



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN

Autor: Marta Asensio Velasco

Director: Aníbal Vían Espino

Coordinador: Susana Ortiz Marcos

Madrid

Agosto de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

La autora D. Marta Asensio Velasco DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...28... de ...Agosto... de ...2019...

ACEPTA

Fdo.....

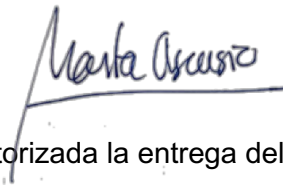
Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE UNA EMPRESA DE
DISTRIBUCIÓN

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de
otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Marta Asensio Velasco

Fecha: 28/ 08/ 2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Aníbal Vían Espino

Fecha: 28 / 08 / 2019





MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN

Autor: Marta Asensio Velasco

Director: Aníbal Vían Espino

Coordinador: Susana Ortiz Marcos

Madrid

Agosto de 2019

ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN

Autor: Asensio Velasco, Marta

Director: Vían Espino, Aníbal

Entidad Colaboradora: PricewaterhouseCoopers Asesores de Negocio S.L.

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

El sector del transporte y la logística es uno de los más importantes dentro de la economía española. Según el informe del Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE) de 2019 [OTLE19], el sector de la logística supuso un 2,8% del PIB en 2016 (últimos datos referenciados). La logística se entiende como el proceso de planificación y gestión integral de la cadena de suministro. Dentro de la cadena de suministro se engloban muchas tareas desde el aprovisionamiento de materias primas hasta la distribución en los puntos de venta accesibles para los consumidores finales. En el presente proyecto solo se va a estudiar la distribución, que es el último eslabón de la cadena de suministro.

Dentro del sector de la distribución, uno de los problemas más estudiados es el de la optimización de rutas dados los grandes ahorros que supone su resolución en términos de coste para la empresa distribuidora. Además, en la operativa de las compañías dedicadas al sector de la distribución, es la fase de entrega de los distintos productos a sus clientes, distribuidos en todo el territorio, la que constituye el camino crítico a la hora de alcanzar el óptimo servicio al usuario final. Esto es debido no solo al porcentaje del volumen de negocio que supone esta parte del proceso, sino también en cuanto a la cantidad de recursos que se precisan entre personal y flota de vehículos.

La urgencia de establecer metodologías de optimización de rutas dentro de las empresas de distribución se acentúa con los cambios de mentalidad que está sufriendo la sociedad a día de hoy, pues se ha entrado en la era de la inmediatez, con gran presencia de las TIC en el proceso de adquisición de bienes y servicios. Las tecnologías hoy ya permiten acceder a cualquier producto, desde cualquier lugar y en cualquier momento, y la búsqueda por parte del consumidor de la satisfacción inmediata, exige una adaptación urgente de los modelos tradicionales en los que ha descansado la logística de distribución.

A dicha urgencia hay que añadir los problemas que, a corto y medio plazo surgirán con la saturación de las redes de comunicaciones por la ingente cantidad de vehículos de tamaño medio que requiere la prestación del servicio, así como por la cada vez más restrictivas normas anticontaminación que se imponen en las grandes urbes.

No se pretende abordar el problema del sector de la distribución de una forma global, pues la casuística es muy diferente en función del segmento al que se aplique el estudio en tanto que cada segmento presenta particularidades propias que es preciso considerar para garantizar la eficiencia del estudio. Igualmente, dentro de cada segmento existen diferentes fases operativas que se pueden considerar como puede ser la fase de almacenamiento y clasificación o la fase de transporte y entrega.

Por ello, en el presente proyecto se va a particularizar el análisis para el caso concreto de la fase de transporte y entrega, problema que se conoce como el problema de enrutamiento de vehículos conocido por VRP (del inglés Vehicle Routing Problem) a partir de los datos reales de una empresa dedicada a la distribución de medicamentos dentro del territorio español. La particularidad de la distribución farmacéutica es que el 95% de las Oficinas de Farmacia se abastecen a partir de almacenes de distribución [FARM18]. Esto supone que el sector de la distribución farmacéutica este controlado por unas 8 empresas que aglutinan un 90% del mercado [FEDI06].

A este hecho se le añade que, en el caso de la distribución farmacéutica, los clientes pueden llegar a solicitar ser abastecidos hasta tres veces al día, pues se contempla una puesta de madrugada, una de mañana y una a mediodía. Esto implica que el problema VRP debe ser resuelto varias veces en un mismo día. La casuística del problema es todavía mayor si se analiza la variabilidad de la demanda en función del periodo del año (invierno o verano).

El objetivo del presente estudio es analizar cómo diferentes variables como son el tráfico, la presencia de una ventana de entrega flexible o no, etc. influyen en la solución propuesta a la optimización de rutas. Mediante la comparación de distintos escenarios se comprobarán los resultados y se obtendrán conclusiones concretas.

2. Metodología

El proyecto se estructura en diferentes partes que concuerdan con los objetivos preestablecidos. El objetivo principal es la resolución de un problema VRP que trata de averiguar la ruta óptima de una flota de transporte bajo una serie de restricciones conocidas con el objetivo de satisfacer la demanda de los clientes.

En primer lugar se ha realizado una revisión del estado del arte del servicio de distribución: evolución histórica, normativa actual en el caso general de la distribución y en particular para la distribución de medicamentos, las tendencias actuales de la distribución con el uso de las TIC que aumentan la presencia del e-commerce, la trazabilidad de los productos, muy importante en el caso de la distribución de medicamentos y de gran actualidad gracias al uso del Blockchain en la distribución farmacéutica, y, por último, los retos actuales a los que se enfrenta el sector de la distribución como son el uso de transportes más sostenibles y eficientes.

En segundo lugar, se ha definido el problema de forma genérica, sin tener en cuenta las particularidades asociadas al transporte de medicamentos o otros productos perecederos que imponen nuevas restricciones.

A continuación, se han analizado los problemas de optimización de rutas en todas sus variantes. Se ha analizado la formulación matemática para mejor entender la optimización que se quiere llevar a cabo y qué software puede recoger todas las restricciones necesarias en este caso.

Se han estudiado las diferentes herramientas que existen para resolver el problema, y se ha optado por la herramienta libre “VRP Spreadsheet Solver” que se apoya en Excel para la resolución. Una vez conocido su funcionamiento, se ha analizado el algoritmo que ésta emplea en la optimización de rutas y su adaptabilidad a este caso.

Para la optimización de rutas se va a utilizar un sistema de posicionamiento global (GPS) gracias a Bing Maps, que además permite conocer el tráfico en tiempo real.

En quinto lugar, se han estudiado los datos proporcionados por la empresa estudio para entender mejor el problema a abordar. Se han analizado las diferentes variables que se necesitan en la optimización. Se han establecido diferentes escenarios que han permitido el establecimiento de conclusiones y el análisis de los datos proporcionados. Una vez se ha conseguido una solución del problema se ha analizado también la sensibilidad de diferentes variables claves en el estudio.

Por último, se ha desarrollado un estudio sobre los diferentes ejes de mejora y líneas de investigación, destacando el Blockchain, los modelos de Autoabastecimiento Inteligente y el uso de vehículos eco.

3. Resultados

Como ya se ha mencionado, lo que se busca con el presente estudio es la optimización de las rutas de transporte de una empresa modelo con el resultado de establecer un método de estudio de nuevas soluciones si el escenario (el número de clientes, su situación geográfica, etc.) cambia, de forma que siempre se trabaje de forma óptima con los recursos disponibles.

El análisis se centra en dos centros de distribución de naturaleza distinta. El primer centro se puede considerar de carácter urbano pues el 86% de los clientes asociados a él son dichos urbanos, de acuerdo al criterio empleado por el INE. En el caso del DC2, se puede considerar que es de carácter semiurbano o rural, pues la suma de ambos tipos engloba al 60% de las Oficinas de Farmacia que se abastecen a partir del almacén.

Una vez estudiadas las variables que requiere el software para su utilización, se han establecido unos valores de entradas a partir de unas hipótesis concretas. Por ejemplo, entre dichas variables se encuentra la capacidad del furgón y la ventana de tiempo de servicio.

La ventana de tiempo elegida para la resolución de un caso base es la de madrugada, pues se ha observado, gracias a los datos proporcionados por la empresa distribuidora, que es la más importante en términos de volumen de negocio. Para la demanda diaria, se ha hecho también una aproximación. Se considera que en el caso de la resolución del caso base, todos los clientes son atendidos y la cantidad de bienes a distribuir es la demanda total del mes dividida entre el número de días laborables.

Se ha analizado el caso dicho “Absurdo”, en el que la ventana de tiempo es todo el día. Esto ha servido para comprobar que la capacidad de los vehículos que se ha tomado como hipótesis no resulta en ningún caso limitante en la optimización. Es la ventana de tiempo la restricción limitante.

En el caso denominado “Estándar” (Escenario B) se han considerado los siguientes valores de entrada:

Variable Entrada	Valor
Número de OOFF	200 (tamaño de la muestra)
Ventana de Tiempo	6:00 a las 10:00
Tiempo de servicio	Aleatorio entre 3 y 10 minutos
Tráfico	Sí
Capacidad máxima Vehículo	186 cubetas

Tabla 1 - Variables entrada para Escenario B (DC1 y DC2)

Los resultados que se obtienen son los siguientes:

Variable Salida	Valor DC1	Valor DC2
Número de rutas	14 rutas	15 rutas
Número de conductores	14 conductores	15 conductores
Kilómetros recorridos	1141,62 km	1455,91 km
Coste Total	1484,10 €	1601,50 €
Ratio OOFF/ruta	14,29 OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	81,54 km/ruta	97,07 km/ruta
Coste medio por km	1,30 €/km	1,10 €/km
Coste medio por ruta	106,00 €/ruta	106,76 €/ruta

Tabla 2 - Variables salida para Escenario B (DC1 y DC2)

En la Figura 1 y en la Figura 2 se observa de forma esquematizada las rutas para cada centro de distribución.

