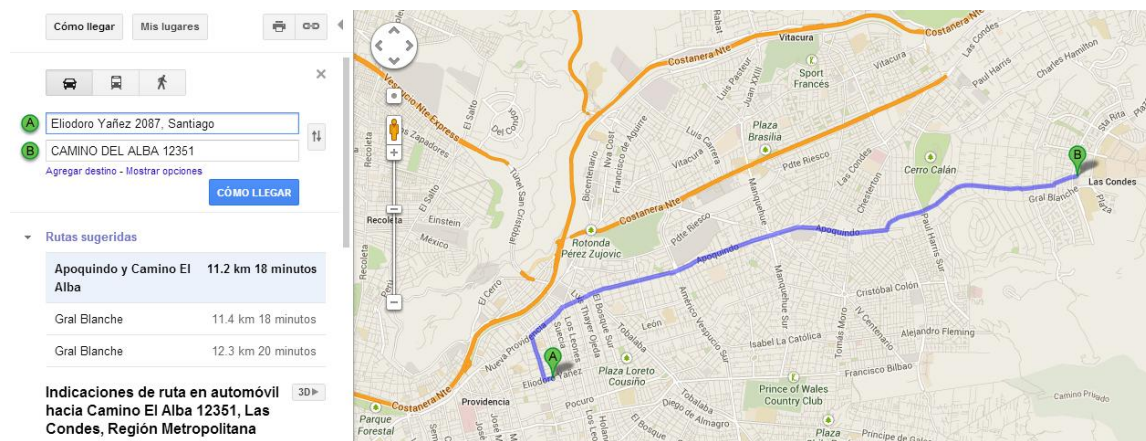
Los parámetros antes mencionados se pueden clasificar en dos partes. En primer lugar están los parámetros definidos como parámetros explícitos, dado que no se necesita algún tipo de cálculo para ser determinados. Entre estos factores se encuentra las ventanas de tiempo de los clientes, la cantidad de producto solicitada por los clientes (demanda), la capacidad de los vehículos (volumen o cantidad de muebles) potencial a utilizar y la posición geográfica de los clientes.

En la empresa existe una base de datos de los clientes en los cuales se guardan diversos tipos de información, tales como direcciones, comunas, y la restricción temporal para la entrega de los pedidos. Cabe destacar que para la realización del modelo propuesto se utilizó una base de datos entregada por el gerente comercial, ésta planilla adjunta datos como por ejemplo local, sucursal, dirección de los clientes, comuna, año, campaña, demanda por punto de venta, etc. En anexos se adjunta un extracto de la base de datos.

La demanda de los clientes es determinada en base a lo ingresado en el sistema central de información. Esta información debe ser obtenida de forma detallada por cada cliente. En general se debe realizar un pre-procesamiento de la información para tener los valores reales de pedido de los clientes. Esta base de datos entregada por la empresa es fundamental como lo veremos detalladamente más adelante. Con la información de los parámetros explícitos podemos comenzar a definir los parámetros calculados. Estos parámetros son aquellos para los cuales se define una forma de cálculo para su obtención.

Un caso de estos parámetros corresponde a la distancia entre clientes. Para la obtención de datos de la matriz distancia se optó por el software GoogleMaps, complementando y corroborando ubicaciones con otras herramientas que brinda internet como es MapsQuest, Bing-Maps, YahooMaps. Pero las distancias entre clientes han sido obtenidas de GoogleMaps, con la opción menor cantidad de kilómetros recorridos para llegar de un punto a otro, como también evitando peajes y autopistas concesionadas, debido a que la gran cantidad de clientes están ubicados en el centro de la ciudad de Santiago de Chile.

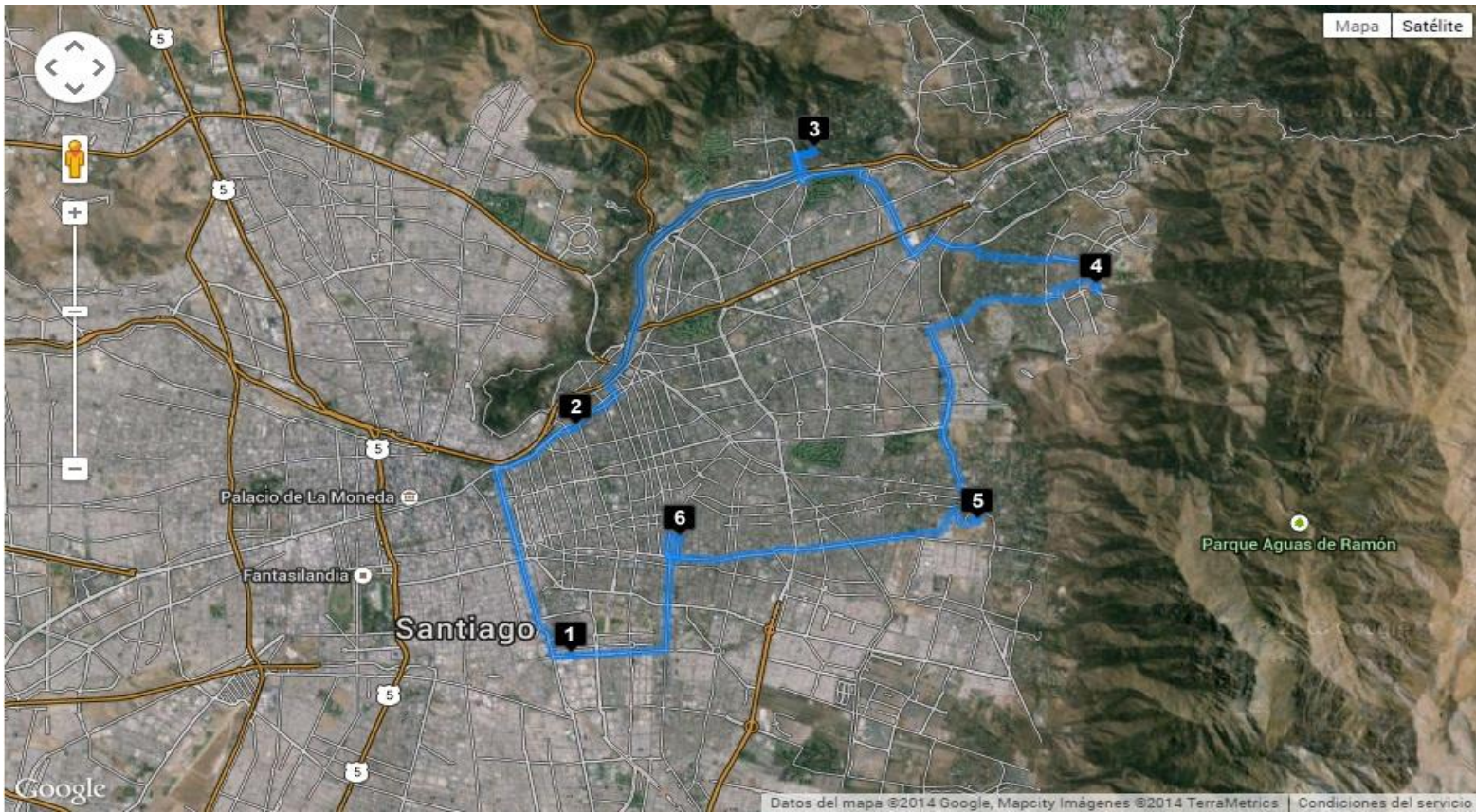
**Figura 3.1 Indica dos puntos de la zona 1 a analizar**



**Fuente elaboración propia**

Para el desarrollo de esta memoria, se analizara la zona en la cual se encuentran más locaciones, la cual corresponde a la zona 1.

**Figura 3.2 Comunas de la zona 1**



**Fuente elaboración propia**

A continuación se muestra extracto de la matriz de distancias, la cual está conformada por la medición de distancias entre todos clientes (puntos de venta), incluyendo también el centro de distribución.

**Tabla 3.1 Indica kilometraje ente los nodos**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
AGROCORP LTDA.	HUELEN 154-OF. 41-A	1	0	3	8	2,4	1,6	2,3	1	2,4	1,8	10,2	2	9,5	11,1	16,5	1,3	1,5	1,5
ALS DISTRIBUIDORA LTDA.	AGUSTINAS 640 PISO 10	2	3	0	8,8	1,8	2,5	1,3	2,4	1,8	4,3	12	4,1	11	13,1	17,4	2	1,3	1,3
ANDREA FROSCHEKE	PARCIFAL 6650	3	8	8,8	0	7,5	6,9	7,6	7,4	7,5	6,1	2,5	7,1	2,2	8,5	10,5	6,9	6,9	7,5
ASOC. DIALIZADOS DE CHILE	rancagua 0250	4	2,4	1,8	7,5	0	0,7	1,6	1	0	3,2	10,3	3	9,2	12,2	13,2	0,85	2,4	2,4
ASOC.NAC.PREV.Y REHAB.DE LA CEGUERA	SALVADOR 943-PISO 2	5	1,6	2,5	6,9	0,7	0	0,9	0,75	0,7	3	9	2,9	8,4	12	13	0,65	2,2	2,2
ASOCIACION CHILENA DE SEGURID.	AV. RAMON CARNICER 201	6	2,3	1,3	7,6	1,6	0,9	0	1,7	1,6	3,8	9,8	3,8	9,2	12,9	13,75	1,4	2,95	2,95
ASOCIACION DE DIABETICOS DE CHILE	QUEBEC 496	7	1	2,4	7,4	1	0,75	1,7	0	1	2,4	9,8	2,3	9,2	11,4	12,3	0,9	3,1	3,1
ASOCIACION DE DIALIZADOS	rancagua 0250	8	2,4	1,8	7,5	0	0,7	1,6	1	0	3,2	10,3	3	9,2	12,2	13,2	0,85	3,1	3,1
BUSTAMANTE Y PARRAGUEZ ASOC.LTDA.	GUARDIA VIEJA 255-OF.102	9	1,8	4,3	6,1	3,2	3	3,8	2,4	3,2	0	8,9	1,1	8,2	11,4	12,4	0,05	2,3	2,3
CAPREDENA	AV. LARRAIN # 9100	10	10,2	12	2,5	10,3	9	9,8	9,8	10,3	8,9	0	9,8	1,9	9	10,1	9,5	9,5	9,3
CARMEN LIA SOLIS	LA CONCEPCION 81	11	2	4,1	7,1	3	2,9	3,8	2,3	3	1,1	9,8	0	8,4	9,7	13,7	2,4	1,9	1,9
CENTRAL DE ABASTECIMIENTO S.N.S.S.	ECHENIQUE 8419	12	9,5	11	2,2	9,2	8,4	9,2	9,2	8,2	1,9	8,4	0	7,9	9	8,5	8,5	8,5	8,5
Centro Clínico Metabólico	Estornil 120, of. 812	13	11,1	13,1	8,5	12,2	12	12,9	11,4	12,2	11,4	9	9,7	7,9	0	0,6	12	12	12
CENTRO CONTACT. TABANCURA LTDA	AVDA. TABANCURA 1091 LOCAL 1	14	16,5	17,4	10,5	13,2	13	13,75	12,3	13,2	12,4	10,1	13,7	9	0,6	0	12	12	12
CENTRO DE ESPECIALIDADES	JOSE MANUEL INFANTE N 927	15	1,3	2	6,9	2,4	2,2	2,95	2	2,6	2,5	9,5	2,4	8,5	12	12	0	0	0
CENTRO ESP.FARMACEUTICAS LTDA.	INFANTE 927, NIVEL 2	16	1,5	2	6,9	2,4	2,2	2,95	3,1	3,1	2,3	9,5	2,4	8,5	12	12	0	0	0
CENTRO OPTICO Y CONTACT. KERATOLENS	AV. SALVADOR 871 PROVIDENCIA PISO2	17	1,5	1,3	7,5	2,4	2,2	2,95	3,1	3,1	2,3	9,3	1,9	8,5	12	12	0	0	0
CLAUDIA FERNANDA BREVIS BREVIS	LAS TRANQUERAS 830, DEPTO 206	18	9,3	10,4	7,1	10,2	10	10,75	10,9	11,65	10,85	8,2	10,45	7,1	2,5	2,5	10,4	10,4	10,4
clín. alemana de stgo. S.A	av. vitacura 5951 santiago	19	8,5	7,6	8	9,4	9,2	9,95	10,1	10,85	10,05	9,5	9,65	8,7	5	5,6	8,6	8,6	8,6
CLINICA AVANSALUD PROVIDENCIA	AV. SALVADOR Nº 130	20	5,1	7,6	7,5	6	5,8	6,55	6,7	7,45	6,65	9,6	6,25	9,2	11,5	12,1	1	1	1
CLINICA LAS CONDES	LO FONTECILLA 441	21	11,6	10	9	12,5	12,3	13,05	13,2	13,95	13,15	9,2	12,75	10,7	0,5	1,1	12,7	12,7	12,7
CLINICA LAS LILAS	EUODORO YAÑES 2087	22	2,7	1,9	5,4	3,6	3,4	4,15	4,3	5,05	4,25	8,1	3,85	7,1	10,5	11,1	2,8	2,8	2,8
CLINICA OFTA ULTRAVIQUIQUE SPA	LUIS THAYER OJEDA 0180. OF. 208	23	3,1	4,6	5,2	4	3,8	4,55	4,7	5,45	4,65	7,9	4,25	6,9	8,8	9,4	4,7	4,7	4,7
CLINICA SAN CARLOS DE APOQUINDO	CAMINO DEL ALBA 12351	24	11,1	13,6	9	12	11,8	12,55	12,7	13,45	12,65	9	12,25	10,7	3,8	4,4	13,4	13,4	13,4
CLINICA SANTA MARIA	AV. SANTA MARIA 0410 PROVIDENCIA	25	1,2	2,6	7,9	2,1	1,9	2,65	2,8	3,55	2,75	10,6	2,35	9,6	11,4	12	3	3	3
CLINICAL MERKET S.A.	PROVIDENCIA 1100, LOCAL 34	26	1,4	2,5	6,9	2,3	2,1	2,85	3	3,75	2,95	9,9	2,55	8,6	10,5	11,1	2,5	2,5	2,5
COM.E INV. EDWARDS Y VERGARA LTDA.	LAS HUALTATAS 5951	27	7,8	9,5	7,3	8,7	8,5	9,25	9,4	10,15	9,35	8,6	8,95	9	4,3	4,9	8,9	8,9	8,9
COMERCIAL CUENTA LIMITADA	11 DE SEPTIEMBRE 1860 OF 46	28	1,3	1	6,7	2,2	2	2,75	2,9	3,65	2,85	9,4	2,45	8,4	9,7	10,3	2,7	2,7	2,7
COMERCIAL DORIAM LTDA.	PROVIDENCIA 2467	29	2,4	3,6	5,8	3,3	3,1	3,85	4	4,75	3,95	8,5	3,55	7,5	8,5	9,1	3,8	3,8	3,8
COMERCIAL DORIAM LTDA.	Luis Thayer Ojeda 95 L.5	30	3,2	4,9	5,3	4,1	3,9	4,65	4,8	5,55	4,75	8	4,35	7	8,3	8,9	4,45	4,45	4,45
Constanza Arratia Mery	Los Pozos 6855 depto 1002	31	7,2	6,3	4,8	8,1	7,9	8,65	8,8	9,55	8,75	6	8,35	6,5	7,8	8,4	4,2	4,2	4,2
COOP. CONS. CARAB. DE CHILE LTDA.	SIMON BOLIVAR 2200	32	8,5	10,6	5	9,4	9,2	9,95	10,1	10,85	10,05	2,3	9,65	6,7	8	8,6	4,3	4,3	4,3
CORP DE AYUDA AL MENOR	AV SALVADOR 149 OF 306	33	1,2	3,6	8	2,1	1,9	2,65	2,8	3,55	2,75	9,5	2,35	9,7	11	11,6	5,8	5,8	5,8
CORP NACIONAL DEL CANCER	NEVERIAS 4480 LAS CONDES	34	4,8	7,6	7	5,7	5,5	6,25	6,4	7,15	6,35	7	5,95	8,7	10	10,6	5,3	5,3	5,3
CORP. MUNIC. LA REINA	ECHENIQUE 8414	35	9,4	8,6	3,4	10,3	10,1	10,85	11	11,75	10,95	1,8	10,55	5,1	6,4	7	3,5	3,5	3,5
CORPORACION NACIONAL DEL CANCER	NEVERIA 4430	36	4,8	9,6	6	5,7	5,5	6,25	6,4	7,15	6,35	7	5,95	7,7	9	9,6	4,8	4,8	4,8
CORPORACION NEUROPSIQUIATRICA	NEVERIA 4419	37	4,8	9,6	6	5,7	5,5	6,25	6,4	7,15	6,35	7	5,95	7,7	9	9,6	4,8	4,8	4,8
CRODA CHILE LTDA.	DR. HERNAN ALESSANDRI 782, PROVIDENCIA	38	1,1	2,3	8	2	1,8	2,55	2,7	3,45	2,65	9,6	2,25	9,7	11	11,6	5,8	5,8	5,8
Cruz Verde Local 39	Providencia N° 2012 - Santiago	39	2,2	5	10	3,1	2,9	3,65	3,8	4,55	3,75	9,1	3,35	11,7	13	13,6	6,8	6,8	6,8
Cruz Verde Local 392	Av. Nueva Costanera #4177 Loc. 1	40	6	5,3	4	6,9	6,7	7,45	7,6	8,35	7,55	16,3	7,15	5,7	7	7,6	3,8	3,8	3,8
Cruz Verde Local 408	Providencia N° 2594 Santiago	41	2,6	3,6	11,3	3,5	3,3	4,05	4,2	4,95	4,15	8,7	3,75	13	14,3	14,9	7,45	7,45	7,45