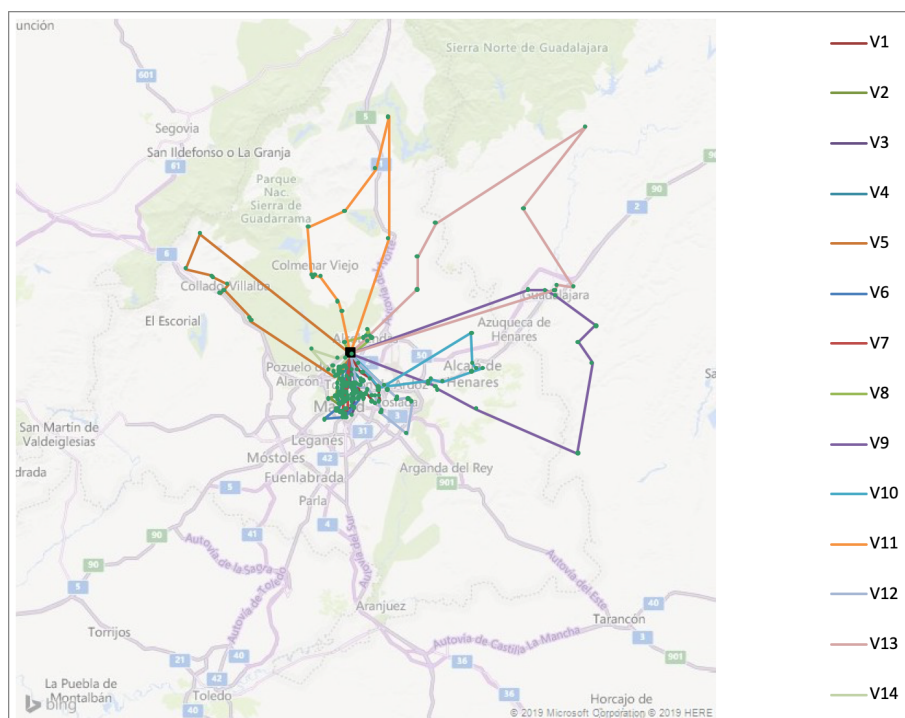


Figura 1 – Rutas óptimas Escenario B (DC1)

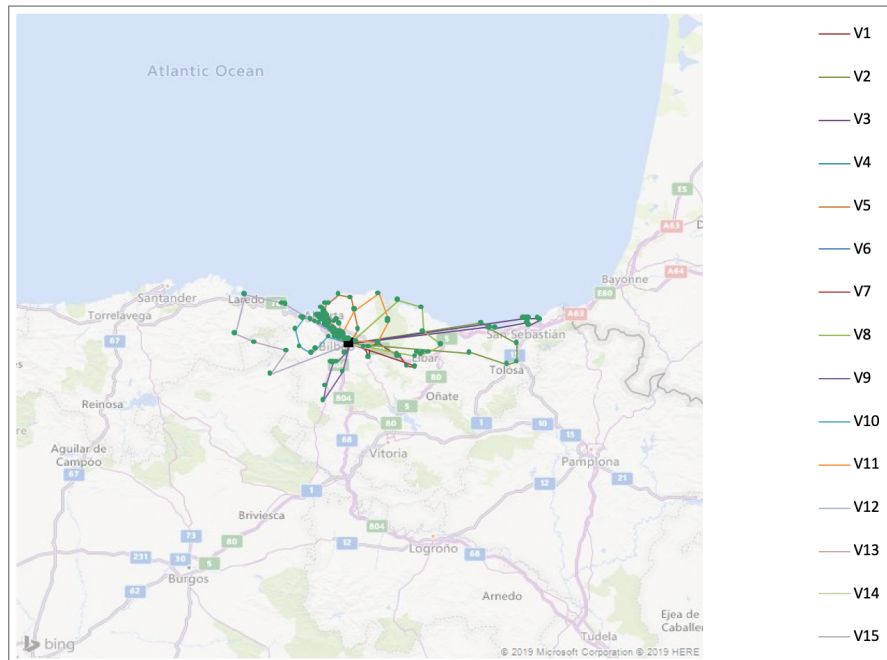


Figura 2 – Rutas óptimas Escenario B (DC2)

Por último, en el caso dicho “Premium” (Escenario C), se va a ofrecer un servicio preferente a los clientes con más facturación. De manera que las variables de entrada para dicho escenario son:

Variable Entrada	Valor
Número de OOFF	200 (tamaño de la muestra)
Ventana de Tiempo General	6:00 a las 10:00
Ventana de Tiempo Premium	8:00 a las 9:00
Tiempo de servicio	Aleatorio entre 3 y 10 minutos
Tráfico	Sí
Capacidad máxima Vehículo	186 cubetas

Tabla 3 - Variables entrada para Escenario C (DC1 y DC2)

Y los resultados que se obtienen son:

Variable Salida	Valor DC1	Valor DC2
Número de rutas	16 rutas	15 rutas
Número de conductores	16 conductores	15 conductores
Kilómetros recorridos	1283,91 km	1470,46 km
Coste Total	1669,08 €	1617,51 €
Ratio OOFF/ruta	12,5 OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	80,24 km/ruta	98,03 km/ruta
Coste medio por km	1,29 €/km	1,1 €/km
Coste medio por ruta	104,31 €/ruta	107,83 €/ruta

Tabla 4 - Variables salida para Escenario C (DC1 y DC2)

En cuanto al análisis de sensibilidad, se ha analizado la sensibilidad de proponer una ventana de tiempo con una hora más, es decir, que se pueda servir a los clientes desde las 6:00 y hasta las 11:00, lo que implica aumentar la ventana de tiempo un 25%. En segundo lugar se ha estudiado la presencia de una ventana de tiempo violable, es decir, que si los vehículos llegan a los clientes fuera de la ventana de tiempo, la función objetivo de la optimización no penaliza dicho incumplimiento de las restricciones. Y por último se ha estudiado cual es el número de clientes que se consiguen abastecer en una ventana dicha preferente o “Premium” (de 8:00 a 9:00) cuando no se quiere prestar ese servicio.

Las conclusiones de estos tres análisis de sensibilidades, así como de los escenarios antes mencionados se exponen a continuación.

4. Conclusiones

En primer lugar, se observa para todos los escenarios estudiados que la capacidad de los vehículos está sobredimensionada. Para determinar cuál es la necesidad real de capacidad del vehículo cabría estudiar cuál ha sido el crecimiento de la empresa en volumen durante los últimos años y cuál es la expectativa de crecimiento en el corto o medio plazo. A su vez, se debería determinar cuál es el periodo de máxima demanda y modelizar la capacidad para dicho pico.

En segundo lugar, se observa que el ratio de OOFF por ruta es inferior en el caso del DC2 que en el caso del DC1 (13,33 OOFF/ruta frente a 14,29 OOFF/ruta). Esto era de esperar, pues en las zonas con carácter más rural es necesario recorrer más distancia para abastecer la demanda, de ahí que sea más bajo el ratio.

Con respecto al servicio “Premium” se puede establecer que la solución se aleja del óptimo. La solución propuesta por el software estima tiempos muertos en casi todas las rutas. Un resultado no esperado es el hecho de que dar este servicio en áreas semiurbanas es más fácil que en áreas urbanas. Esto va ligado al coste, pues en el DC1 cuesta un 12,5% más dar este servicio mientras que en el caso del DC2 solo cuesta un 1% más.

En cuanto a los análisis de sensibilidad se obtiene que la sensibilidad de los límites de la ventana de tiempo puede aportar grandes ventajas si se analiza en casos concretos. En muchas ocasiones, aumentar la ventana de tiempo para poder atender a más clientes puede conllevar un importante ahorro en términos de coste de operación.

Es interesante observar el número de clientes que se atienden en una franja de tiempo dicha preferente en diferentes escenarios. En el caso de que la ventana de tiempo sea “libre” para todos los puntos de entrega se observa que en la franja de tiempo preferente (de 8am a 9am) se atienden menos OOFF que si se “forzase” la ventana de tiempo de algunos clientes dichos Premium. Esto se podría explicar por el hecho de que los clientes dichos Premium son aquellos que facturan más en cuanto al valor de los productos entregados, estos clientes se sitúan generalmente en los centros de las ciudades, en los que, dada la mayor concentración de la población, hay más farmacias alrededor, de ahí que se abastezcan más clientes en el horario preferente.

Por último, con respecto a las rutas, cabe mencionar que si se tuviesen todos los datos de la geografía española se podría replantear a qué centro de distribución debe estar asociada cada OOFF. Para ello, dado el volumen de información, es necesario optar por un optimizador más potente en términos de cálculo computacional, y el problema consistiría en resolver un MDVRP, es decir, un VRP con múltiples almacenes.

En cuanto a los ejes de mejora, a parte de la aplicación del Blockchain a la trazabilidad de los productos y del Big Data a los modelos de predicción, otro eje necesario para la subsistencia en este mercado tan cambiante es potenciar el e-commerce. Así el gran competidor en el sector de la distribución global, Amazon ha adquirido recientemente una empresa farmacéutica que ya comercializaba productos por internet para operar en Estados Unidos; su línea de desarrollo es clara en este momento. A pesar de que en España no se espera que esta tendencia tenga una aplicación inmediata y radical en el mercado farmacéutico español -pues la comercialización de medicamentos está regulada y además para los que es necesario receta no puede realizarse online- es más que aconsejable, atendiendo a las derivas del mercado actual, que las empresas farmacéuticas comiencen a plantearse este posible cambio en sus esquemas de distribución.

5. Referencias

- [OTLE19] Observatorio del Transporte y la Logística en España. Ministerio de Fomento (2019). *Informe Anual 2018*. Retrieved from: http://observatoriotransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/6E4A3024-B5BA-4AAD-BE1A-AF04D6A62A6E/151258/INFORME_OTLE_2018.pdf
- [FARM18] Correo Farmaceutico (2018). *España registra un incremento de almacenes de distribución*. Retrieved from: <https://www.correofarmaceutico.com/profesion/distribucion/espana-registra-un-incremento-de-almacenes-de-distribucion.html>
- [FEDI06] Fedifar. Federación de distribuidores farmacéuticos (2013). *Análisis sectorial de la distribución farmacéutica en España*. Retrieved from: <http://fedifar.net/wp-content/uploads/2016/01/analisis-sectorial-de-la-distribucion-farmaceutica-en-espana.pdf>

STUDY AND OPTIMIZATION OF THE TRANSPORTATION NETWORK OF A DISTRIBUTION COMPANY

Author: Asensio Velasco, Marta

Director: Vían Espino, Aníbal

Colaborative Entity: PricewaterhouseCoopers Asesores de Negocio S.L.

ABSTRACT

1. Introduction

The transport and logistics sector is one of the most important in the Spanish economy. According to the report of the Observatory of Transport and Logistics in Spain (OTLE) of 2019 [OTLE19] the logistics sector accounted for 2.8% of GDP in 2016 (latest referenced data). Logistics is understood as the process of integral planning and management of the supply chain. Many tasks are included within the supply chain, from the procurement of raw materials to distribution at the points of sale that are accessible to final customer. In this project, only the distribution, which is the last link in the supply chain, will be studied.

Within the distribution sector, one of the most studied issues is route optimization since considerable savings can be achieved by the distribution company through its resolution. In addition, in the operation of the companies dedicated to the distribution sector, the phase of delivery of the different products to their customers distributed throughout the territory constitutes the critical path when it comes to achieving the optimal service to the end user. This is due not only to the percentage of the volume of business involved in this part of the process, but also to the amount of resources required including staff and fleet of vehicles.

The urgency of establishing route optimization methodologies within the distribution companies has increased due to the changes in mentality that society is suffering today, as we have entered the era of immediacy with great presence of ICT in the process of acquisition of goods and services. The technologies now allow access to any product, from any place, and at any time, and the search by the consumer of immediate satisfaction requires an urgent adaptation of the traditional models of the distribution logistics.

This urgency is aggravated by the problems that in the short and medium term will arise with the saturation of the communication networks due to the huge number of medium-sized vehicles that the service requires, as well as by the increasingly restrictive anti-pollution regulations imposed in the big cities.

It is not intended to address the problem of the sector of the distribution in a global approach, since the variability is very different depending on the segment to which the study is applied, because each segment has its own particularities that must be considered to guarantee the efficiency of the study. Likewise, within each segment there are different operational phases that can be considered, for example the storage and sorting phase and the transport and delivery phase.

This is why, in this project the analysis will be focused in a company that deploys the transport and delivery phase, this problem is known as the Vehicle Routing Problem (VRP), on the basis of the real data of a company dedicated to the distribution of

medicines within the Spanish territory. The peculiarity of pharmaceutical distribution is that 95% of the Pharmacies are supplied from distribution warehouses [FARM18]. This means that the pharmaceutical distribution sector is controlled by about 8 companies that agglutinate 90% of the market [FEDI06].

Added to this is the fact that, in the case of pharmaceutical distribution, customers can request to be supplied up to three times a day, as it contemplates deliveries at early hours, during the morning and at noon. This implies that the VRP issue must be solved several times in the same day. The casuistry of the problem is even greater if the variability of the demand is analyzed according to the period of the year (winter or summer).

The objective of the present study is to analyze how different variables such as traffic, the presence of a flexible delivery window or not, etc. influence the proposed solution to route optimization. By comparing different scenarios, the results will be checked and concrete findings will be obtained.

2. Methodology

This project is structured in different parts that match the pre-established objectives. The main objective is the resolution of a VRP problem that tries to find out the optimal route of a transport fleet under a series of known restrictions in order to meet customer demand.

First of all, a review of the state of the art of the distribution service has been carried out: historical evolution, current regulations in the general case of distribution, and in particular for the distribution of medicines, current trends in distribution with the use of ICTs that increase the presence of e-commerce, traceability of the products, essential in the case of the distribution of medicines and highly topical thanks to the use of Block Chain in the pharmaceutical distribution, and finally, the current challenges the distribution sector is facing, such as the use of more sustainable and efficient transport methods.

Secondly, the problem has been defined in a generic way, without taking into account the particularities associated with carrying medicines or other perishable products that impose new restrictions.

Then, the problems of route optimization in all their forms have been analysed. The mathematical formulation has been analysed to better understand the optimization that is sought to be carried out and which software englobes all the restrictions needed in this case.

The different tools that exist to solve the problem have been studied, and the free tool “VRP Spreadsheet Solver”, that relies on Excel, has been chosen for the resolution. Once its operation is known, the algorithm that it uses in route optimization has been analyzed.

For the route optimization, a global positioning system (GPS) will be used thanks to Bing Maps, which also allows to know the traffic in real time.

Fifthly, the data provided by the studied company has been examined to better understand the problem to be addressed. The different variables that are required in the optimization have been analyzed. Different scenarios have been established, which have allowed the establishment of conclusions and the analysis of the data provided. Once a solution to the problem has been achieved, the sensitivity of different key variables in the study has also been considered.

Finally, a study on the different areas of improvement and lines of research has been developed, highlighting Block Chain, Intelligent Self-supply models and the use of eco vehicles.

3. Results

As already mentioned, what is sought with the present study is the optimization of the transport routes of a model company that allows, from the outcomes, to establish a method of studying new solutions if the scenario (the number of customers, their geographical location, etc.) changes, so that the tasks are always performed optimally with the available resources.

The analysis focuses on two distribution centres of a different nature. The first centre can be considered urban because 86% of the clients associated with it are urban according to the criteria used by the INE. In the case of DC2, it can be considered to be semi-urban or rural, since the sum of both types encompasses 60% of the Pharmacies that are supplied from the warehouse.

Once the variables required by the operation of the software have been studied, some input values have been established based on specific hypotheses. For example, the van capacity and the service time window are included.

The time slot chosen for the resolution of a base case is that of dawn, as it has been observed, thanks to the data provided by the distribution company, that it is the most important in terms of turnover. An approximation has also been made for the daily demand. It is considered that in the case of the resolution of the base case, all customers are served, and the quantity of goods to be distributed is the total demand of the month divided by the number of working days.

The case named "Absurd" in which the time window is the whole day has been analyzed. This has served to verify that the capacity of the vehicles that has been taken as a hypothesis is not a constraining factor in the optimization in any case. The limiting constraint is the time window.

In the case "Standard" (Scenario B) the following input values have been considered:

Input Variables	Values
Number of OOFF	200 (sample size)
Time Window	From 6:00 until 10:00
Service Time	Random between 3 and 10 minutes
Traffic	Yes
Maximal vehicle capacity	186 trays

Table 1 – Input variables for Scenario B (DC1 and DC2)

The results obtained are the following:

Output Variables	Values DC1	Values DC2
Number of paths	14 routes	15 routes
Number of drivers	14 drivers	15 drivers
Travelled distance	1141,62 km	1455,91 km
Total Cost	1484,10 €	1601,50 €
Ratio OOFF/path	14,29 OOFF/path	13,33 OOFF/path
Ratio Km/path	81,54 km/path	97,07 km/path
Average Cost per km	1,30 €/km	1,10 €/km
Average Cost per path	106,00 €/path	106,76 €/path

Table 2 – Output Variables for Scenario B (DC1 and DC2)

The routes for each distribution centre are schematically shown in Figure 1 and Figure 2.

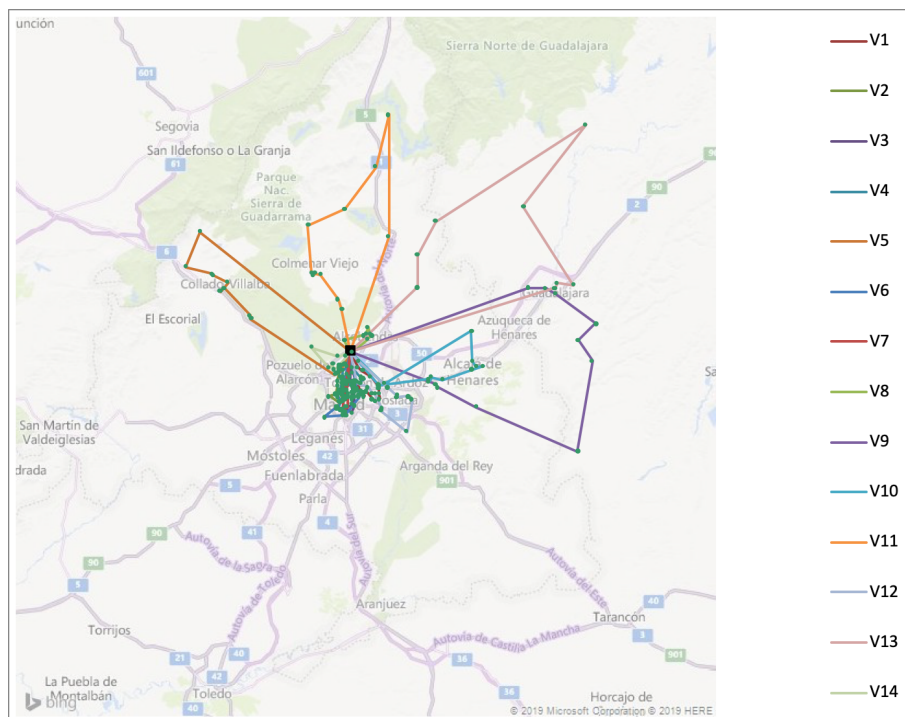


Figure 1 – Optimal routes Scenario B (DC1)

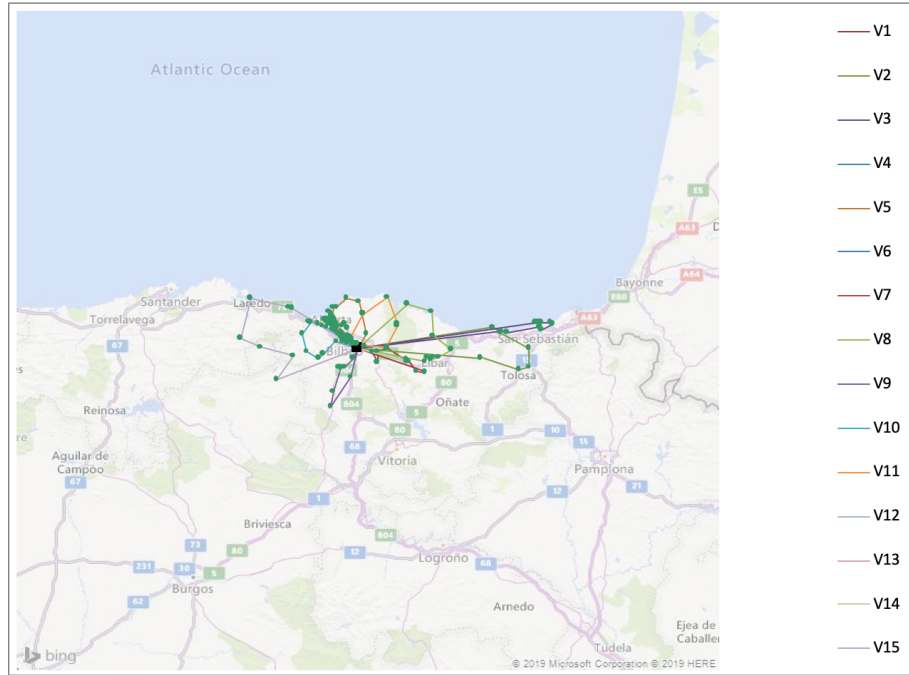


Figure 2 – Optimal Routes Scenario B (DC2)

Finally, in the case “Premium” (Scenario C), a preferential service will be offered to customers with highest turnover. So the input variables for this scenario are:

Input Variables	Values
Number of OOFF	200 (simple size)
General Time Window	From 6:00 until 10:00
Premium Time Window	From 8:00 until 9:00
Service Time	Random between 3 and 10 minutes
Traffic	Yes
Maximal vehicle capacity	186 trays

Table 3 – Input Variables for Scenario C (DC1 and DC2)

And the results obtained are:

Output Variables	Values DC1	Values DC2
Number of paths	16 paths	15 paths
Number of drivers	16 drivers	15 drivers
Travelled distance	1283,91 km	1470,46 km
Total Cost	1669,08 €	1617,51 €
Ratio OOFF/path	12,5 OOFF/path	13,33 OOFF/path
Ratio Km/path	80,24 km/path	98,03 km/path
Average Cost per km	1,29 €/km	1,1 €/km
Average Cost per path	104,31 €/path	107,83 €/path

Table 4 – Output Variables for Scenario C (DC1 and DC2)

Regarding the sensitivity analysis, the sensitivity of proposing a time window with one more hour has been analyzed, that is, customers can be served from 6:00 to 11:00, which

implies increasing 25% the time window. Secondly, the presence of a violated time window has been studied, that is to say, if vehicles reach customers outside the time window, the objective function of optimization does not penalize such breach of restrictions. And finally, the number of customers who are supplied in a priority or "Premium" slot (from 8:00 to 9:00) when the provision of this service is not envisaged has been studied.

The conclusions of these three sensitivity analysis, as well as the aforementioned scenarios are set out below.

4. Conclusions

First, it is observed for all the scenarios studied that the capacity of the vehicles is oversized. To determine what the real requirement for vehicle capacity is, it would be necessary to study what the company's growth in volume has been during the last years and what is the expectation of growth in the short or medium term. In turn, the period of maximum demand should be determined and the capacity for this peak modelled.

Secondly, it is observed that the pharmacies ratio per route is lower in the case of DC2 than in the case of DC1 (13.33 pharmacies/route versus 14.29 pharmacies/route). This was to be expected, since it is necessary to travel more distance to supply the demand in more rural areas, hence the ratio is lower.