**Fuente elaboración propia**

Luego de construir la matriz de distancias, se procede a la construcción de la matriz de costos, la cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Distancia entre cliente } i \text{ a cliente } j \text{ km}}{\text{Rendimiento del vehículo } \frac{\text{km}}{\text{lt}}} * \text{Valor combustible } \frac{\$}{\text{lt}} = \text{matriz de costos variables}$$

Esta matriz será necesaria para la obtención del costo de combustible, que corresponde al recorrido que realiza cada vehículo. Cabe señalar que el rendimiento del vehículo se estableció en 10 km/Ltr.

**Tabla 3.2 Indica el costo del kilometraje entre nodos**

AGROCORP LTDA.	HUELEN 154-OF. 41-A	0	199,5	532	159,6	108,4	152,95	66,5	159,6	119,7	678,3	133	631,75	738,15	1097,25	86,45	99,75
ALS DISTRIBUIDORA LTDA.	AGUSTINA S 640 PISO 10	199,5	0	585,2	119,7	166,25	86,45	159,6	119,7	285,95	798	272,85	731,5	871,15	1157,1	133	86,45
ANDREA FROSCHE	PARCIFAL 6650	532	585,2	0	498,75	458,85	505,4	492,1	498,75	405,85	166,25	472,15	146,3	565,25	638,25	458,85	458,85
ASOC. DIALIZADOS DE CHILE	rancagua 0250	159,6	119,7	498,75	0	46,55	106,4	66,5	0	212,8	684,95	199,5	611,8	811,3	877,8	56,525	159,6
ASOC.NAC.PREY Y REHAB.DE LA CEGUERA	SALVADOR 943-PISO 2	106,4	166,25	458,85	46,55	0	58,85	49,875	46,55	198,5	588,5	192,85	558,6	798	864,5	43,225	146,3
ASOCIACION CHILENA DE SEGURID.	AV. RAMON CAPRICEZ 201	152,95	86,45	505,4	106,4	59,85	0	110,05	106,4	252,7	651,7	252,7	611,8	857,95	914,375	93,1	196,175
ASOCIACION DE DIABETICOS DE CHILE	QUEBEC 496	66,5	159,6	492,1	66,5	49,875	113,05	0	66,5	159,6	651,7	152,95	611,8	758,1	817,95	59,85	206,15
ASOCIACION DE DIALISADOS	rancagua 0250	159,6	119,7	498,75	0	46,55	106,4	66,5	0	212,8	684,95	199,5	611,8	811,3	877,8	56,525	206,15
BUSTAMANTE Y PARRAGUEZ ASOC.LTDA.	GUARDIA VIEJA 285-OF.102	119,7	285,95	405,65	212,8	199,5	252,7	159,6	212,8	0	591,65	73,15	545,3	758,1	824,6	3,325	152,95
CAPREDENA	AV. LAFRAN # 9100	678,3	798	166,25	684,95	598,5	651,7	651,7	684,95	591,65	0	651,7	126,35	598,5	671,65	631,75	631,75
CARMEN LIA SOLIS	LA CONCEPCION 81	133	272,85	472,15	199,5	192,85	252,7	152,95	199,5	73,15	651,7	0	558,6	645,05	911,05	159,6	126,35
CENTRAL DE ABASTECIMIENTO S.M.S.S.	ECHENIQUE 8418	631,75	731,5	146,3	611,8	558,6	611,8	611,8	611,8	545,3	126,35	558,6	0	525,35	598,5	565,25	565,25
Centro Clínico Metabólico	Estroil 120, of. 812	738,15	871,15	565,25	811,3	798	857,95	758,1	811,3	758,1	598,5	645,05	525,35	0	39,9	798	798
CENTRO CONTACT. TABANCURA LTDA	AVDA. TABANCURA 1091 LOCAL 1	1097,25	1157,1	638,25	877,8	864,5	914,375	817,95	877,8	824,6	671,65	911,05	598,5	39,9	0	798	798
CENTRO DE ESPECIALIDADES	JOSE MANUEL INFANTE N 327	86,45	133	458,85	159,6	146,3	196,175	133	172,9	166,25	631,75	159,6	565,25	798	798	0	0
CENTRO ESP.FARMACEUTICAS LTDA.	INFANTE 927, NIVEL 2	99,75	133	458,85	159,6	146,3	196,175	206,15	206,15	152,95	631,75	159,6	565,25	798	798	0	0
CENTRO OPTICO Y CONTACT. KERATOLENS	AV. SALVADOR 871 PROVIDENCIA PISO2	99,75	86,45	498,75	159,6	146,3	196,175	206,15	206,15	152,95	618,45	126,35	565,25	798	798	0	0
CLAUDIA FERNANDA BREVIS BREVIS	LAS TRANQUERAS 830, DEPTO 206	618,45	691,6	472,15	678,3	695	714,875	724,85	774,725	721,525	545,3	694,925	472,15	166,25	166,25	691,6	691,6
clin. alemana de stgo. S.A	av. vitacura 5951 santiago	565,25	505,4	532	625,1	611,8	661,675	671,65	721,525	688,325	631,75	641,725	578,55	332,5	372,4	571,9	571,9
CLINICA AVANSALUD PROVIDENCIA	AV. SALVADOR N° 130	339,15	505,4	498,75	399	385,7	435,575	445,35	495,425	442,225	638,4	415,625	611,8	764,75	804,65	66,5	66,5
CLINICA LAS CONDES	LO FONTECILLA 441	771,4	665	598,5	631,25	617,95	667,825	677,8	927,675	874,475	611,8	847,875	711,95	33,25	73,15	844,55	844,55
CLINICA LAS LILAS	ELIODORO YAÑES 2087	179,55	126,35	359,1	239,4	226,1	275,975	285,95	335,825	282,625	538,65	256,025	472,15	698,25	738,15	186,2	186,2
CLINICA OPTA ULTRAVIQUQUE SPA	LUIS THAYER QUESADA 0180, OF. 208	206,15	305,9	345,8	296	252,7	302,575	312,55	362,425	309,225	525,35	282,625	458,85	595,2	625,1	312,55	312,55

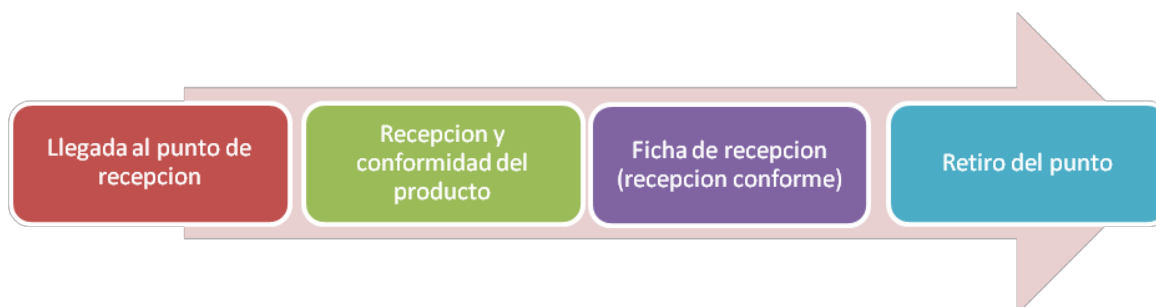
Fuente elaboración propia

### 3.4.1. Estudio de tiempos

El estudio de tiempos involucrados consiste en tres pasos, cada uno con resultados diferentes dependiendo de la localidad a la cual se concurra. Cabe destacar que cada locación consta de estacionamiento y/o zona la cual no interrumpa el tránsito.

El siguiente diagrama muestra la forma regular con la que se lleva a cabo la recepción de productos.

**Figura 3.3 Cadena de sucesos en la recepción de productos**



**Fuente elaboración propia**

La tabla a continuación resume los tiempos estimados, por canal, para cada tipo de localidad, zona 1.

**Tabla 3.3 Tiempos estimados para cada localidad**

<b>Llegada</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Recepción</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Tramitación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>6</b>

**Fuente elaboración propia**

### 3.4.2. Filtro de los datos relevantes para la construcción del modelo.

- Filtro demanda

Para comprender la envergadura del problema es necesario saber el número de pedidos semanales que se gestionan en la empresa. Se analizó las demandas de cada semana, para luego definir un promedio semanal base para la realización de este trabajo. Se determinó un promedio semanal de 286 pedidos en esta zona.