With regards to the "Premium" service, it can be established that the solution is far from optimal. The solution proposed by the software estimates downtime on almost all routes. An unexpected result is the fact that providing this service in semi-urban areas is easier than in urban areas. This is linked to the cost, since in DC1 it costs 12.5% more to provide this service while in the case of DC2 it only costs 1% more.

When it comes to sensitivity analysis, it is obtained that the sensitivity of the time window limits can provide great advantages if analyzed in specific cases. In many occasions, increasing the time slot to serve more customers can lead to significant savings in terms of operating costs.

It is interesting to note the number of clients that are served in a preferred time slot in different scenarios. In the event that the time window is "free" for all delivery points, it is observed that in the preferred time slot (from 8am to 9am), less pharmacies are served than if the time window for some Premium customers is "forced". This could be explained by the fact that Premium customers correspond to those with a higher turnover in terms of the value of the products delivered, these customers are generally located in the city centres, where, given the highest concentration of the population, there are more pharmacies around, and hence more customers are supplied during the preferential time.

Finally, with respect to the routes, it is worth mentioning that if all the data of the Spanish geography were available, it could be reconsidered to which distribution centre each pharmacy should be associated. For this, given the volume of information, it is necessary to opt for a more powerful optimizer in terms of computational calculation and the problem would be to solve an MDVRP, that is, a VRP with multiple stores.

As for the areas of improvement, apart from the application of Block Chain to the traceability of products and Big Data to prediction models, another key factor necessary for subsistence in this changing market is to promote e-commerce. Hence, the big competitor in the distribution sector, Amazon has recently acquired a pharmaceutical

company that was already selling products online to operate in the United States; which clearly defines its development strategy. Although in Spain this trend is not expected to be applied immediately and radically in the pharmaceutical market - since the commercialization of medicines is regulated and moreover pharmaceutical products for which a prescription is required cannot be performed online - it is more than advisable, taking into account the current market drifts, that pharmaceutical companies begin to consider this possible change in their distribution schemes.

5. References

- [OTLE19] Observatorio del Transporte y la Logística en España. Ministerio de Fomento (2019). *Informe Anual 2018*. Retrieved from:
http://observatoriotransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/6E4A3024-B5BA-4AAD-BE1A-AF04D6A62A6E/151258/INFORME_OTLE_2018.pdf
- [FARM18] Correo Farmaceutico (2018). *España registra un incremento de almacenes de distribución*. Retrieved from:
<https://www.correofarmaceutico.com/profesion/distribucion/espana-registra-un-incremento-de-almacenes-de-distribucion.html>
- [FEDI06] Fedifar. Federación de distribuidores farmacéuticos (2013). *Análisis sectorial de la distribución farmacéutica en España*. Retrieved from:
<http://fedifar.net/wp-content/uploads/2016/01/analisis-sectorial-de-la-distribucion-farmaceutica-en-espana.pdf>

Índice de contenido

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	4
1.2	OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
1.3	METODOLOGÍA	6
1.4	ESTRUCTURA DEL PROYECTO	6
2	ESTADO DEL ARTE.....	11
2.1	EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN	12
2.2	LA DISTRIBUCIÓN EN LA ACTUALIDAD.....	13
2.3	MARCO NORMATIVO ACTUAL DEL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN	16
2.4	LOS RETOS DEL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN Y DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA.....	16
3	PARTICULARIZACIÓN PARA EL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA.....	21
3.1	LA DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA EVOLUCIÓN Y MARCO ACTUAL.....	21
3.2	LEGISLACIÓN ESPECÍFICA SOBRE LA DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA Y AFINES.....	22
3.3	RETOS DEL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA – ATRIBUTOS, CONCENTRACIÓN, IMPORTANCIA, MADUREZ	23
4	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	27
4.1	INTRODUCCIÓN	27
4.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA – GENÉRICO.....	27
4.3	EL PROCESO DE ENTREGA (EN FUNCIÓN DE)	28
4.4	MEDIOS DE DISTRIBUCIÓN (EN FUNCIÓN DE).....	30
4.5	ENVÍOS – OFERTA DE SERVICIOS	31
4.6	PUNTOS DE ENTREGA.....	32
4.7	ÁREAS DE REPARTO	33
4.8	ASIGNACIÓN DE VALORES	34
4.9	CONCLUSIONES: PARTICULARIZACIÓN PARA UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA.....	35
5	LOS PROBLEMAS DE RUTAS (VRP).....	39
5.1	INTRODUCCIÓN	39
5.2	PROBLEMA TSP.....	39
5.3	PROBLEMA BPP	41
5.4	PROBLEMA VRP	41
5.4.1	<i>Variantes del problema VRP.....</i>	<i>42</i>
5.4.2	<i>Formulación matemática</i>	<i>44</i>
6	HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN – ALGORITMO DE RESOLUCIÓN.....	49
6.1	INTRODUCCIÓN	49
6.2	HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN: SELECCIÓN DEL SOFTWARE	49
6.3	EL PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO DE RESOLUCIÓN	50
6.4	EL MANEJO DE LA INVIABILIDAD.....	52
7	MODELIZACIÓN CON EXCEL DEL PROBLEMA BÁSICO CON DATOS REALES	55
7.1	ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS DISPONIBLES	56
7.2	MAPPING DE LA SITUACIÓN DE LOS PUNTOS DE ENTREGA	61
7.3	VARIABLES DEL MODELO: PARÁMETROS DE ENTRADA	63
7.4	ESTABLECIMIENTO DE ESCENARIOS	65
7.4.1	<i>Escenarios.....</i>	<i>66</i>
7.4.2	<i>Análisis de sensibilidad</i>	<i>79</i>
8	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	85
8.1	EJES DE EVOLUCIÓN Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.....	87

9	BIBLIOGRAFÍA	91
10	ANEXOS	97
	ANEXO A – MODELO MATEMÁTICO VRP COMPLETO	97
	ANEXO B – RESULTADOS ESCENARIO A (CASO ABSURDO)	100
10.1.1	DC1	100
10.1.2	DC2	105
	ANEXO C – RESULTADOS ESCENARIO B (CASO ESTÁNDAR)	111
10.1.3	DC1	111
10.1.4	DC2	117
	ANEXO D – RESULTADOS ESCENARIO C (CLIENTES PREMIUM)	124
10.1.5	DC1	124
10.1.6	DC2	130

Índice de tablas

Tabla 1 - Variables presentes en el problema estudiado	36
Tabla 2 - Información proporcionada para el estudio	57
Tabla 3 - ID y Nombre de los diferentes tipos de puesta	59
Tabla 4 - Resultados análisis tipos de puesta para DC1	59
Tabla 5 - Resultados análisis tipos de puesta para DC2	59
Tabla 6 - Tipos de Puesta por Cliente	60
Tabla 7 - Análisis N° OOFF por ruta.....	63
Tabla 8 - Rutas N1 actuales para DC1 / DC2.....	65
Tabla 9 - Parámetros de base para el DC1	66
Tabla 10 - Parámetros de base para el DC2	66
Tabla 11 - Variables entrada para Escenario A (DC1 y DC2)	66
Tabla 12 - Variables de salida para Escenario A (DC1)	67
Tabla 13 - Número de OOFF por ruta.....	68
Tabla 14 - Variables de salida para Escenario A (DC2)	70
Tabla 15 - Variables entrada para Escenario B (DC1 y DC2)	71
Tabla 16 - Variables de salida para Escenario B (DC1).....	72
Tabla 17 - Variables de salida para Escenario B (DC2).....	73
Tabla 18 - Valores de entrada para el Escenario C (DC1 y DC2).....	75
Tabla 19 - Variables de salida para Escenario C (DC1).....	75
Tabla 20 - Comparación Esc B y Esc C para DC1	76
Tabla 21 - Variables salida para Escenario C (DC2)	77
Tabla 22 - Comparación Esc B y Esc C para DC2.....	78
Tabla 23 - Análisis de sensibilidad X para DC1	80
Tabla 24 - Análisis de sensibilidad X para DC2	80
Tabla 25 - Análisis de sensibilidad Y.....	81
Tabla 26 - Recuento clientes en horario preferente.....	82

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema de la logística integral	3
Figura 2 – Distribución en términos del PIB de los subsectores logísticos [OTLE18].....	11
Figura 3 – Distribución del mercado de distribución farmacéutica en España	22
Figura 4 - Pseudocódigo algoritmo LNS implementado en el software [ERDO17].....	51
Figura 5 - Tipología de cliente en cada centro de distribución	58
Figura 6 - Tipo de cliente en función del valor de la mercancía entregada	58
Figura 7 - Tipo de Puesta en función del valor mercancía y del núm de uds entregadas (DC1)	61
Figura 8 - Tipo de Puesta en función del valor mercancía y del núm de uds entregadas (DC2)	61
Figura 9 - Localización OOFF para el DC1	62
Figura 10 - Localización OOFF para el DC2	62
Figura 11 - Coste medio por km para el transporte de mercancía por carretera [OTLE19]	64
Figura 12 - Localización de las OOFF con puesta N1 para el DC1	67
Figura 13 - Rutas óptimas Escenario A (DC1).....	68
Figura 14 - Evolución carga vehículos para Escenario A (DC1).....	69
Figura 15 - Localización de las OOFF con puesta N1 para el DC2.....	69
Figura 16 - Rutas óptimas Escenario A (DC2).....	70
Figura 17 - Evolución carga vehículos para Escenario A (DC2).....	71
Figura 18 - Rutas óptimas Escenario B (DC1).....	72
Figura 19 - Evolución de la carga de vehículos para Escenario B (DC1).....	73
Figura 20 - Rutas óptimas Escenario B (DC2).....	74
Figura 21 - Evolución de la carga de los vehículos para Escenario B (DC2)	74
Figura 22 - Rutas óptimas para Escenario C (DC1).....	77
Figura 23 - Rutas óptima para Escenario C (DC2)	79

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN



1 Introducción

A lo largo de las últimas décadas, la optimización de las rutas de transporte ha sido uno de los problemas más estudiados dentro de la cadena de suministro en las empresas del sector de la distribución.

La distribución es el último eslabón de la cadena de suministro. La cadena de suministro comprende diversas operaciones, desde el aprovisionamiento de materias primas y la gestión de la producción hasta la obtención del producto terminado, su distribución a los almacenes y centros de distribución y su depósito en los puntos de venta accesible al consumidor final. Las empresas que conforman la cadena de suministro son numerosas y todas ellas deben sincronizarse para conseguir poner el producto a disposición del cliente cuando lo desea o en el menor tiempo posible, evitando rupturas de stock y sobrecostos.

La logística se entiende hoy en día como el proceso de planificación y gestión integral de la cadena de suministro.

En la Figura 1 se muestran de forma esquematizada las distintas partes de la logística.

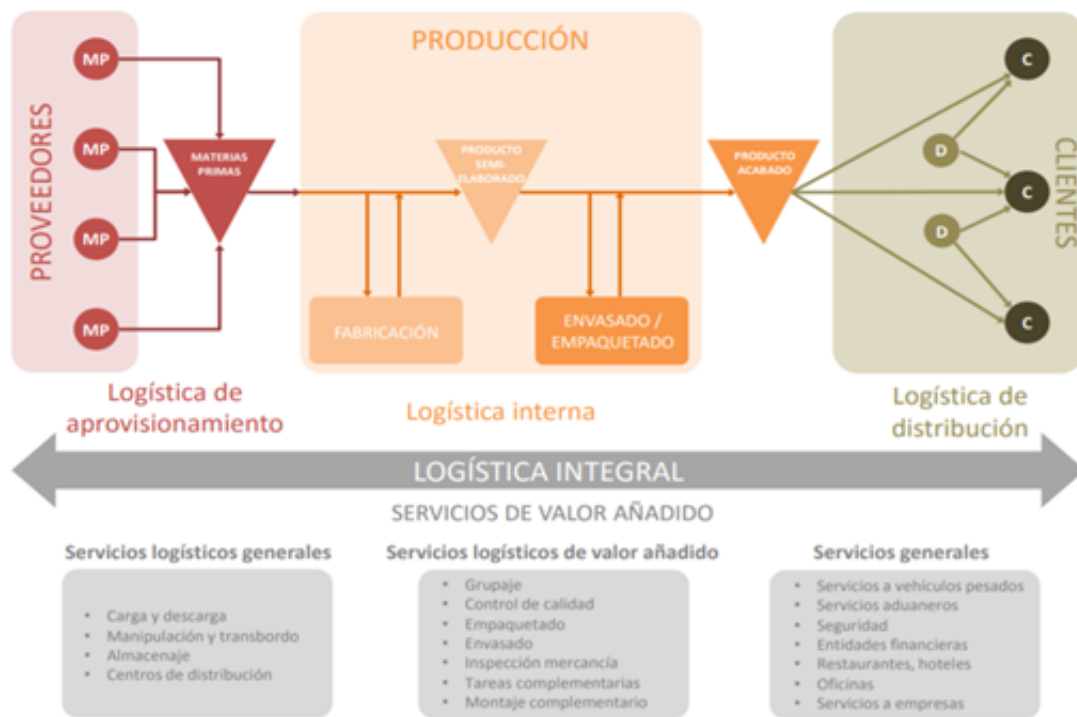


Figura 1 - Esquema de la logística integral

La logística de distribución, o simplifcamente distribución, tiene como función hacer llegar los productos desde el centro de distribución a los consumidores. Entre las diferentes funciones que se desempeñan en dicho eslabón se encuentran: el procesamiento de pedidos, la gestión del almacén, el embalaje de los productos y el transporte del producto. En el presente trabajo se va a abordar únicamente la función de transporte de los productos desde los centros de distribución a los puntos de venta.

En la operativa de las compañías dedicadas al sector de la distribución, es la fase de entrega de los distintos productos a sus clientes repartidos en todo el territorio la que constituye el camino crítico a la hora de alcanzar el óptimo servicio al usuario final; no solo en cuanto al porcentaje del volumen de negocio que supone esta parte del proceso, sino también en cuanto a la cantidad de recursos que se precisan entre personal y flota de vehículos.

Algunas dificultades añadidas a la hora de optimizar las rutas de distribución son la naturaleza del producto en cuanto a sus necesidades especiales de conservación (perecederos), sus condiciones especiales de transporte o de carga y descarga o la heterogeneidad de la demanda tanto geográfica como estacional; valga como ejemplo característico del territorio español que, durante los periodos estivales, la demanda en zonas costeras aumenta de manera considerable, de forma que las empresas de distribución tienen que fortalecer su presencia en dichas regiones, y prever los recursos necesarios para atender las necesidades que surjan.

En la búsqueda de la optimización de las rutas de distribución, en el presente trabajo se van a analizar las variables que influyen en la red de transporte de una empresa de distribución de un ámbito territorial que se definirá como nacional; en este caso España. La razón no es otra que la necesaria aplicación de una única normativa en todas las fases del estudio.

El objetivo es diseñar las rutas de transporte de una forma óptima con la finalidad de prestar el mejor servicio con unos recursos adecuados que se adapten en cada momento a la demanda. Otros factores que también juegan un papel fundamental son, por ejemplo, el tráfico, las franjas horarias de entrega y la situación geográfica de los puntos a abastecer y del centro de distribución. Todas estas variables serán analizadas en el presente estudio.

1.1 Motivación del Proyecto

La sociedad ha entrado en la era de la inmediatez y está siendo testigo de un cambio radical en el proceso de adquisición de bienes y servicios donde todo el poder se ha trasladado desde el vendedor al comprador. Este cambio radical se ha visto acentuado en los últimos años por la incorporación al proceso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), donde la distribución se ha personalizado adaptándose a las exigencias del comprador hasta límites que hace diez años nunca hubiesen sido capaces de prever. Las tecnologías ya hoy permiten acceder a cualquier producto, desde cualquier lugar y en cualquier momento, y la búsqueda por parte del consumidor de la satisfacción inmediata exige una adaptación urgente de los modelos tradicionales en los que ha descansado la logística de distribución. Esta última fase de la cadena de suministro está siendo empujada por la dinámica de este proceso imparable que se acaba de describir. Claros ejemplos de esto son Amazon, Glovo o la reciente alianza entre Alibaba y El Corte Inglés.

El comercio a través de puntos de venta físicos está dejando paso a las nuevas tecnologías. El consumidor cada vez demanda menos del contacto físico con el producto a la hora de tomar la decisión de compra. La oferta multicanal y su diversidad, juntamente con su agilidad ante la exposición de novedades, convierten a las compras online en un competidor difícilmente alcanzable; todo ello si cabe acentuado con la disminución del ciclo de vida de los productos que conlleva el concepto de "moda rápida". Otros aspectos asociados a exigencias medioambientales, tanto por demandas de los consumidores como por requerimientos legales en cuanto al ciclo final del producto para su desecho o eliminación, hacen de la optimización de la logística de distribución un parámetro esencial a la hora de ser competitivos y alcanzar el máximo rendimiento.

Es evidente que es necesario acometer con urgencia el problema de la distribución ante los retos planteados por las nuevas e inmediatas demandas de consumo, pero ya no solo por la necesidad de la optimización de la cuenta de resultados, sino por los problemas que a corto y medio plazo surgirán con la saturación de las redes de comunicaciones por la ingente cantidad de vehículos de tamaño medio que exige la prestación del servicio.

Por otro lado, hay que tener en cuenta los graves problemas medioambientales que se padecen en grandes y medianos centros urbanos con los horarios o el cierre de accesos y que afectan directamente a la distribución, así como el grave problema que supone la materialización de la entrega al cliente que en la búsqueda del servicio personalizado está produciendo fallos de hasta el 20% [STUA16] y que exigen una nueva entrega.

La logística de la distribución se encuentra en un momento de adaptación empujado por la variabilidad, aún lejos de estabilizarse, de las nuevas demandas de consumo y con ello surge un nicho de estudio apasionante asociado a la búsqueda de soluciones óptimas que satisfagan a todas las partes implicadas en el proceso; productor, distribuidor, consumidor y administración.

1.2 Objetivos del Proyecto

Es la logística de distribución la parte que se puede considerar más importante a la hora de alcanzar la satisfacción del consumidor y que, como se expuso en los apartados anteriores, está en claro proceso de adaptación. Dentro de la misma, adquiere especial relevancia el análisis de las rutas de transporte. Por ello, en el presente trabajo se va a abordar el reto que supone establecer una metodología con el objetivo de optimizar el sistema de rutas de transporte en las empresas de distribución.

Para ello, se deben tener en cuenta todas las variables que intervienen en el proceso, principalmente restricciones en cuanto al horario de entrega del pedido, los condicionantes del tráfico, la disponibilidad de la flota de vehículos, la localización de los centros logísticos, etc., que influyen en la solución del problema.

Se hace la salvedad de que el análisis, siendo general para empresas de distribución de cualquier tipología, requerirá sin duda adaptaciones de los parámetros empleados en el momento de su particularización a una compañía determinada, en razón fundamentalmente de la tipología de productos y clientes objetivos, así como de si se trata de una compañía nueva o de la implementación en una ya en funcionamiento.

El proyecto se va a estructurar en el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- a. **Objetivo 1:** Realizar una revisión del estado del arte del servicio de distribución en España. Se analizará para ello: la cadena de valor general de una empresa de distribución y, en particular, del sector de distribución de medicamentos, cuáles son sus elementos y funciones dentro de la cadena de valor. También se van a analizar las tipologías de distribución y los retos del sector, estudiando a su vez el sector objeto de estudio (farmacéutico).
- b. **Objetivo 2:** Estudiar y analizar los diferentes problemas de optimización de rutas (metodología y variables).
- c. **Objetivo 3:** Revisión de las principales herramientas para la optimización y gestión de rutas.
- d. **Objetivo 4:** Evaluación práctica del problema de gestión de rutas para el sector de distribución farmacéutica. Evaluación de diferentes escenarios y variables, comprobación de resultados y obtención de conclusiones.
- e. **Objetivo 5:** Investigación de nuevas tendencias y disrupciones tecnológicas.

Habrà que tener en cuenta otros aspectos, como el hecho de que los clientes de las empresas de distribución pueden llegar a solicitar productos varias veces al día. Esto se traduce en que varias veces al día hay que resolver el problema de optimización de rutas de distribución. Además, como la demanda de productos puede variar durante las diferentes franjas horarias y, como se ha visto, también con el periodo del año, la casuística tiene una variabilidad importante y de impredecible imitación.

1.3 Metodología

A partir de los datos proporcionados caracterizados para la empresa tipo o los facilitados por la misma si esta ya existe, se va a proceder a su optimización basándose en el estudio y análisis de los problemas existentes de rutas de vehículos según el caso.

Estos problemas, conocidos como VRP (Vehicle Routing Problem), tratan de averiguar la ruta óptima de una flota de transporte, que bajo una serie de restricciones conocidas persiguen satisfacer la demanda de una forma óptima dando servicio a unos clientes. Existen una gran variedad de planteamientos de este tipo de problemas, según la tipología y las restricciones de cada situación.

Al resolver un problema VRP se puede establecer diferentes funciones objetivo. Se puede buscar minimizar tanto el coste total de operación como el tiempo de transporte, o bien se puede querer minimizar la distancia recorrida o los intervalos de espera, o bien maximizar las horas de utilización de la flota o el servicio al cliente.

En este caso se va a buscar minimizar el número de vehículos que se encuentran en reparto necesarios para satisfacer la demanda, de manera que se minimice a la vez el coste total.

Para la consecución de los objetivos la metodología se estructura en diferentes bloques.

En el primero se realizará un estudio del Sector de la Distribución en España y de los diferentes Problemas de Rutas de Vehículos. Con ello, se pretende: analizar la evolución de la distribución de los diferentes tipos de productos en el territorio nacional, conocer los diferentes agentes existentes y conocer al grupo objeto de estudio.

A continuación, se desarrollará un estudio de las diferentes variantes de los problemas de rutas de vehículos, analizando sus características y aplicaciones. Seguidamente se analizarán las diferentes técnicas de resolución de este tipo de problemas.

Posteriormente se estudiará a fondo el problema a resolver y todas las variables que lo definen. Al mismo tiempo, se analizarán los diferentes algoritmos del software seleccionado para la resolución del problema y se justificará la elección de uno de ellos.