**Tabla 3.4 Matriz de pedidos zona 1**

PED_CODIGO	DES_NOMBRE	COM_NOMBRE	DIS_FECHA_CARGA	DES_DIRECCION	Valores	Cuenta de DIS_BULTO_TOTAL	Suma de DIS_PESO_TOTAL
350388	NOVO NORDISK FARMACEUTIC	Las Condes	02-01-2013 13:47	AV. ROSARIO NORTE 555, OF. 802	1	0,800000012	
350389	NOVO NORDISK FARMACEUTIC	Las Condes	02-01-2013 13:47	AV. ROSARIO NORTE 555, OF. 802	1	0,949999988	
350390	HOSP CALVO MACKENNA	Providencia	03-01-2013 8:37	ANTONIO VARAS N° 360	1	2,720000029	
350392	HOSP DEL SALVADOR	Providencia	03-01-2013 8:36	SALVADOR N° 364	1	3,450000048	
350394	HOSP CALVO MACKENNA	Providencia	03-01-2013 8:36	ANTONIO VARAS N° 360	1	7,539999962	
350395	NOVO NORDISK FARMACEUTIC	Providencia	02-01-2013 14:01	ANTONIO VARAS N°360, OFICINA 54 (HOSP. CA	1	2,890000105	
350396	SKIN ESTETICA Y CIA LIMITADA	Las Condes	02-01-2013 13:49	DEL INCA 4446 OF 301	1	7,050000191	
350398	SOCIEDAD DE MEDICINA REPRC	Las Condes	02-01-2013 13:49	AV. KENNEDY 5735 OF. 1102	1	5,21999979	
350408	HOSPITAL DEL SALVADOR SNS	Providencia	02-01-2013 14:04	AVDA SALVADOR 364	1	32,20000076	
350434	Hospital Militar	La Reina	02-01-2013 13:47	Av. Larrain 9100	1	2,829999924	
350438	CARMEN LIA SOLIS	Providencia	02-01-2013 13:46	LA CONCEPCION 81	1	1,460000038	
350447	HOSPITAL LUIS CALVO MACKENNA	Providencia	04-01-2013 9:09	ANTONIO VARAS 360	1	2,690000057	
350448	HOSPITAL LUIS CALVO MACKENNA	Providencia	02-01-2013 14:04	ANTONIO VARAS 360	1	1,799999952	
350455	HOSPITAL DEL SALVADOR SNS	Providencia	02-01-2013 13:12	AVDA SALVADOR 364	1	4,019999981	
350457	Hospital Militar	Las Condes	02-01-2013 13:46	IGNACIO VALDIVIESO 2361	1	0,360000014	
350464	CARMEN LIA SOLIS	Providencia	02-01-2013 13:46	LA CONCEPCION 81	1	2,559999943	
350473	GIOCONI Y SMOJE LTDA.	Providencia	03-01-2013 8:28	LUIS THAYER OJEDA 073 OF.708	1	0,689999998	
350538	SERVICIOS MEDICOS GODODY LT	Providencia	03-01-2013 8:37	AV. SALVADOR 95, OF. 807	1	4,260000229	
350559	NOVO NORDISK FARMACEUTIC	Las Condes	03-01-2013 8:37	AV. ROSARIO NORTE 555, OF. 802	1	2,680000067	

Fuente elaboración propia

- Filtro respecto a ventanas de tiempo

Se registro el horario en el cual cada recinto comienza y termina periodo de recepción de producto. Cabe destacar que existen ocasiones especiales, como por ejemplo medicamentos solicitados con urgencia, los cuales pueden salir de estos horarios.

Aquí un extracto de la matriz de horarios.

**Tabla 3.5 Ventanas de horario de cada locación**

	A	B	C	D
1			Hora inicio	Hora termino
2	AGROCORP LTDA.	HUELEN 154-OF. 41-A	9	19,5
3	ALS DISTRIBUIDORA LTDA.	AGUSTINAS 640 PISO 10	9	19,5
4	ANDREA FROSCHKE	PARCIFAL 6650	8,5	19
5	ASOC. DIALIZADOS DE CHILE	rancagua 0250	8,5	19
6	ASOC.NAC.PREV.Y REHAB.DE	SALVADOR 943-PISO 2	8,5	19
7	ASOCIACION CHILENA DE SEC	AV. RAMON CARNICER 201	9	19,5
8	ASOCIACION DE DIABETICOS I	QUEBEC 496	8,5	19
9	ASOCIACION DE DIALIZADOS	rancagua 0250	8,5	19
10	BUSTAMANTE Y PARRAGUEZ	GUARDIA VIEJA 255-OF.102	9	19,5
11	CAPREDENA	AV. LARRAIN # 9100	7,5	18
12	CARMEN LIA SOLIS	LA CONCEPCION 81	9,5	20
13	CENTRAL DE ABASTECIMIENTO	ECHENIQUE 8419	9	19,5
14	Centro Clinico Metabolico	Estoril 120, of. 812	9,5	20
15	CENTRO CONTACT. TABANCL	AVDA. TABANCURA 1091 LOC	7,5	18
16	CENTRO DE ESPECIALIDADES	JOSE MANUEL INFANTE N 927	8	18,5
17	CENTRO ESP.FARMACEUTICA	INFANTE 927, NIVEL 2	8,5	19
18	CENTRO OPTICO Y CONTACT.	AV. SALVADOR 871 PROVIDE	7	17,5
19	CLAUDIA FERNANDA BREVIS E	LAS TRANQUERAS 830, DEP	10	20,5
20	clin. alemana de stgo. S.A	av. vitacura 5951 santiago	8,5	19
21	CLINICA AVANSALUD PROVID	AV. SALVADOR N° 130	9	19,5
22	CLINICA LAS CONDES	LO FONTECILLA 441	7,5	18
23	CLINICA LAS LILAS	ELIODORO YAÑES 2087	8	18,5
24	CLINICA OFTA ULTRAV IQUIQU	LUIS THAYER OJEDA 0180. OI	8,5	19
25	CLINICA SAN CARLOS DE APC	CAMINO DEL ALBA 12351	7	17,5
26	CLINICA SANTA MARIA	AV. SANTA MARIA 0410 PROV	9,5	20
27	CLINICAL MERKET S.A.	PROVIDENCIA 1100, LOCAL 34	9	19,5
28	COM.E INV. EDWARDS Y VERG	LAS HUALTATAS 5951	9,5	20
29	COMERCIAL CUENTA LIMITADA	11 DE SEPTIEMBRE 1860 OF 46	10	20,5
30	COMERCIAL DORIAM LTDA.	PROVIDENCIA 2467	7,5	18
31	COMERCIAL DORIAN LTDA.	Luis Thayer Ojeda 95 L.5	8	18,5
32	Constanza Arratia Mery	Los Pozos 6855 depto 1002	8,5	19
33	COOP. CONS. CARAB. DE CHIL	SIMON BOLIVAR 2200	8	18,5
34	CORP DE AYUDA AL MENOR	AV SALVADOR 149 OF 306	10,5	21
35	CORP NACIONAL DEL CANCER	NEVERIAS 4430 LAS CONDES	9	19,5
36	CORP. MUNIC. LA REINA	ECHENIQUE 8414	9,5	20

**Fuente elaboración propia**

### 3.4.3. Modelo

Existen muchas variantes del problema de ruteo de vehículos, pero en este caso se considerara el desarrollo del problema del agente viajero (TSP, Traveling Salesman Problem), pero además de las restricciones habituales de este problema se integrara una restricción adicional, que son las ventanas horarias. Debido que los puntos de venta poseen diferentes tiempos de recepción. Para que un vehículo pueda dar servicio a un cliente, este debe llegar antes del inicio de la ventana de tiempo o dentro de la misma, pero si llega después del fin de la ventana de tiempo, entonces ya no es posible brindar el servicio. En este tipo de problemas existen, respecto a las ventanas de tiempo, dos versiones: restricciones de tiempo blandas, las cual pueden ser violadas a un cierto costo y las restricciones de tiempo duras, las que no pueden ser violadas, ya que si es así, no se podrá atender al cliente. En este caso se considera que las condiciones de ventana de tiempo no pueden ser violadas. Esta consideración se determina en base al bajo nivel de negociación que existe en el mercado y a la importancia de la utilización de los vehículos.

Ahora bien el problema del agente viajero con flota homogénea y restricciones de ventanas de tiempo está dado por:

Sea  $G = (V, A)$  un grafo completo, donde  $V = \{0, 1, \dots, n\}$  es el conjunto de vértices y  $A$  es el conjunto de arcos. El subconjunto de vértices  $I = \{1, \dots, n\}$  corresponde a los clientes, mientras que el vértice  $0$  corresponde al depósito, almacén o centro de distribución.

Cada cliente  $i$  tiene asociado una demanda  $d_i$ , un tiempo de servicio y una ventana de tiempo para iniciar el servicio  $[a_i; b_i]$ . Cada arco  $(i; j) \in A$  tiene asociado dos valores no negativos  $c_{ij}$  y  $t_{ij}$  que representan el costo y el tiempo de transporte respectivamente de ir del vértice  $i$  al vértice  $j$ .

Consideremos además que el depósito o centro de distribución también tiene asociada una ventana de tiempo  $[a_0; b_0]$ . En otras palabras los vehículos no pueden salir del depósito antes de  $a_0$  y deben volver antes de  $b_0$ .

En resumen un vehículo perteneciente al conjunto  $V$  está definido por un nivel de capacidad, un costo fijo y un costo variable dependiente de la carga transportada y la distancia recorrida. Para este problema se considera que el número de vehículos es un número conocido y grande. Como ya se había mencionado el costo de utilización del vehículo que utiliza un arco  $(i; j) \in A$ , es denotado por el cuál es obtenido según la suma lineal de los costos involucrados por la carga transportada y la distancia recorrida.

Por lo tanto el problema de consistirá en encontrar una ruta óptima factible, en las cuales cada ruta inicie y termine en el depósito, las cuales cumplan con las demandas definidas por los clientes y a su vez cumplan con los requisitos de ventanas de tiempo en las entregas.

### 3.4.4. Solución

El método a utilizar se definió como asignar primero y rutear después (cluster first - route second) el cual consiste en dos fases. Primero generar grupos de clientes, o clusters, que estarían en una misma ruta en la solución final. Luego, para cada agrupación de clientes, se construye un modelo TSP, que visite a todos sus clientes y respete las ventanas de inicio y termino de recepción.

Criterios para generar la agrupación de clientes (cluster):

- Los que están próximos a terminar su restricción horaria
- La agrupación de clientes por localidad (comuna). Se analizó el mapeo de clientes y se agrupó mediante cercanía de puntos.
- Finalmente se comprueba que la demanda total de cada *cluster*, no supere la capacidad del vehículo.

**Tabla 3.6 Indica la separación de los clusters.**

A	B	C	D
35	81		3
75	66		5
28	88		7
32	56		16
1	37		18
2	38		19
76	39		20
4	40		21
6	42		23
8	44		25
9			26
10	46		27
12	48		29
89	73		30
24	41		34
51	91		43
95	85		45
79	49		58
14	50		59
15	98		60
54	52		61
17	53		62
47	13		63
31	55		64
65	80		67
36	82		70
93	83		71
94	84		72
69	86		74
99	11		77
68	90		78
33	57		96
97	87		100
22	92		

**Fuente elaboración propia**

Se aplicara un modelo TSP, a cada agrupación de clientes (**A, B y C**), se considera un solo vehiculó para realizar el recorrido (ruta) y se respetan las ventanas de inicio y termino de recepción de medicamentos de cada punto de venta.

La programación del modelo se desarrolla en Microsoft Excel y su solución será ejecutada mediante What's Best! Versión 11.0. Este programa fue elaborado por Lindo Systems para Microsoft Excel. Por lo tanto se debe tener conocimiento este software para utilizarlo. Tiene capacidad para 300 variables y 150 restricciones. Permite elaborar los modelos sobre la hoja de cálculo y luego resolverlos con los algoritmos que presenta. Puede dejar que el programa seleccione el algoritmo de solución o puede dejarlo para su elección.