En el siguiente bloque se describirá la modelización del problema en el software utilizado y los resultados obtenidos. La modelización del problema se realizará de forma incremental, de manera que se vayan añadiendo restricciones por bloques, facilitando así el análisis de los resultados obtenidos. Para ello, es necesario una etapa previa en la que se proceda a geolocalizar todos los puntos de entrega dentro del territorio español.

Finalmente, una vez el modelo esté completo y los resultados obtenidos sean los óptimos, se presentará el impacto económico de la solución. Se procederá a un análisis de sensibilidad de las variables que se consideren oportunas, definiendo así diferentes escenarios y viendo cómo estas afectan al problema.

1.4 Estructura del Proyecto

Existen a día de hoy diferentes softwares con los que solucionar este tipo de problemas de optimización.

Existen soluciones muy completas como es el caso de la herramienta Supply Chain Guru (SCG) de Llamasoft, adaptable a multitud de tipos de empresa y con un coste elevado. Pero también existen soluciones con un menor nivel de detalle y potencia computacional que son de libre utilización. En este caso, se va a utilizar un optimizador que se apoya en Excel para la modelización del problema. Las herramientas como SCG permiten diseñar las redes de distribución y de transporte de una cadena de suministro, gestionar la optimización del inventario, así como realizar análisis de sensibilidad con posibles riesgos asociados. Gracias

a la modelización, optimización y análisis de la operación de las redes, se consiguen mejoras en los costes, el servicio y mitigación de posibles riesgos.

Entre las características que ofrece el programa que se va a utilizar en el presente estudio se encuentran la opción de configurar posibles escenarios de forma muy sencilla, posibilidad de crear grupos de clientes con características similares, facilitando así la entrada de parámetros al programa. Además, permite la incorporación de restricciones como la capacidad de los vehículos, información en tiempo real del tráfico, etc.

En el caso de las herramientas libres disponibles y que se van a utilizar en este caso, el abanico de restricciones a integrar también es muy amplio. Además se contempla la influencia del tráfico a la hora de estimar los tiempos de desplazamiento, elemento esencial para la optimización de rutas con congestiones importantes como puede ser Madrid.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

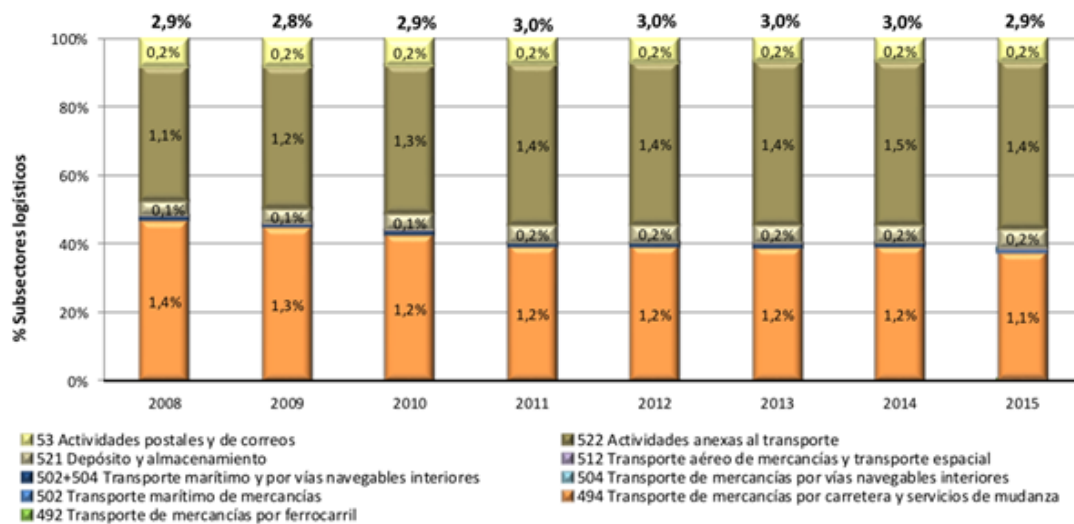


2 Estado del arte

En los últimos años, la presencia de los sectores de la logística y el transporte en España ha ido ganando protagonismo y se han consolidado como sectores de gran importancia en el ámbito nacional.

Según el informe que publica anualmente el Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE), organismo dependiente del Ministerio de Fomento, los sectores del transporte y logística están creciendo muy por encima de otros sectores con una influencia clara en el PIB nacional. Además, no sólo el crecimiento acusado en los últimos años se hace visible en parámetros económicos, sino también en el de nuevos empleos generados que para el sector logístico fueron de 620.000 personas (datos 2016), lo que se traduce en un crecimiento del 2%. Según el informe OTLE de 2018, el sector lleva creciendo cuatro años consecutivos a un ritmo entorno al 3%, superando el ritmo de crecimiento del PIB en España [OTLE18]. En 2016 (últimos datos referenciados) el sector de la logística supuso un 2,8% del PIB [OTLE19].

En la Figura 2 se observa el peso de los subsectores logísticos en términos de la economía nacional.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Estadística Estructural de Empresas: Sector Servicios (INE)

Figura 2 – Distribución en términos del PIB de los subsectores logísticos [OTLE18]

Entre los factores que han motivado el crecimiento de los sectores de la logística y el transporte se encuentra el uso de las nuevas tecnologías. El ámbito digital ha revolucionado los hábitos de consumo y estos cambios han provocado el crecimiento de las empresas de distribución que han tenido que evolucionar para atender estas necesidades de manera eficiente.

Además, los sectores de la logística y el transporte están sufriendo una transformación digital en sí mismos. Dicho proceso pasa, en primer lugar, por la digitalización de la información, para luego poder seguir con la digitalización de los procesos. Una vez la empresa incorpora estos procedimientos digitalizados se fomentará su crecimiento y su eficiencia.

El auge que ha tenido el comercio electrónico en España ha favorecido el desarrollo de la distribución. En el primer trimestre de 2018 el crecimiento fue del 32,8% con respecto al mismo trimestre del año anterior, y si se mira el mismo dato, pero de 2017 el crecimiento fue del 24,8%. Se espera que el e-commerce siga creciendo en volumen de ventas, impulsado por un mayor uso de las TIC, un dato que augura un crecimiento futuro a la logística [CNMC18].

Los clientes son cada vez más exigentes y persiguen la optimización del tiempo que dedican a compras de bienes y servicios de uso cotidiano. Este tipo de nuevas necesidades han sido cubiertas con tremendo acierto por empresas como Amazon y Glovo, que han transformado el sector de la

distribución proporcionado al usuario inmediatez y proximidad, factores que se han afianzado como tendencia en el sector de la distribución.

Por otro lado, los pilares básicos en el crecimiento de este tipo de empresas son la sostenibilidad, la eficiencia, y la cercanía al cliente. Para conseguir alinearse con las tendencias del sector basándose en los pilares básicos, las empresas dedicadas a la distribución deben afrontar diferentes retos. Entre ellos se encuentran la automatización de los procesos, enfocar el negocio al cliente y la incorporación del IoT (Internet of Things) y de las TIC para la gestión logística y para la optimización de los costes de transporte. En el presente trabajo se explora una combinación de los dos últimos retos: la utilización de la tecnología para la optimización de las rutas de distribución y aumentar la eficiencia de las empresas.

En conclusión, la distribución se ha convertido en un elemento de ventaja competitiva para las empresas. Solo un proceso logístico y de entrega eficiente puede garantizar el éxito a la hora de atender las necesidades inmediatas del nuevo cliente.

2.1 Evolución histórica del sector de la distribución

La logística se entiende a día de hoy como el proceso de planificación y gestión integral de la cadena de suministro, siendo la distribución el último eslabón. Sin temor a equivocarse, se puede situar el origen del concepto moderno de logística en el campo militar, durante la segunda Gran Guerra. Los procesos seguidos entonces en la fabricación y suministro de materiales requeridos para abastecer las campañas militares y situarlos allí donde se requería, fueron la base para su inmediata posterior aplicación a la actividad empresarial.

Durante la década de los 50, concluida la Segunda Guerra Mundial, la demanda y la producción crecieron de forma acelerada en los países industrializados apareciendo entonces los graves problemas de distribución cuyos canales se demostraron obsoletos. En aquel entonces el sector empresarial empezó a considerar en su política de ventas el estudio del público objetivo, el análisis de la competencia y las tendencias de consumo, tomando conciencia de la necesidad de una distribución eficiente por su incidencia en el éxito de todo el proceso y con ello en la rentabilidad [SERV10].

Avanzada la década de los 70 el sector empresarial advirtió de la importancia que tenía en la cuenta de resultados la minimización de los stocks y la optimización en la entrega de pedidos, lo que reducía sustancialmente los periodos de gestión de cobro. Todo ello se podía conseguir con una planificación correcta de las políticas de distribución. Es también a finales de los setenta cuando se incorpora al proceso de planificación integral de la cadena de suministro la gestión de los materiales. Esto es consecuencia de la situación de escasez de ese periodo y la consiguiente discontinuidad en los abastecimientos. De esta forma, pasan a coordinarse de manera conjunta todos los procesos desde la compra de materias primas hasta la venta y entrega del producto terminado [QUIJ12].

La recesión económica sufrida en la década de los 80 contribuye inexorablemente a la consolidación de la logística incorporándola a la toma de decisiones a nivel gerencial en la necesidad de coordinar todos los procesos en las empresas, al advertirse la influencia de esta coordinación en la cuenta de resultados. Comienzan a considerarse variables como el tiempo de entrega y el servicio al cliente, lo que propició la mejora de los centros de distribución y la racionalización del servicio de transporte. Es también en la segunda mitad de los 80 cuando empieza a tomar importancia la globalización, con el consiguiente incremento de transacciones internacionales lo que obligaba a integrar y controlar de forma global las operaciones.

Es a partir de la década de los 90 cuando las empresas incorporan a la logística de forma plena los adelantos tecnológicos que proporciona la informática y que simplifican considerablemente los procesos, acortando tiempos, reduciendo costes y por supuesto, incrementando la cifra de negocio al acercar la oferta a la demanda. Es en esta década cuando las empresas incorporan el

intercambio electrónico de datos y documentos, el uso del código de identificación de barras o la gestión automatizada de almacenes.

Con la globalización se empieza a hablar de cadena de suministro de forma extendida. Todo vino acompañado por la formalización de los tratados de libre comercio entre los diferentes países favoreciendo el desarrollo de los canales de distribución.

La logística como disciplina dentro de la actividad empresarial ha pasado de ser, el disponer de un producto determinado, en un lugar determinado al menor coste, a convertirse en un proceso dentro de la actividad empresarial gerenciado a partir de una planificación estratégica en la que se determina la compra de materias primas y su manipulación, el almacenamiento de los productos, la gestión de los stocks y de los canales de distribución. También comprende la gestión de todos los canales de información necesarios para que la gerencia pueda gestionar con la mayor efectividad para alcanzar la máxima rentabilidad con los mínimos costes.

El camino del sector sigue por acceder a un mercado digital único en Europa, una de las 10 prioridades que la Comisión Europea se marcó para el periodo 2015-2019, de esta forma las empresas podrán llegar a un mercado de más de 500 millones de personas [COMI15].