### 3.4.5. Índices, variables y parámetros

Los índices del modelo son:

- $i$  = nodo de partida  $i$  (1,2,...,  $n$ )
- $j$  = nodo de llegada  $j$  (1,2,...,  $n$ )
- $n$  = nodos totales
- $p$  = Indica el vehículo dependiendo del cluster
- $m$  = Indica la cantidad de nodos (puntos de venta) de cada cluster

VARIABLES DE DECISIÓN

- $X_{ijp} = 1$ , si el vehículo  $p$  viaja de  $i$  a  $j$
- 0, en otro caso
- $S_{jp} \geq 0$ , tiempo de iniciación de servicio del local  $j$  del vehículo  $p$

PARÁMETROS

- $C_{ij}$ : Costo de viaje entre el cliente  $i$  y  $j$
- $D_i$ : Demanda en volumen que tiene el cliente  $i$
- $Te_{ip}$ : Tiempo de entrega en el cliente  $i$  del vehículo  $p$
- $Tv_{ip}$ : Tiempo de viaje entre los nodos  $i$  y  $j$  del vehículo  $p$
- $T_p$ : Tiempo máximo de ruta
- $S_{ip}$ : Tiempo de llegada del vehículo  $p$  al cliente  $i$
- $R$ : Constante suficientemente grande
- $S_{jp}$ : Tiempo de inicio de servicio en el cliente  $j$  del vehículo  $p$
- $V_i(i)$ : Ventana inicial del cliente  $i$
- $V_f(i)$ : Ventana final del cliente  $i$
- $D_{(i,j)}$ : Distancia entre el cliente  $i$  y  $j$

Este modelo determinará el orden de cómo se va visitando a cada cliente (punto de venta) en función de su localización geográfica y a las distancias entre ellos, como también en función de las ventanas horarias que posee cada cliente y los tiempos de viaje. En consecuencia el modelo involucra dos tipos de decisiones, la primera es minimizar los costos de viaje y la segunda es aumentar el nivel de servicio.

Por lo tanto se busca diseñar un conjunto de rutas (de costo mínimo), para cada vehículo de forma que:

- Se atienda exactamente una sola vez cada cliente.
- Cada ruta empiece y termine en el centro de distribución o depósito.
- Se respeten las condiciones de capacidad de los vehículos.
- Se respeten los horarios de entrega de los pedidos

Es así como llegamos a la generación de la función objetivo del modelo, la cual queda definida por:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m C_{ijp} * X_{ijp}$$

Siempre que:

- $X_{ijp} \in \{0,1\}$  señala los números binarios de las variables de decisión **Xij**.
- $C_{ijp} \geq 0$  indica que los valores dentro de la matriz son enteros positivos.
- $i, j: 1,2,\dots,n$

Para que cada cliente sea visitado solo por un vehículo se define:

$$\sum_j^m X_{ijp} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

$$\sum_i^m X_{ijp} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n$$

Indica que cada cliente debe ser atendido por un solo vehículo.

Para las ventanas de tiempo de los clientes, se define lo siguiente:

$$S_{ip} + T e_{ip} + T v_{ijp} - R - X_{ijp} \leq S_{jp} \quad \forall i, j = 1, \dots, n$$

$$a_j \leq S_{jp} \leq b_j$$

Esto nos indica que el tiempo de llegada del vehículo, incluyendo los tiempos de entrega y tiempo de viaje, debe ser menor a la ventana de inicio de servicio del cliente próximo.

Para comenzar a utilizar la herramienta what's best, lo primero que se debió hacer fue crear la variable del recorrido  $X_{ijp}$  asociada a un transporte, en este caso  $Z_p$

La solución del modelo matemático consta de distintas etapas y elementos:

- Creación de función objetivo, variables y restricciones

Para poder resolver el modelo, se deben seleccionar en el programa What's Best! las celdas de la planilla que serán reconocidas como función objetivo, variables y restricciones.

La función objetivo es el mejor resultado que se puede obtener (en este caso es minimizar costos totales (costos de viaje y costos de utilización de los vehículos) dadas las condiciones del problema.

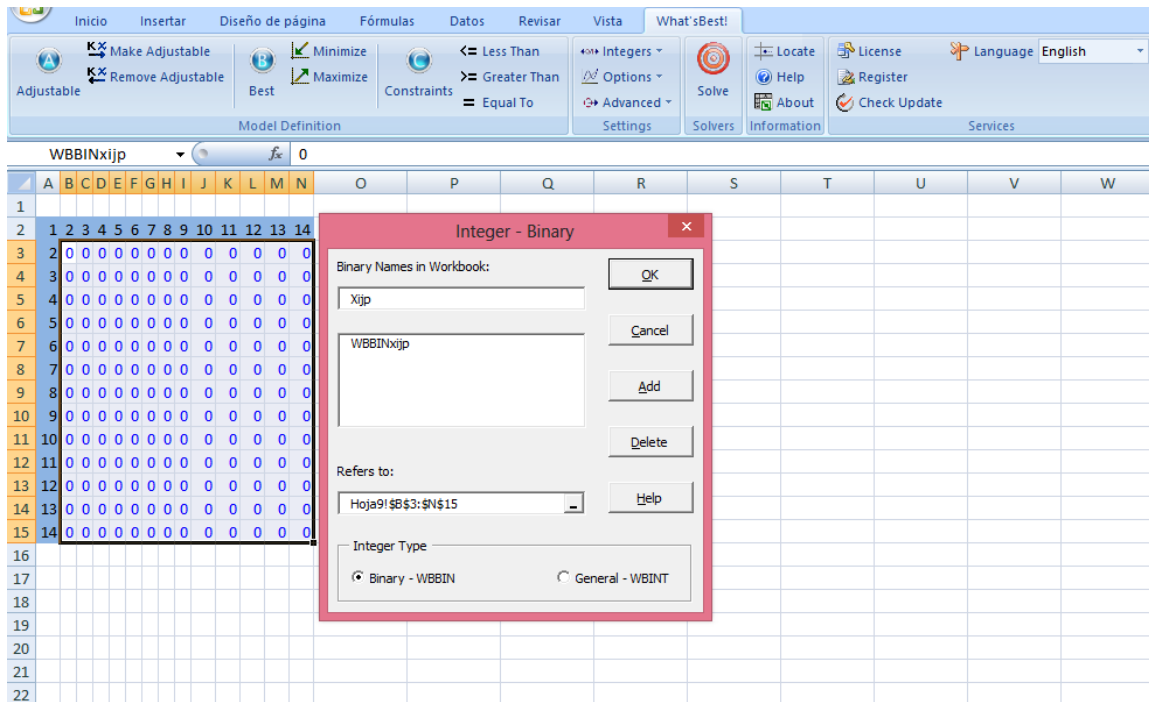
Solo una celda puede ser seleccionada como función objetivo ya que puede haber un solo mejor resultado. Las variables son las celdas que se ajustan para que la función objetivo llegue a un resultado, estas variables pueden ser tantas celdas como se definan en el problema.

Las restricciones son las celdas que indican limitaciones del modelo. Las restricciones también pueden ser tantas celdas como se definan y se asocian a límites que pueden ser mayores, menores y/o iguales ( $=$ ,  $>$ ,  $<$ ) que un valor determinado.

- Variables

La siguiente variable a crear debe ser el recorrido  $X_{ij}$  asociado a un vehículo  $Z_p$  que se requerirán, para eso se debe insertar la fórmula correspondiente en una celda por cada vehículo que se posea. Posterior a eso, se debe repetir el proceso de dejar la celda como variables en el menú de complementos de Microsoft Excel.

**Figura 3.4 Definición matriz de decisión variable  $X_{ijp}$ , aplicación software What's Best.**



Fuente elaboración propia

### 3.4.6. Definición de función objetivo

Para la creación de la función objetivo se debe seleccionar una celda en la planilla Microsoft Excel, posterior a eso ingresar en ésta la fórmula de la función objetivo.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m C_{ijp} * X_{ijp}$$

Una vez que se tenga la fórmula ingresada de forma correcta, se debe seleccionar la celda con la función objetivo e ir a la pestaña de complementos de Microsoft Excel y seleccionar “best” y luego “Minimize”, una vez realizado esto la celda seleccionada cambiará su color de fondo a celeste, indicando que la operación se realizó correctamente.

El objetivo es minimizar los costos totales, los que incluyen costos de utilización de los vehículos y los costos de viaje.

**Figura 3.5 Indica restricciones introducidas al programa**

The screenshot displays the Microsoft Excel Solver interface. The Solver Parameters dialog box is open, showing the objective cell as '\$0.00' and the target as '0'. The Solver Options dialog box is also open, showing 'wba' as the selected engine. The spreadsheet contains a grid of data with columns A through AP and rows 1 through 14. A 'Solve' tooltip is visible over the Solver Parameters dialog box.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
1	0	3	8	2,4	1,6	2,3	1	2,4	1,8	10,2	2	9,5	11,1	16,5	1,3	1,5	1,5	9,3	8,5	5,1	11,6	2,7	3,1	11,1	1,2	1,4	7,8	1,3	2,4	3,2	7,2	8,5	1,2	4,8	9,4	4,8	4,8	1,1	2,2	6	2,6
2	3	0	8,8	1,8	2,5	1,3	2,4	1,8	4,3	12	4,1	11	13,1	17,4	2	1,3	1,3	10,4	7,6	7,6	10	1,9	4,6	13,6	2,6	2,5	9,5	1	3,6	4,9	6,3	10,6	3,6	7,6	8,6	9,6	9,6	2,3	5	5,3	3,6
3	8	8,8	0	7,5	6,9	7,6	7,4	7,5	6,1	2,5	7,1	2,2	8,5	10,5	6,9	6,9	7,5	7,1	8	7,5	9	5,4	5,2	9	7,9	6,9	7,3	6,7	5,8	5,3	4,8	5	8	7	3,4	6	6	8	10	4	11,3
4	2,4	1,8	7,5	0	0,7	1,6	1	0	3,2	10,3	3	9,2	12,2	13,2	0,85	2,4	2,4	10,2	9,4	6	12,5	3,6	4	12	2,1	2,3	8,7	2,2	3,3	4,1	8,1	9,4	2,1	5,7	10,3	5,7	5,7	2	3,1	6,9	3,5
5	1,6	2,5	6,9	0,7	0	0,9	0,75	0,7	3	9	2,9	8,4	12	13	0,65	2,2	2,2	10	9,2	5,8	12,3	3,4	3,8	11,8	1,9	2,1	8,5	2	3,1	3,9	7,9	9,2	1,9	5,5	10,1	5,5	5,5	1,8	2,9	6,7	3,3

Fuente elaboración propia

## **Capítulo IV: Verificación, validación y análisis de resultados**

---

*En este capítulo se realizará la verificación y validación del modelo matemático propuesto, sus resultados y el respectivo análisis a realizar.*

---

#### **4. Verificación y validación del modelo**

Esta parte se realizó para encontrar posibles errores existentes que son del tipo no intencional.

Esto se realiza para corroborar si las restricciones están modeladas correctamente, ya que si esto se logra se podrá decir que el modelo propuesto realiza lo solicitado.

Además así podremos saber si los resultados tienen real sentido con la realidad, además de confirmar que las restricciones incorporadas son parte de la realidad, y que al ser tolerables por el modelo los resultados son correctos y deben servir para otros casos similares.

Para poder realizar una verificación efectiva, y poder afirmar que las soluciones obtenidas son correctas, se debe realizar una serie de pasos que se describen a continuación:

- Chequear los resultados del modelo, en casos especiales de solución.
- Chequear los resultados del modelo, en casos extremos conocidos.
- Chequear los resultados del modelo, en pequeños ejemplos que pueden ser resueltos con solución manual.
- Chequear los resultados del modelo, ante cambios de los parámetros de entrada (precio, demanda, oferta, distancia, etc.).

En esta investigación se decidió efectuar cambios en los parámetros de entrada y con esto chequear los resultados del modelo. Específicamente en las ventanas horarias para asignar según éstas el orden que debe recorrer el vehículo y así saber si el modelo está haciendo lo que se le pide que se haga a través de las restricciones.

El modelo del viajante viajero con ventanas de tiempo, incluye dos restricciones adicionales que son los tiempos totales de entrega y ventanas de tiempo, que son complementarias a las básicas del TSP.

Se realizó un cambio de restricciones en todos los modelos pero solo se presenta lo ocurrido en el cluster C. A ésta agrupación de clientes se le modificaron sus ventanas horarias originales por otras ventanas de tiempo, con el fin de obligar al modelo a realizar un recorrido, en donde intuitivamente el resultado se sabe con antelación. Finalmente se verifica que el modelo genere una solución lógica y correcta.

**Tabla 4.1 Indica nuevas ventanas horarias**

	A	B	C	D	E	F	G
1	1	3	AGROCORP LTDA.	Providencia	HUELEN 154-OF. 41-A	9	19,5
2	2	5	ASOC. DIALIZADOS DE CHILE	Providencia	RANCAGUA # 0250	9	19,5
3	3	7	ASOC.NAC.PREV.Y REHAB.DE LA CEGUERA	Providencia	SALVADOR 943-PISO 2	8,5	19
4	4	16	ASOCIACION CHILENA DE SEGURID.	Providencia	AV. RAMON CARNICER 201	8,5	19
5	5	18	ASOCIACION DE DIABETICOS DE CHILE	Providencia	QUEBEC 496	8,5	19
6	6	19	CARMEN LIA SOLIS	Providencia	LA CONCEPCION 81	9	19,5
7	7	20	CLINICA LAS LILAS	Providencia	ELIODORO YAÑES 2087	8,5	19
8	8	21	CLINICA OFTA ULTRAV IQUIQUE SPA	Providencia	LUIS THAYER OJEDA 0180. OF. 208	8,5	19
9	9	23	CLINICA SANTA MARIA	Providencia	AV. SANTA MARIA 0410 PROVIDENCIA	9	19,5
10	10	25	CLINICAL MERKET S.A.	Providencia	PROVIDENCIA 1100, LOCAL 34	7,5	18
11	11	26	COMERCIAL CUENTA LIMITADA	Providencia	11 DE SEPTIEMBRE 1860 OF 46	9,5	20
12	12	27	COMERCIAL DORIAN LTDA.	Providencia	Luis Thayer Ojeda 95 L5	9	19,5
13	13	29	CORP DE AYUDA AL MENOR	Providencia	AV SALVADOR 149 OF 306	9,5	20
14	14	30	CORP NACIONAL DEL CANCER	Providencia	CAPELLAN ABARZUA 027-037	7,5	18
15	15	34	CRODA CHILE LTDA.	Providencia	DR. HERNAN ALESSANDRI 782, PROVIDENCIA	8	18,5
16	16	43	Cruz Verde Local 39	Providencia	Providencia N° 2012 - Santiago	8,5	19
17	17	45	FARMAGESTION LTDA.	Providencia	SALVADOR 716. OF. 103	7	17,5
18	18	58	FRANCISCO COPANO PINO	Providencia	MARIA LUISA SANTANDER 0180 DEP.4	10	20,5
19	19	59	GIOCONI Y SMOJE LTDA.	Providencia	LUIS THAYER OJEDA 073 OF.708	8,5	19
20	20	60	HOSPITAL LUIS CALVO MACKENNA	Providencia	ANTONIO VARAS 360	9	19,5
21	21	61	HOSPITAL METROPOLITANO	Providencia	AVDA. HOLANDA 50	7,5	18
22	22	62	SYB Local 64	Providencia	Manuel Montt 1150-1154	8	18,5
23	23	63	UNIDAD CORONARIA MOVIL LTDA.	Providencia	AV.LUIS THAYER OJEDA 085	8,5	19
24	24	64	VISUM S.A.	Providencia	LOS LEONES 1490	7	17,5
25	25	67	WASIL S.A.	Providencia	AVDA PROVIDENCIA 2633 LOCAL 42	9,5	20
26	26	70	ZUÑIGA E HIJOS LTDA	Providencia	AV LOS LEONES 1459	9	19,5
27	27	71	SOCIEDAD DANIEL HAMMER LTDA	Providencia	HOLANDA 93	9,5	20
28	28	72	SYB Local 101	Providencia	Suecia # 113	10	20,5

**Fuente elaboración propia**

Luego de esto se llevan estos nuevos datos al modelo antes propuesto.

Para una mayor comprensión de la tabla 4.1., ya que es fundamental comprender los resultados en la matriz binaria  $X_{ij}C$ , que es la solución que entrega el modelo. Se explicará brevemente.

De debe entender que cada nodo fue reasignado para poder realizar la verificación, además que siempre se comienza el recorrido desde el centro de distribución hacia el nodo más cercano u óptimamente mejor a visitar.

**Tabla 4.2 Verificación del modelo**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	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	0	0	0	0	0	0	0
10	0	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	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	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	0	0	0	0
13	0	0	0	0	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	0	0	0
14	0	0	0	0	0	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	0	0
15	0	0	0	0	0	0	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	0
16	0	0	0	0	0	0	0	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
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Fuente elaboración propia**

Luego se verifica la secuencia en el trayecto

**Tabla 4.3 Verificación de trayecto**

cantidad de nodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
numero del nodo	3	5	7	16	18	19	20	21	23	25	26	27	29	30	34	43	45	58	59	60	61	62	63	64	67	70	71	72	74	77	78	96

**Fuente elaboración propia**

Podemos corroborar que el nuevo orden, obviando la nueva asignación de nodos, sigue un orden cronológico, lo cual nos dice que sigue un orden lógico.

Podemos concluir que el modelo propuesto arroja resultados lógicos y correctos, ya que se va visitando a todos y cada uno de los clientes respetando su horario de atención. Este

parámetro de validación fue modificado intencionalmente para corroborar que el modelo funciona y arroja resultados confiables.

Para aprobar del modelo es necesario aproximar a la realidad, esto se hizo de la siguiente forma y se describen a continuación: el modelo trabaja con solo un camión, el cual visita ciertos nodos en un parámetro horario, teniendo las distancias entre ellos y las horas de recepción, con esto el modelo entrega la mejor ruta. Si se desea implantar en otra situación es posible bajo circunstancias similares. Realizando una matriz distancia de los nodos a visitar.

#### **4.1. Análisis de resultados**

Inmediatamente al haber verificado que el modelo planteado se ejecuta como fue programado, se examinan 3 modelos con los datos reales de cada cluster. Primero hay que plantear una base o situación actual, de operar en la distribución de medicamentos, luego poder comparar entre la situación actual y la situación obtenida del modelo, y con ello alcanzar conclusiones de los resultados. Todo este análisis es necesario para obtener indicadores que entreguen las rutas de distribución, con el fin de lograr los objetivos de esta investigación.

A continuación se describe y lleva a cabo una serie de pasos para poder lograr el análisis detallado de la situación actual y poder compararlo con la situación modelada.

#### **4.2. Definición de la línea base y resultados metodología actual**

El objetivo de una línea base para el proceso de ruteo de vehículos es lograr establecer si el sistemática de ruteo de los vehículos que se plantea en este trabajo logra mejoras. La comparación entre la nueva situación obtenida de la aplicación del modelo para el ruteo de vehículos y la situación actual, permite ver en que se producen las mejoras y a cuánto corresponden éstas.

Línea base, en este caso, corresponde a la situación actual de la empresa con respecto al ruteo de vehículos, y para poder determinarla es necesario recopilar los datos acerca de los costos en los que está incurriendo la empresa para llevar a cabo el reparto de medicamentos, a los diferentes puntos. Los datos utilizados para reflejar la situación actual de la empresa son datos que corresponden al mes de Junio 2013 ya que previo análisis de la base de datos anual se determinó que el mes de Junio representa de la mejor forma la cantidad de demanda satisfecha en promedio los meses de alto nivel de campañas que necesitan productos.

La situación actual plantea, que en este mes realiza el ruteo con todos los vehículos propios, y a continuación se detalla el costo asociado a aquel transportista, junto a todo lo que conlleva su trabajo, el cual realizo las rutas antes analizadas.

**Tabla 4.4 Detalle costo ruta**

	COSTO MENSUAL					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Carlos Clavero	\$ 827.952,00	\$ 772.565,00	\$ 804.217,00	\$ 851.691,00	\$ 835.867,00	\$ 772.565,00
Esteban Vallejos	\$ -	\$ 992.250,00	\$ 1.046.000,00	\$ 1.142.750,00	\$ 1.089.000,00	\$ 1.035.250,00
Jorge Tapia	\$ -	\$ 737.500,00	\$ 800.000,00	\$ 1.205.000,00	\$ 1.175.000,00	\$ 972.500,00
Juan Díaz	\$ 766.000,00	\$ 706.000,00	\$ 709.000,00	\$ 766.000,00	\$ 739.000,00	\$ 700.000,00
Rodrigo Rojas	\$ 835.865,00	\$ 637.613,00	\$ 820.043,00	\$ 800.041,00	\$ 752.565,00	\$ 780.478,00
TRANSPORTES BIANCA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
TW	-	\$ 2.090.000,00	\$ 2.090.000,00	\$ 2.200.000,00	\$ 1.980.000,00	\$ 1.870.000,00
FCBP-60 / FRTD-59	\$ 726.000,00	\$ 793.000,00	\$ 842.500,00	\$ 892.000,00	\$ 834.250,00	\$ 809.500,00
FCBD-57	\$ 726.000,00	\$ 768.250,00	\$ 834.250,00	\$ 883.750,00	\$ 826.000,00	\$ 809.500,00
CENABAST	\$ 3.260.000,00	\$ 3.060.000,00	\$ 4.150.000,00	\$ 4.285.000,00	\$ 5.185.000,00	\$ 6.270.000,00
TRANSPORTES PERILOGISTICS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
BBPF 78	\$ 1.121.835,47	\$ 775.662,67	\$ 764.106,19	\$ 685.432,97	\$ 627.133,03	\$ 645.355,00
BLBL 53	\$ 481.174,65	\$ 501.102,15	\$ 560.272,90	\$ 703.675,25	\$ 702.906,47	\$ 766.388,41
BX FW 41	\$ 542.157,30	\$ 580.026,04	\$ 564.078,65	\$ 719.392,24	\$ 716.718,24	\$ 648.500,89
CD BD 62	\$ 611.792,86	\$ 580.447,22	\$ 729.947,51	\$ 553.304,53	\$ 576.099,75	\$ 616.771,00
CJ HV 23	\$ 793.670,98	\$ 596.751,13	\$ 819.113,72	\$ 1.125.445,49	\$ 833.451,61	\$ 1.266.951,75
CX SB 45	\$ 633.150,84	\$ 535.628,35	\$ 538.347,72	\$ 835.968,55	\$ 740.819,04	\$ 733.198,31
CY BW 95	\$ 492.166,33	\$ 471.119,33	\$ 467.903,33	\$ 492.602,50	\$ 534.905,93	\$ 493.669,33
DT CZ 43	\$ 519.977,75	\$ 543.842,70	\$ 487.587,70	\$ 550.575,23	\$ 538.241,59	\$ 501.992,00
FJ DB 45	\$ 428.137,00	\$ 854.852,98	\$ 695.466,18	\$ 692.176,74	\$ 758.178,95	\$ 690.847,09

**Fuente Perilogistics S.A.**

En la Figura 4.1 se detalla el costo mensual, considerando costos variables y fijos, de los transportes propios de Perilogistics S.A.

Cabe destacar que cada uno de los vehículos realiza rutas diferentes cada mes, normalmente realizando los despachos a la misma zona durante todo el mes. Por ejemplo el vehículo de patente CJ HV 23, el mes de Junio 2013 realizo la zona que en esta memoria se analiza.


JUNIO	2013	DIAS HABILES	21	PROM. PUNTUALIDAD	0,95			Valor Día	\$ 31.650
NETO CANCELAR (\$)	\$ 728.826			DIAS TRANSCURRIDOS	20			Valor Hora Extra	\$ 7.913
TRANSPORTISTA				PUNTUALIDAD				Valor Día Sábado	\$ 18.900
PERILOGISTICS				VALOR A CANCELAR(\$)	\$ 80.000	VALOR (\$)	\$ 648.826	M = Hoja Ruta Manual	
				PREMIO (\$)	80.000				
		% Asistencia	95%						
FECHA	CHOFER-AUX	Dia Sábado	Hora Extra	Valor a Pagar día Sábado	Valor a Pagar Hora Extra	Valor Diario	Acumulado	Kilos Transportados	SIPOL
1				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0		
2	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 31.650		
3	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 63.300		
4				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 63.300		
5				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 63.300		
6	1		1	\$ 0	\$ 7.913	\$ 31.650	\$ 94.950		
7	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 126.600		
8	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 158.250		
9	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 189.900		
10	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 221.550		
11				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 221.550		
12				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 221.550		
13	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 253.200		
14	1		1	\$ 0	\$ 7.913	\$ 31.650	\$ 284.850		
15	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 316.500		
16	0			\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 316.500		
17	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 348.150		
18				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 348.150		
19				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 348.150		
20	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 379.800		
21				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 379.800		
22	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 411.450		
23	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 443.100		
24	1		1	\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 474.750		
25				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 474.750		
26				\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 474.750		
27	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 506.400		
28	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 538.050		
29	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 569.700		
30	1		2	\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 601.350		
31	1			\$ 0	\$ 0	\$ 31.650	\$ 601.350		
				\$ 0	\$ 15.826	\$ 633.000		0,00	

Figura 4.1 Detalle Transportista

Fuente Perilogistics S.A.

En la figura 4.2 se detalla cómo se realiza el pago mensual de un transportista de Perilogistics S.A. considerando valor diario, horas extras, valor acumulado, días extras, faltas y premio.



**Figura 4.2 Detalle transportista CJ HV 23**

MES	TRANSPORTE	PATENTE	RUTA	N° BULTO	PESO	REGION
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49956	2	1	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49902	5	10,3600004	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49898	75	181,600005	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49875	114	501,600006	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49813	21	252,34	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49793	22	229,309998	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49738	115	524,209997	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49594	1	0,40000001	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49572	11	26,9500008	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49469	152	519,519997	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49389	58	440,5	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49353	64	268,689995	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49301	117	420,370002	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49256	59	408,350001	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	49193	45	112,109999	REGION RM
Jun	TRANSPORTES PE	CJHV23	(en blanco)	213	9230,22	#N/A

**Fuente Perilogistics S.A.**

La figura 4.3 hace un detalle de las cantidades transportadas por el vehículo de la empresa, el cual realiza la ruta en la zona a analizar.