2.2 La distribución en la actualidad

En las dos últimas décadas se ha producido una auténtica transformación en la operativa tradicional de los procesos asociados a la logística y la distribución de las empresas como consecuencia de la incorporación de las TIC, así como del Internet of Things (IoT).

La disponibilidad de la información en tiempo real posibilita una gestión logística de máxima eficiencia alcanzando el óptimo, entendido como la satisfacción plena de las exigencias del consumidor final. Ya no se trata de gestionar solo los productos, hay que gestionar simultáneamente los datos asociados a todo el proceso de distribución de los mismos.

Las empresas hoy en día están plenamente concienciadas de la necesidad del empleo de las TIC, ya no sólo en lo que a la logística y distribución se refiere, sino en la totalidad de sus procesos productivos constituyendo una parte esencial del modelo de negocio. El uso optimizado de las TIC proporciona verdaderas ventajas competitivas a las empresas que al final se materializan en una mejor respuesta en el servicio al usuario final.

El uso optimizado de las TIC proporciona verdaderas ventajas competitivas a las empresas que al final se materializa en una mejor respuesta en el servicio al usuario final.

La incorporación de las TIC en los procesos de logística y distribución

El empleo de procesos automáticos en la operativa logística ha contribuido significativamente a la mejora de la productividad de las empresas y con ello a su cuenta de resultados. Procesos que tradicionalmente se realizaban de forma manual o simplemente no se realizaban, tales como la manipulación e identificación de productos o su trazabilidad hasta la llegada al consumidor final, han sido claves en esta mejora.

El comercio electrónico o “e-commerce”

El comercio electrónico ha posibilitado que la logística deje de ser un proceso operacional y se convierta en un verdadero elemento que forma parte de la cadena de valor del producto al convertirse en imprescindible el conocimiento en tiempo real de su disponibilidad en el lugar y tiempo acordados. Es evidente que ha supuesto un verdadero reto para el sector contribuyendo a su modernización y mejorando su imagen frente al consumidor y haciéndolo más competitivo. Su grado de penetración es importante y con clara tendencia al alza como ya mostraban los datos proporcionados por FUNDETEC-Ministerio de Industria y Energía: ya en el 2011 un 57'1% de las empresas del sector manifestaban comprar y/o vender a través de Internet [FUND12]. Todo ello impulsado por el intento de mitigar la presión que hoy día está suponiendo para el sector que el número de empresas que emplean el e-commerce en su operativa y que están optando por

encargarse ellos mismos de la logística esté creciendo significativamente. Así se desprende de los datos proporcionados por el “Observatorio de E-commerce & Transformación Digital” donde en 2017 el 14% de los operadores de e-commerce aseguraron que optarían por encargarse ellos de la logística de sus productos frente al 7% del año anterior [OBSE18].

La gestión integral de todos los procesos de la logística es el objetivo a alcanzar para obtener una visión completa e integral en tiempo real. Para ello herramientas TIC como es el ERP-Enterprise Resource Planning son empleadas en el sector, integrando procesos como la cartera de clientes, los aprovisionamientos, la gestión financiera o los recursos humanos. \$llo permite reducir y agilizar trámites y con ello optimizar costes al mismo tiempo que se proporciona un servicio más eficiente al cliente. [IDAC18]

La implantación del comercio electrónico y la exigencia del usuario de minimizar los tiempos de entrega ha conllevado que la localización y el tamaño de las instalaciones de distribución y los centros logísticos pasen a ubicarse lo más próximo posible al cliente final, en las proximidades de los centros poblacionales con buenas redes de comunicación..

El e-commerce ha contribuido a la mejora del sector logístico introduciendo nuevos procedimientos de los cuales se pueden priorizar los siguientes: [INTE18]

- Posibilita que todos los agentes intervinientes realicen un seguimiento en tiempo real del estado del pedido, lo que no sólo comprende su localización.
- Mínimas incidencias ligadas a un mayor control posibilitado por la automatización de los procesos.
- Mejora en la cualificación de los trabajadores del sector logístico ante los nuevos retos demandados.
- Mejora en los procesos cumpliendo con satisfacción las exigencias del cliente, entre ellas los mínimos tiempos en la entrega: la inmediatez.
- Implantación de la práctica de la logística inversa, en lo que tiene que ver con las buenas prácticas medioambientales como en las devoluciones de pedidos.
- Evidente aumento de la red de clientes aproximándose a un mercado global tanto geográficamente como sectorialmente a lo que ha contribuido significativamente los sistemas de pago telemático.
- Implantación de lo que se conoce como logística multicanal con el alcance de múltiples puntos de recogida-entrega.

El Sistema de posicionamiento global. La tecnología GPS en la Gestión de Flotas

La utilización de satélites de sistema de posicionamiento global se aplica al sector logístico en lo que se conoce como Gestión de Flotas. Esta tecnología nos permite conocer la posición precisa y en tiempo real de un vehículo de flota, lo que posibilita la verificación y control de las rutas programadas. Además, permite la transmisión de información entre los agentes ayudando a la operativa mediante una conexión web.

Conceptualmente lo que entendemos como Control de Flotas es mucho más amplio que un mero GPS para localizar vehículos. El uso de esta tecnología nos permite la transmisión y recepción de datos y con ello conocer e interactuar, por ejemplo, en acciones de apertura y cierre de puertas, controlar la temperatura de frigoríficos de transporte, emitir facturas, operativa de gestión mediante códigos de barras o simplemente gestionar los tiempos de conducción, entre otras muchas aplicaciones. [ESTR18]

Podemos resumir sus principales ventajas en:

- Localización en tiempo real de los vehículos y con ello de la mercancía tanto por el gestor de la flota como por el cliente. Este control físico de los vehículos permite verificar el cumplimiento de los itinerarios planificados.
- Mejora de la seguridad para la flota. El gestor conoce en todo momento cualquier circunstancia imprevista que se produzca en el vehículo.
- El control de los itinerarios programados y conocimiento en tiempo real del estado del

tráfico permiten planificar las rutas minimizando el tiempo en carretera. De esta manera, se facilita la entrega en el menor tiempo y con la mayor seguridad.

- Optimización de rutas durante el reparto en función de circunstancias nuevas surgidas y no contempladas en la planificación, lo que permite además la recuperación de tiempos perdidos.
- La tecnología GPS ayuda en el control del consumo real de combustible, midiendo tanto las cargas como las descargas realizadas y con ello fomentando una conducción eficiente que redunde en un ahorro de combustible. Además, hoy día ya mediante la conexión al ordenador del vehículo se obtiene información, tanto temporal como en kilómetros, acerca de su estado conociendo así el mantenimiento necesario, incidiendo en un significativo ahorro económico para la empresa.

Junto a estas ventajas generales, habría que añadir las propias relativas a cada sector. Por ejemplo, aquellas empresas que se encargan del transporte frigorífico requieren de una especial atención en sus productos, sobre todo en lo que concierne al control de la temperatura en tiempo real y al aseguramiento de la cadena de frío.

Por otro lado, la incorporación de la geolocalización en la gestión de flotas ha contribuido a que las empresas, mediante el conocimiento de sus propios datos operativos en tiempo real, puedan dar cumplimiento estricto y con rigor a la legislación vigente tanto a nivel nacional como internacional que le es de aplicación al sector.

La tecnología GPS en gestión de flotas ha posibilitado que todas las gestiones y procesos rutinarios se automaticen generando un nuevo y revolucionario modelo de trabajo en el sector logístico.

E-procurement:

El suministro de productos y servicios mediante Internet, conocido como E-procurement es la principal aplicación del comercio electrónico entre empresas B2B (del inglés Business-to-Business), y entre empresas y consumidor final B2C (Business-to-Consumer). La incorporación del E-procurement a los procesos logísticos ha contribuido a que las compañías aumenten significativamente su valor al incorporar su cadena de suministros a la red. El proceso facilita la operativa al transmitir de manera rápida y fiable la información necesaria para anticiparse a los problemas, posibilitando establecer acciones correctoras y alternativas que contribuyan al óptimo funcionamiento de los agentes intervinientes en transacción. [DIGI18]

Resumidamente se trata de la sistematización de los procesos internos y externos relacionados con el pedido, compra, suministro, pago y control de productos mediante el empleo en tiempo real de Internet como medio principal en la comunicación cliente-proveedor y así conocer, al instante de producirse, cualquier alteración en las variables del proceso.

Es evidente la enorme ventaja que supone la aplicación en tanto que permite actuar desde cualquier punto con servicio de datos, eliminando las barreras geográficas incluso la necesidad de estar presente en las instalaciones de la empresa. Por otro lado, los protocolos de comunicación mantienen todas las garantías de confidencialidad entre los agentes intervinientes al realizarse mediante accesos restringidos previamente autorizados.

La trazabilidad:

Entendemos por trazabilidad el conjunto de procedimientos que posibilita conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto a lo largo de toda la cadena de suministro y disponer, en cualquier punto de dicha cadena, de información del mismo en cuanto a su proceso de fabricación, su procedencia, tratamientos y procesos a los que ha estado sometido desde el almacenamiento, transporte, distribución y localización del mismo, entre otros parámetros previamente definidos.

La trazabilidad aparece en Europa como consecuencia de la pérdida de confianza de los consumidores ante las crisis alimentarias (vacas locas, fiebre aftosa, peste porcina, etc.). Es por ello que en su origen y hoy en determinados sectores como el agroalimentario, es una imposición

legal. No obstante se ha convertido en una herramienta imprescindible en la gestión de la logística y distribución, puesto que contribuye a ordenar los trámites y la gestión de las mercancías y actualmente se encuentra presente en todos los procesos logísticos. Así entre sus ventajas, además de las expuestas, se produce un exhaustivo, fiable y mejor control de los productos en toda la cadena de suministro o la automatización de la entrada y salida de datos de los productos con una procedimentalizada y ágil disponibilidad de la información. [ERTR18]

Las actuaciones del sector en esta materia que se están acometiendo en la actualidad van encaminadas a la estandarización a nivel internacional de los procesos, unificando los criterios de comunicación entre los diferentes agentes intervinientes.

2.3 Marco normativo actual del sector de la distribución

En el momento actual existen diferentes marcos legales complementarios en cuanto a competencias que afectan al sector de la distribución y la logística en general, pues hay regulación comunitaria, estatal y autonómica. Además, cada sector de la distribución tiene regulación específica que le afecta, no pudiendo abarcar en este apartado, ni siendo éste el objeto, toda la casuística. Así, por economía y por el enfoque del presente trabajo no se va a detallar toda la regulación existente en tanto que se encuentra disponible en la red en el caso que se precise mayor detalle. Solo se citará la más general de carácter estatal que se estima presta el enfoque necesario al presente estudio y que ha sido citada en su desarrollo.