Cabe destacar que el costo total cancelado por la empresa para satisfacer las demandas realizadas por su flota en el mes de Junio 2013 es de \$6.363.673, correspondiendo a \$1.266.951 el costo asociado a la zona la cual analizamos, recordando que es la zona más grande a cubrir.

Otro factor a tener en cuenta es el impacto que tiene el nivel de servicio que proporciona la empresa, el nivel de entregas y el nivel de utilización de los vehículos. Al ser un servicio que la empresa entrega solo con el fin de competir en el mercado debo considerar que en la actualidad la empresa no realiza ningún tipo de control de kilómetros, como tampoco posee indicadores de gestión para evaluar el desempeño y el control del sistema actual de transporte y distribución. Es así que para la validación se proponen indicadores para poder medir lo dicho anteriormente, como se plantea a continuación

- **Nivel de utilización de recursos:** Relación de capacidad del camión y la capacidad real utilizada en una asignación de ruta. La capacidad de utilización corresponde a la cantidad de bultos transportados en una ruta promedio en una semana.

- **Nivel de servicio:** Corresponde a la cantidad de clientes que son efectivamente atendidos respecto a un total asignado.
- **Nivel de fracaso de entrega:** Corresponde a la cantidad de bultos que no han sido entregados, debido al incumplimiento en los horarios de recepción.

Una vez propuestos los indicadores se podrá medir el desempeño de la situación actual, y también de la situación propuesta con el modelo. A continuación se presenta los resultados de los indicadores propuestos anteriormente.

**Tabla 4.6 Indicadores actuales de la empresa**

Mes Junio 2013						
Indicadores	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	Ruta 5	Ruta 6
Nivel de utilización	30,0%	24,0%	26,0%	24,0%	30,0%	26,0%
Nivel de servicio	100,0%	100,0%	100,0%	97,0%	94,0%	98,0%
Nivel de fracaso	0,0%	0,0%	0,0%	3,0%	6,0%	2,0%

**Fuente elaboración propia**

**Tabla 4.7 Promedio de indicadores**

Indicadores	Promedio por rutas
Nivel de utilización	26,7%
Nivel de servicio	98,2%
Nivel de fracaso	1,8%

**Fuente elaboración propia**

En la tabla 4.2 y 4.3 se muestran los indicadores propuestos y como estos se llevan a cabo en la actualidad en la empresa (Junio 2013).

### 4.3. Metodología propuesta

A continuación se desarrollara el análisis de comportamiento del vehículo CJ HV 23, de acuerdo a lo propuesto por el modelo.

Cabe recalcar que es este vehículo el cual cubrió la zona más grande en el mes de mayor demanda del año 2013, es por esto que respetando las restricciones, y analizando el costo asociado a la realización de la ruta más grande realizada el mes en cuestión se puede llegar a conclusiones correctas.

El costo promedio por ruta en la actualidad (Junio 2013) es de \$79.184

Según los datos obtenidos la ruta más grande en la zona les la siguiente.

**Tabla 4.8 Ruta optimizada**

cantidad de nodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
numero del nodo	3	5	7	16	18	19	20	21	23	25	26	27	29	30	34	43	45	58	59	60	61	62	63	64	67	70	71	72	74	77	78	96

**Fuente elaboración propia**

Una vez determinada la ruta más grande hay que calcular el costo de esta misma.

**Tabla 4.9 Costo ruta modelo**

Ruta	Costo diario
Costo Variable	\$ 35.513,0
Costo fijo	\$ 31.650,0
Total	\$ 67.163,0

**Fuente elaboración propia**

**Tabla 4.10 Costo proyectado**

Ruta	Costo diario	Costo mensual	Costo anual
Costo Variable	\$ 35.513,0	\$ 568.208,0	\$ 9.091.328,0
Costo fijo	\$ 31.650,0	\$ 506.400,0	\$ 8.102.400,0
Total	\$ 67.163,0	\$ 1.074.608,0	\$ 12.895.296,0

**Fuente elaboración propia**

Las tablas 4.8 y 4.9 indican el costo que se tendría una vez implementado el modelos propuesto, el cual, al introducirse la ruta mas grande de la zona 1 el costo diaria es de \$67.163, el cual proyectamos a las 16 rutas realizadas en el mes de Junio 2013 el costo mensual seria \$1.074.608.

Si bien existen muchas variables que podrían llegar a influir en una proyección anual, al ser el mes de más demanda en el año, proyectando la misma cantidad de rutas mensuales el costo anual del vehículo analizado es de \$12.895.296.

**Tabla 4.11 Indicadores propuestos**

Indicadores	Ruta 1
Nivel de utilizacion	30,0%
Nivel de servicio	100,0%
Nivel de fracaso	0,0%

**Fuente elaboración propia**

#### 4.4. Comparación

A continuación se muestran una tabla resumen de las variables más relevantes, haciendo una comparación entre la metodología actual y la metodología propuesta. Dando a conocer los beneficios de implementar un modelo matemático que asista al ruteo de vehículos en un sistema de distribución operacional.

**Tabla 4.12 Comparación situación actual y modelada**

Variables	Actual	Modelo
Cantidad de clientes	32	32
Días trabajado	1	1
Cantidad de vehículos a utilizar	1	1
Cantidad de rutas	1	1
Distancias recorridas	46 km	36 km
Nivel de utilización	30%	30%
Nivel de servicio	100%	100%
Nivel de fracaso	0%	0%
Jornada laboral	12	12

**Fuente elaboración propia**

Habiendo mostrado los resultados, tanto reales como modelados, y analizando los costos asociados a esto se muestra lo siguiente.

**Tabla 4.13 Comparación de costos**

Ruta	Costo diario modelado	Costo diario real
Costo Variable	\$ 35.513,0	\$ 38.534,0
Costo fijo	\$ 31.650,0	\$ 31.650,0
Total	\$ 67.163,0	\$ 70.184,0

**Fuente elaboración propia**

Queda en evidencia un ahorro de un 5% en el costo diario, lo cual que al proyectarlo arroja un ahorro anual en esta zona de \$580.032.

## **Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones**

---

*En este capítulo se dan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del trabajo de esta memoria.*

---

## 5. Conclusiones

Dados los resultados obtenidos en este trabajo podemos decir satisfactoriamente que los objetivos propuestos al inicio de esta investigación fueron logrados, teniendo en cuenta los cuadros comparativos descritos en el capítulo anterior y el desarrollo de esta memoria.

- Se construyó un modelo de ruteo vehicular para la optimización de rutas de distribución que obtiene la minimización de costos de un 5,7 % para resolver el problema planteado, que equivale a \$580.032 anuales dentro de la zona analizada.
- Este modelo matemático logra el objetivo de proporcionar un método, no empírico, para la distribución de medicamentos, el cual determina la ruta a seguir por cada vehículo, indicando el orden que atiende a los clientes, respetando el horario de llegada a los puntos correspondientes.
- El modelo provee una herramienta sencilla y practica que logra resultados atractivos respecto de una situación inicial. Además es de fácil aplicación y adaptabilidad para poder ser implementada en la empresa.
- El modelo construido permite fundar una serie de indicadores y hacer mediciones de tiempos en la jornada laboral, niveles de servicio, niveles de porcentajes de utilización de recursos, lo que agrega coste al trabajo realizado, permitiéndole a un potencial futuro usuario hacer un acabado análisis de las programaciones diarias, semanales o por jornada laboral de los camiones.
- Al utilizar menos hora en lo que corresponde a distribución se puede determinar nuevas tareas a quienes realizan este proceso y todos los que atrae el proceso de distribución, así no tener horas de ocio.
- Podemos afirmar que al ser el grupo de nodos más grande a cubrir, habiendo analizado el mes de mas demanda, el modelo debe arrojar resultados positivos en las demás zonas, disminuyendo los fracasos en la distribución.

## **5.1. Recomendaciones**

A raíz del análisis de resultados, parece recomendable para todas las empresas que no lo poseen utilizar la herramienta de ruteo, como la que aquí se planteo para el manejo de sus flotas de distribución, como también para la planificación.

En el área de distribución y logística el sistema que utiliza actualmente la empresa, es estático, es decir, el sistema se dedica a almacenar información sin analizarla ni procesarla. La idea fundamental es realizar y diseñar un instrumento que se integre en el sistema y que sea alimentada por él para así lograr un servicio más eficiente y eficaz.

En la investigación se propuso establecer una serie de indicadores y hacer una serie de mediciones de tiempos en la jornada laboral, niveles de servicio, niveles de porcentajes de utilización de recursos (vehículos), entre otros, lo que agrega aún más valor al trabajo realizado, permitiéndole a un potencial futuro usuario hacer un acabado análisis de las programaciones semanales e incluso diarias o por jornada laboral de los camiones.

Además debe profundizar en etapas posteriores, es decir proveer información acerca del comportamiento de la solución ante cambios en los valores de los parámetros planteados. Es importante tener actualizada la información de los tiempos de espera y de descarga, ya que de estos depende en gran parte el cómo atender a los clientes respetando las ventanas horarias. El estudio de estos parámetros se debe reajustar de manera de tener valores representativos al momento de realizar los ruteos.

En cuanto a los incidentes, lo cual no se consideró para la realización del modelo, sería interesante estudiar cómo afectaría al. Por ejemplo, se podría estudiar cómo cambian los resultados cuando un vehículo de la flota sufre un desperfecto y no puede seguir operando.

## **Capítulo VI: Bibliografía**

---

*Se detalla la bibliografía utilizada en la  
realización de esta Memoria*

---

## 6. Bibliografía

- Estudio: Análisis económico del transporte de carga nacional, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones – Subsecretaría de Transportes de Chile.
- Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante, Cuarta Edición, de Ferrel O.C., Hirt Geoffrey, Ramos Leticia, AdriaEnséns Marinéala y Flores Miguel Ángel, Mc Graw Hill, 2004, Pág. 282
- Marketing, Sexta Edición, de Lamb Charles, Hair Joseph y McDaniel Carl, International Thompson Editores S.A., 2002, Pág. 383.
- Organización de Empresas, Segunda Edición, de Franklin B. Enrique, Mc Graw Hill, 2004, Pág. 362.
- Malandraki, C. y Daskin, M.S. (1992). Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms. *Transportation Science*, 26, 185-200.
- Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2003). Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times. *European Journal of Operational Research*, 144 (2), 379-396.
- <sup>1</sup> Fleischmann, B., Gietz, M. y Gnutzmann, S. (2004). Time-Varying Travel Times in Vehicle Routing. *Transportation Science*, 38 (2), 160-173.
- Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2000). Diversion Issues in Real-Time Vehicle Dispatching. *Transportation Science*, 34 (4), 426-438
- Haghani, A. y Jung, S. (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times, *Computers & Operation Research*, 32, 2959-2986.
- Chen, H., Hsueh, C. y Chang, M. (2006). The real time- time-dependent vehicle routing problem. *Transportation Research Part E*, 42, 383-408.
- Solución de problemas de ruteos de vehículos con restricciones de capacidad usando teoría de grafos. Alexander Correa Espinal, Ph D, Juan Cogollo Flores, M Sc, Juan Salazar López, M Sc. Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Diseño y Desarrollo de un Modelo de Asignación para la Optimización de Rutas de Distribución de la Empresa Disecom S.A. Sebastián Céspedes Vera, Heinz Schultz Arteaga, Universidad de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Industrial.
- Modelo de ruteo de vehículos. Oscar Mauricio Morales Silva, Universidad EAN, Especialización en Gerencia Logística, Bogotá, Colombia.
- Formulación y solución de un problema de ruteo de vehículos con demanda variable en tiempo real, trasbordos y ventanas de tiempo. Claudio Andrés Contardo Vera, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Matemática
- Página web de la empresa
- Gestión de la cadena de suministros (SCM), Iván J. Tumero
- Distintas funciones de la Logística
- <http://www.igrescat.net/>

- Solución al problema de ruteo de vehículos con capacidad “CVRP” a través de a heurística de barrido y la implementación del algoritmo genético de Chu-Beasley, Juan Pablo Orrego Cardozo, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Industrial Pereira, 2013.
- Una formulación para el problema de ruteo de vehículos con tiempo de viaje dependientes del tiempo para la actualización de rutas con información en tiempo real, Matías Jaime Ebersperger Palacios, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería
- Formulación y solución de un problema de ruteo vehicular con demanda variable en tiempo real, transbordos y ventanas de tiempo, Claudio Andrés Contardo Vera, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias de Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Matemática, 2005.
- Localización de paraderos y ruteo vehicular en el transporte de personal de una faena del norte de Chile, Víctor Edward Johns y Beatriz Sánchez, Departamento de Industrias, Universidad Tecnológica Federico Santa María.

## **Anexos**

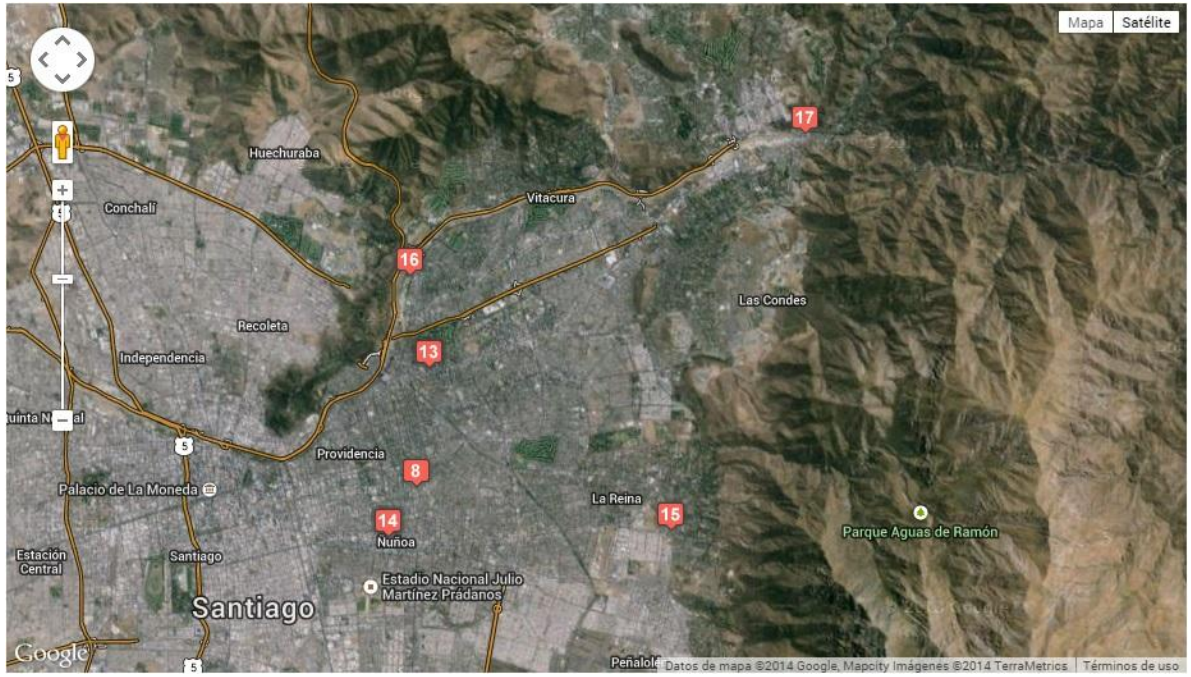
## Detalle de Costos

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
<b>BBPF 78</b>	\$ 1.121.835,47	\$ 775.662,67	\$ 764.106,19	\$ 685.432,97	\$ 627.133,03	\$ 645.355,00
<b>BLBL 53</b>	\$ 481.174,65	\$ 501.102,15	\$ 560.272,90	\$ 703.675,25	\$ 702.906,47	\$ 766.388,41
<b>BX FW 41</b>	\$ 542.157,30	\$ 580.026,04	\$ 564.078,65	\$ 719.392,24	\$ 716.718,24	\$ 648.500,89
<b>CD BD 62</b>	\$ 611.792,86	\$ 580.447,22	\$ 729.947,51	\$ 553.304,53	\$ 576.099,75	\$ 616.771,00
<b>CI HV 23</b>	\$ 793.670,98	\$ 596.751,13	\$ 819.113,72	\$ 1.125.445,49	\$ 833.451,61	\$ 1.266.951,75
<b>CX SB 45</b>	\$ 633.150,84	\$ 535.628,35	\$ 538.347,72	\$ 835.968,55	\$ 740.819,04	\$ 733.198,31
<b>CY BW 95</b>	\$ 492.166,33	\$ 471.119,33	\$ 467.903,33	\$ 492.602,50	\$ 534.905,93	\$ 493.669,33
<b>DT CZ 43</b>	\$ 519.977,75	\$ 543.842,70	\$ 487.587,70	\$ 550.575,23	\$ 538.241,59	\$ 501.992,00
<b>FJ DB 45</b>	\$ 428.137,00	\$ 854.852,98	\$ 695.466,18	\$ 692.176,74	\$ 758.178,95	\$ 690.847,09
	\$ 5.624.063,18	\$ 5.439.432,58	\$ 5.626.823,90	\$ 6.358.573,50	\$ 6.028.454,61	\$ 6.363.673,80

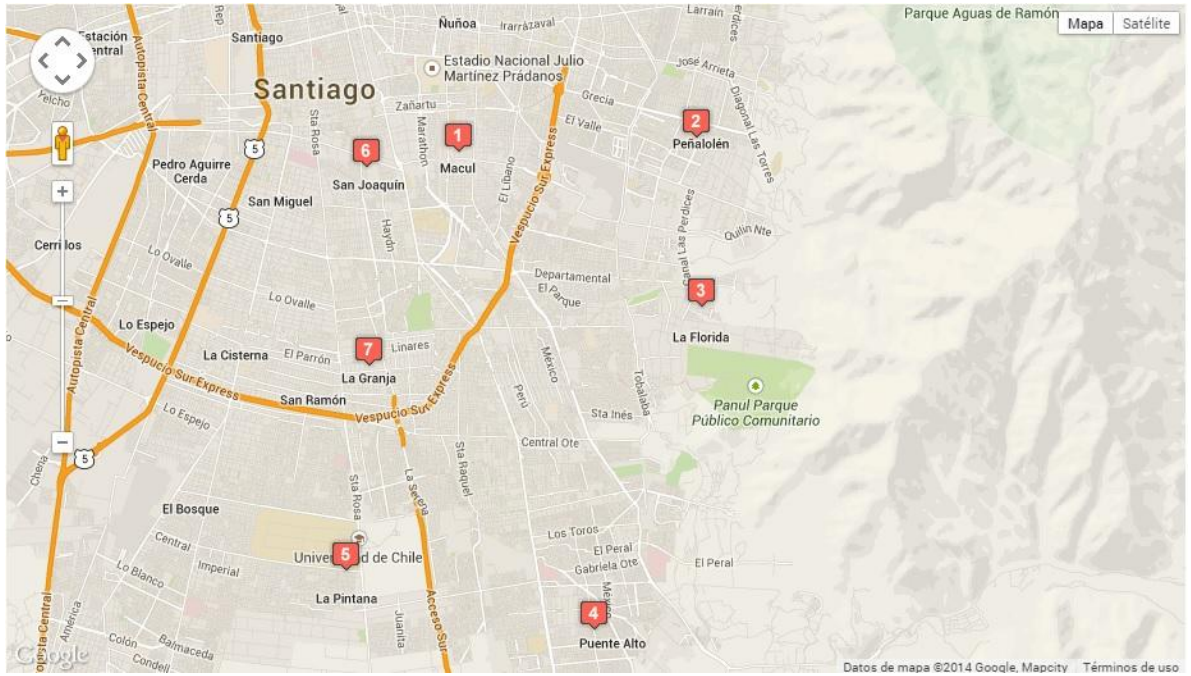
MES	PATENTE	Valores			VALOR X BULTO	VALOR X KILO	VALOR X RUTA
		Suma de N° BULTO	Suma de PESO	Cuenta de RUTA			
<b>Ene</b>	BBPF78	2050	92794,86377	23	\$ 547,24	\$ 12,09	\$ 48.775,46
	BLBL53	422	1774,239989	6	\$ 1.140,22	\$ 271,20	\$ 80.195,78
	BXFW41	1159	10612,76005	12	\$ 467,78	\$ 51,09	\$ 45.179,78
	CDBD62	906	4290,089976	47	\$ 675,27	\$ 142,61	\$ 13.016,87
	CIHV23	692	79043,84907	9	\$ 1.146,92	\$ 10,04	\$ 88.185,66
	CXSB45	4617	30468,69999	15	\$ 137,13	\$ 20,78	\$ 42.210,06
	CYBW95	7	36,89000034	2	\$ 70.309,48	\$ 13.341,46	\$ 246.083,17
	DTCZ-43	1189	452,4500008	51	\$ 437,32	\$ 1.149,25	\$ 10.195,64
	<b>Total Ene</b>		<b>11042</b>	<b>219473,8428</b>	<b>165</b>		
<b>Feb</b>	BBPF78	2945	24909,92006	23	\$ 263,38	\$ 31,14	\$ 33.724,46
	BLBL53	9	53,9099985	1	\$ 55.678,02	\$ 9.295,16	\$ 501.102,15
	BXFW41	2543	13556,36997	27	\$ 228,09	\$ 42,79	\$ 21.482,45
	CDBD62	609	4107,55999	39	\$ 953,12	\$ 141,31	\$ 14.883,26
	CIHV23	2912	42727,18007	14	\$ 204,93	\$ 13,97	\$ 42.625,08
	CXSB45	7769	47765,77978	24	\$ 68,94	\$ 11,21	\$ 22.317,85
	CYBW95	35	43,67000008	1	\$ 13.460,55	\$ 10.788,17	\$ 471.119,33
	DTCZ-43	752	7932,219999	48	\$ 723,20	\$ 68,56	\$ 11.330,06
	<b>Total Feb</b>		<b>17574</b>	<b>141096,6099</b>	<b>177</b>		
<b>Mar</b>	BBPF78	8643	24370,58895	31	\$ 88,41	\$ 31,35	\$ 24.648,59
	BLBL53	65	3552,8	3	\$ 8.619,58	\$ 157,70	\$ 186.757,63
	BXFW41	4013	18047,06	28	\$ 140,56	\$ 31,26	\$ 20.145,67
	CDBD62	802	4035,53001	64	\$ 910,16	\$ 180,88	\$ 11.405,43
	CIHV23	6677	7174,810005	17	\$ 122,68	\$ 114,17	\$ 48.183,16
	CXSB45	3645	32302,83998	16	\$ 147,69	\$ 16,67	\$ 33.646,73
	CYBW95	30	1,129999977	1	\$ 15.596,78	\$ 414.073,75	\$ 467.903,33
	DTCZ-43	1010	1050,680014	51	\$ 482,76	\$ 464,07	\$ 9.560,54
	FJDB-95	588	4704	1	\$ 1.182,77	\$ 147,85	\$ 695.466,18
<b>Total Mar</b>		<b>25473</b>	<b>95239,43896</b>	<b>212</b>			
<b>Abr</b>	BBPF78	4310	16179,80002	30	\$ 159,03	\$ 42,36	\$ 22.847,77
	BLBL53	2037	13819,80003	27	\$ 345,45	\$ 50,92	\$ 26.062,05
	BXFW41	1925	15682,97997	13	\$ 373,71	\$ 45,87	\$ 55.337,86
	CDBD62	2383	3315,859988	48	\$ 232,19	\$ 166,87	\$ 11.527,18
	CIHV23	19117	19037,97004	34	\$ 58,87	\$ 59,12	\$ 33.101,34
	CXSB45	2678	119457,9499	15	\$ 312,16	\$ 7,00	\$ 55.731,24
	CYBW95	396	666,9300058	4	\$ 1.243,95	\$ 738,61	\$ 123.150,63
	DTCZ-43	852	2785,249939	61	\$ 646,22	\$ 197,68	\$ 9.025,82
	<b>Total Abr</b>		<b>33698</b>	<b>190946,5399</b>	<b>232</b>		
<b>May</b>	BBPF78	6337	67872,98936	29	\$ 98,96	\$ 9,24	\$ 21.625,28
	BLBL53	53	810,7099762	2	\$ 13.262,39	\$ 867,03	\$ 351.453,23
	BXFW41	2425	16572,55	23	\$ 295,55	\$ 43,25	\$ 31.161,66
	CDBD62	708	3577,14	49	\$ 813,70	\$ 161,05	\$ 11.757,14
	CIHV23	1071	78662,44996	16	\$ 778,20	\$ 10,60	\$ 52.090,73
	CXSB45	8145	26808,45986	34	\$ 90,95	\$ 27,63	\$ 21.788,80
	CYBW95	430	905,590003	29	\$ 1.243,97	\$ 590,67	\$ 18.445,03
	DTCZ-43	983	1492,220004	53	\$ 547,55	\$ 360,70	\$ 10.155,50
	FJDB-95	18	49,76000005	4	\$ 42.121,05	\$ 15.236,72	\$ 189.544,74

## Zonas

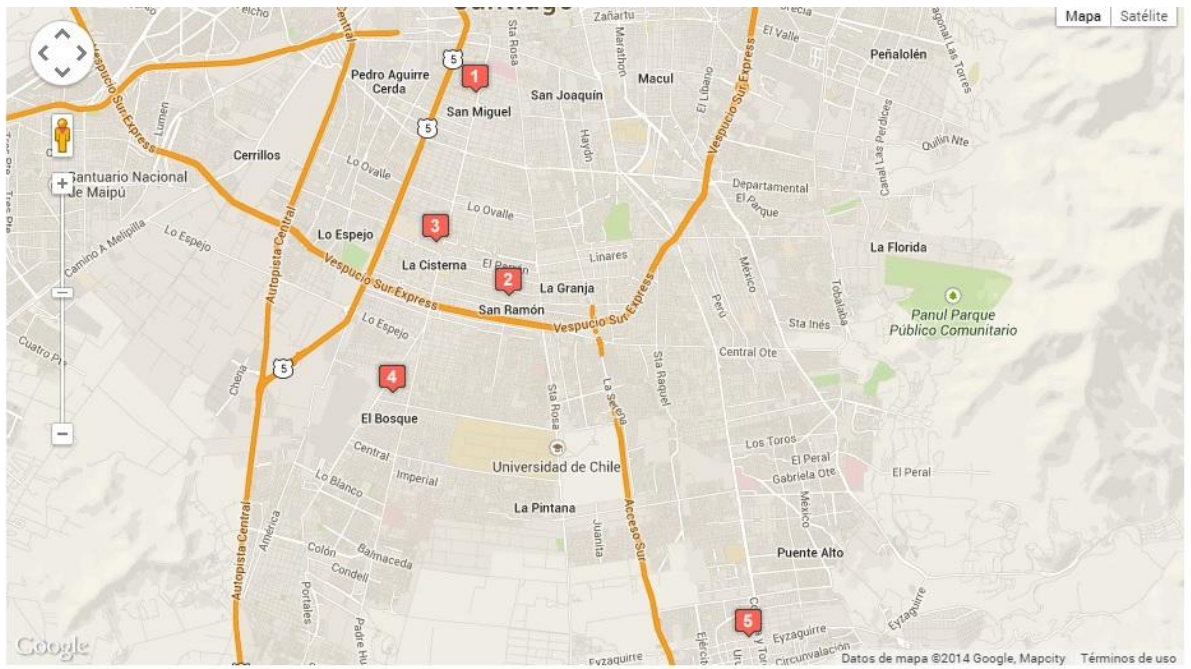
### Zona 1



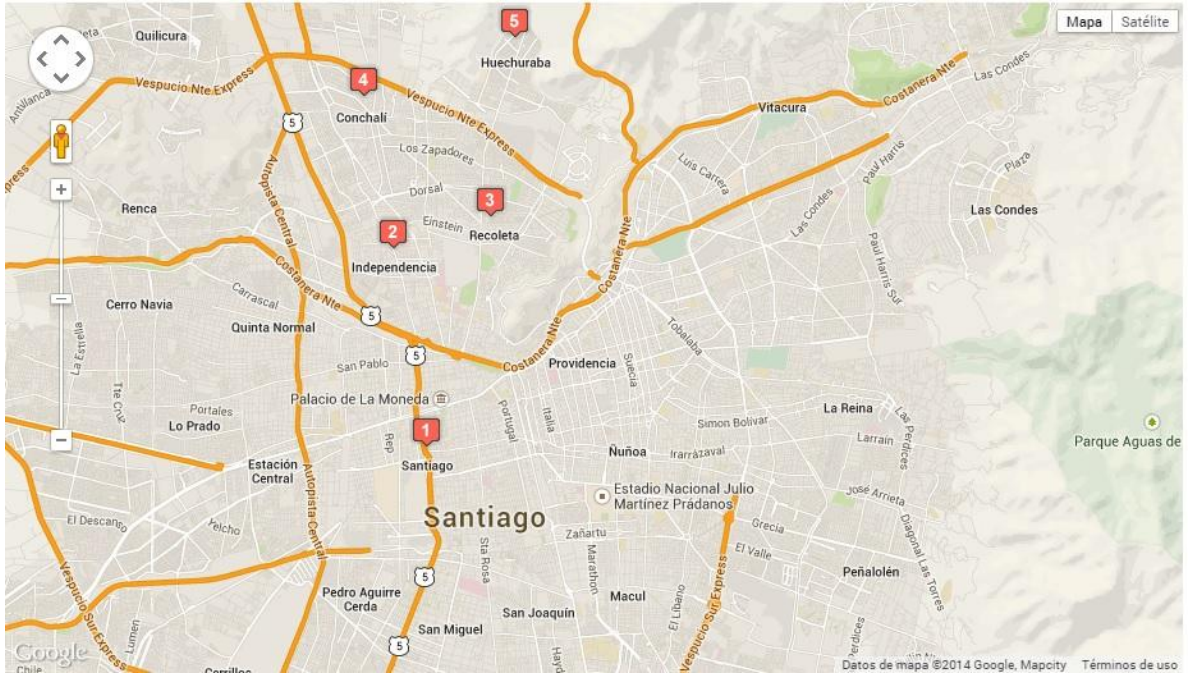
## Zona 2



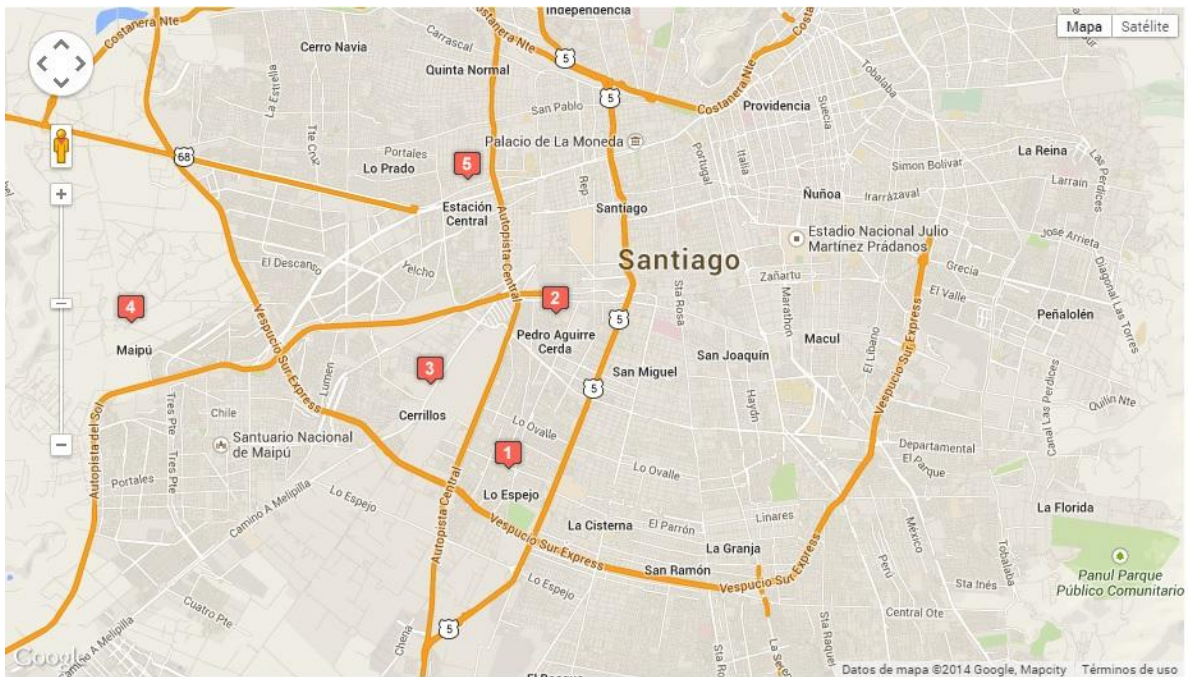
## Zona 3



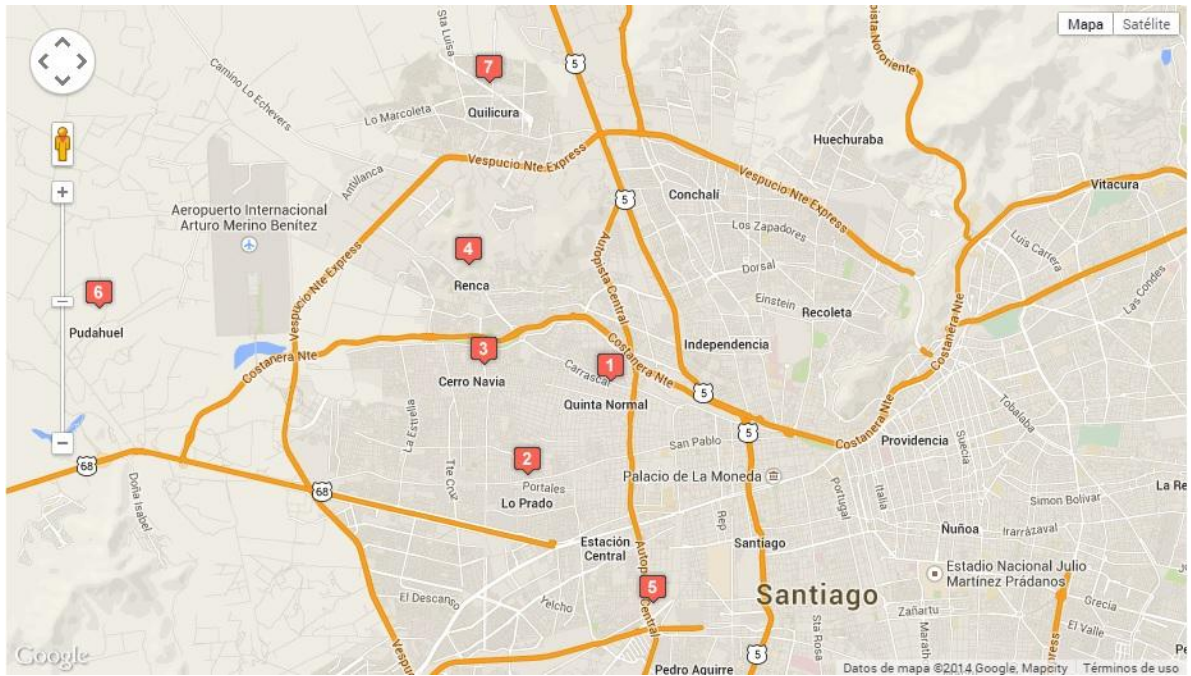
## Zona 4



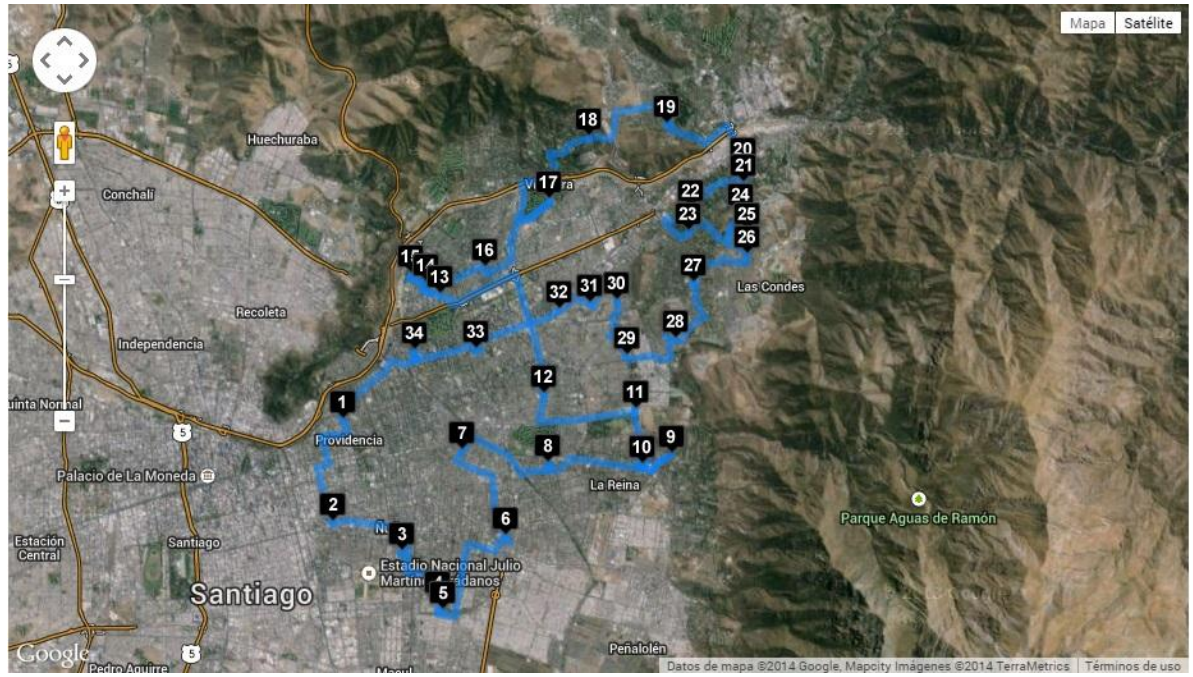
## Zona 5



## Zona 6



## Ruta



## Instalaciones de bodega



## Instalaciones de bodega



### Instalaciones de bodega



### Instalaciones de bodega



## Instalaciones de bodega



## Diagrama de proceso de distribución