Reglamentación en el sector logístico y de distribución

- Reglamentación básica de transporte por carretera
Ley 16/1987, de 30 de Julio, Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres (LOTT). [LOTT11]
Real Decreto 1211/1990, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres (LOTT). [LOTT19]
- Reglamentación básica de los Servicios Postales
Ley 24/1998, de 13 de julio, del Servicio Postal Universal y de Liberalización de los Servicios Postales. [LSPU98]
Real Decreto 1829/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regula la prestación de los servicios postales, en desarrollo de lo establecido en la Ley 24/1998, de 13 de julio, del Servicio Postal Universal y de Liberalización de los Servicios Postales. [LSPU99]

2.4 Los retos del sector de la distribución y del transporte en España.

De una forma general se puede concluir que los retos-objetivos del sector se resumen en la minimización de costes y la satisfacción-inmediatez del cliente. No obstante, un análisis detallado de los retos inmediatos a los que se enfrenta el sector para alcanzar estos objetivos son los analizados por ICIL, entidad dedicada a la formación e investigación en el ámbito de la logística, que en un reciente informe resume los retos inmediatos a los que se enfrentan las empresas vinculadas a la cadena de suministro del sector de la distribución [CSTG17].

1. Soluciones al problema de “La Última Milla”

Se denomina en el sector “Última Milla” al trayecto final en el proceso de reparto y entrega de la mercancía al destinatario. El crecimiento urbano y sus áreas metropolitanas suponen un desafío a la hora de cubrir este trayecto final. Los problemas están ocasionados fundamentalmente por la densidad del tráfico, peatonalizaciones del viario o por la

imposibilidad de aparcamiento y restricciones horarias a la circulación, entre otras. Es fundamental dar solución a estos problemas que suponen una merma considerable en la eficiencia del servicio incidiendo directamente en un segmento de la población muy significativo.

2. Estrategia 4R (Reducir, Reciclar, Reutilizar y Recuperar) y la Certificación Medioambiental.

Lo que se conoce como estrategia 4R es aplicable a todos los sectores productivos y las empresas responsables de la Supply Chain o cadena de suministro o distribución no son ajenas, siendo la sostenibilidad un reto prioritario vinculado a todos los procesos. Hay que reducir el consumo de recursos prescindiendo de los innecesarios y optimizando el uso de los imprescindibles, reciclar para minimizar los residuos dándoles un nuevo uso tendiendo al concepto de “residuo cero” mediante la reutilización y recuperando los excedentes para optimizar el gasto.

La estrategia 4R está vinculada directamente con la adecuación medioambiental de todos los procesos en la cadena. En esta línea la Administración otorga certificaciones (Ecoetiqueta) medioambientales a los productos y servicios mediante la estandarización de los procesos en esta materia distinguiendo a los productos y servicios que se ciñen a los mismos durante su ciclo de vida.

3. Transportes sostenibles y vehículos más eficientes

La sociedad está cada vez más concienciada de la necesidad de regular el transporte en la línea del respeto por el medioambiente. Evidentemente la optimización de rutas reduciendo trayectos y tiempos es una de las líneas de trabajo, pero existen otras como la optimización de cargas, el establecimiento de puntos intermedios o la coordinación de los agentes implicados. Obviamente el otro eje fundamental es la renovación de los vehículos de las flotas por vehículos más eficientes y medioambientalmente sostenibles, en definitiva menos agresivos con el medio natural.

4. Responder a las nuevas exigencias que se vayan planteando con aporte de valor

En las últimas décadas estamos presenciando un vertiginoso cambio en los hábitos del consumidor. En los comportamientos de consumo prima la inmediatez, lo que obliga a establecer mecanismos de predicción de los hábitos y preferencias de los consumidores. Con la finalidad de mantener la fidelidad del consumidor, los productores están obligados a incorporar a sus procesos continuas novedades e innovaciones, reinventándose permanentemente lo que exige una capacidad de adaptabilidad de todos los procesos intervinientes en la cadena de suministro, en función de las cambiantes preferencias del consumidor. Para alcanzar el objetivo es imprescindible el conocimiento de las preferencias del consumidor, lo que exige un diseño de distribución adecuado y adaptable que le aporte un valor con respecto a la competencia para alcanzar su fidelidad.

5. Adaptabilidad, coordinación y creación de sinergias

No solo por razones de sostenibilidad como se reseñaba en el punto 3, también por razones de competencia es necesario diseñar procesos que respondan con agilidad a los cambios en las preferencias del consumidor para lo que deben ser adaptables de forma eficiente y coordinada entre todos los agentes de la cadena de suministro. Como herramienta de coordinación eficiente hay que analizar las posibles sinergias entre los departamentos de toda la cadena eliminando la obsoleta idea de ser compartimentos estancos y aislados.

CAPÍTULO III: PARTICULARIZACIÓN PARA EL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA



3 Particularización para el sector de la distribución farmacéutica

3.1 La distribución farmacéutica evolución y marco actual

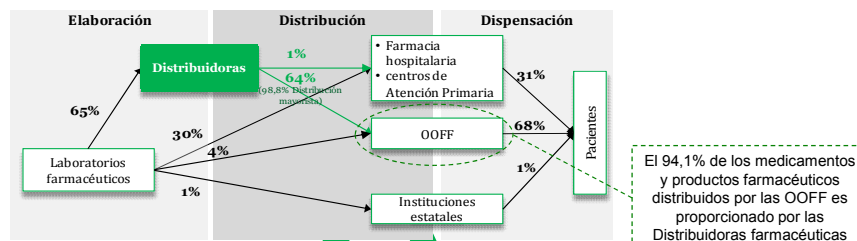
Tradicionalmente, se ha entendido que los medicamentos son bienes de especial protección y por tanto deben ser objeto de regulación específica en la legislación, comprendiendo la totalidad de las fases de su cadena de suministro. La más reciente legislación, ya adaptada a la europea, contempla que en el proceso de distribución los “almacenes mayoristas” son un elemento de especial control y regulación imprescindible para que la distribución minorista, comprendida por las Oficinas de Farmacia (OOFF), esté abastecida de forma eficaz [FARM06].

Si bien las farmacias no tienen la obligación de abastecerse de los almacenes mayoristas, la realidad es que el 95% utilizan este procedimiento por las ventajas que les proporciona la alta profesionalidad adquirida por el sector mayorista de la distribución frente a la alternativa de una «distribución de gama corta» o almacenes que sólo tienen los principales productos y ofrecen sustanciosas ventajas económicas, pero no asumen las obligaciones de la distribución tradicional [FARM18].

El sector de la distribución farmacéutica (mayorista o tradicional) en la actualidad presenta una gran eficiencia y sus procesos se encuentran en el más alto nivel de automatización dentro del sector logístico global. La legislación vigente ha contribuido a ello regulando su funcionamiento, régimen de autorizaciones, precios y rentabilidades, todo ello en aras de satisfacer los requerimientos de calidad impuestos por la normativa europea. En la actualidad el sector mayorista de la distribución de medicamentos lo acaparan aproximadamente 50 empresas de las que 8 aglutinan el 90% del mercado y se caracterizan por su función de servicio público, ya que garantizan el abastecimiento de todas y cada una de las presentaciones de medicamentos a todas las Oficinas de Farmacia que las hayan elegido como proveedores. En la Figura 3 se puede ver cómo se reparte el mercado de la distribución de medicamentos en España [FEDI06].

La distribución mayorista de amplia gama supone el 98,7% del mercado mayorista farmacéutico español y pone a disposición de todas las oficinas de farmacia la gama completa de medicamentos y productos farmacéuticos a un precio competitivo

Cuotas de mercado de los agentes de la cadena del medicamento y productos farmacéuticos



El sector se compone de cerca de 52 empresas, de las que los 6 principales grupos representan el 75,5% del mercado

Su modelo logístico simplifica la red y disminuye el nº de transacciones

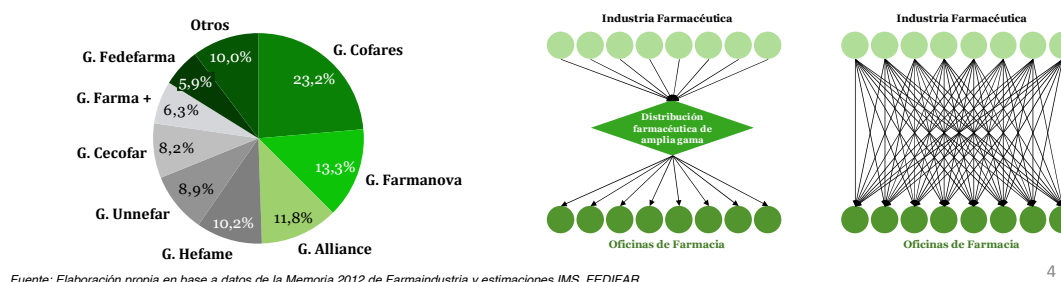


Figura 3 – Distribución del mercado de distribución farmacéutica en España

3.2 Legislación específica sobre la distribución farmacéutica y afines

La Ley 25/1990, de 20 de diciembre, del Medicamento regulaba exhaustivamente en su capítulo 2 los requerimientos que deben cumplir los almacenes mayoristas por los que se les obliga, entre otras cuestiones, a contar con existencias mínimas de medicamentos que garanticen la continuidad del abastecimiento, a cumplir normas de buena distribución y a ofrecer servicios de guardia y prevención de catástrofes. Dicha Ley fue desarrollada y adaptada a la Directiva 92/25/CEE del Consejo de 31 de marzo de 1992 por el Real Decreto 2259/1994, de 25 de noviembre, y posteriormente por el Real Decreto 725/2003, de 13 de junio, que impone obligaciones sobre trazabilidad. Se puede afirmar que ninguna de las normas previamente existentes sobre la distribución fue derogada por la Ley 29/2006, de 26 de julio, actualmente vigente, si bien ésta regula de forma más estricta y detallada muchos de los requerimientos exigibles hasta entonces. El Real Decreto 782/2013 sobre distribución de medicamentos de uso humano viene a desarrollar aspectos de la Ley de 2006 y, entre otras cuestiones, regula las autorizaciones, requisitos y obligaciones de todas las figuras que realizan alguna de las actividades incluidas en la definición de distribución mayorista de medicamentos, y que se engloban a partir de este Real Decreto en el término «entidades de distribución».

Reglamentación en el sector de distribución de medicamentos

- Directiva 92/25/CEE del Consejo, de 31 de marzo de 1992, relativa a la distribución al por mayor de los medicamentos para uso humano. [DOCE92]
- Real Decreto 2259/1994, de 25 de noviembre, por el que se regula los almacenes farmacéuticos y la distribución al por mayor de medicamentos de uso humano y productos farmacéuticos. [MISC95]
- Ley 29/2006, de 26 de julio, de garantías y uso racional de los medicamentos y productos sanitarios. [JEFE06]

- Real Decreto 782/2013, de 11 de octubre, sobre distribución de medicamentos de uso humano. [MIPR13]

3.3 Retos del sector de la distribución farmacéutica – atributos, concentración, importancia, madurez

Evidentemente los retos que plantea el sector de la distribución de medicamentos van íntimamente ligados a las características específicas de este segmento de la distribución en cuanto a su concentración, pues como se ha visto la práctica totalidad del mismo (90% del mercado) está concentrada en muy pocas empresas (8 empresas). De la misma manera se puede decir que es un sector muy regulado en atención a su importancia social e interés general.

Según la revista especializada DiarioFarma en su edición de Julio de 2016, durante el V Encuentro Mundial de Farmacia celebrado en Brisbane, se expusieron los cinco grandes retos de los canales de distribución a nivel mundial: falta de suministro, retrasos, calidad, corrupción y el factor humano [DIEG16]. Estos retos son perfectamente válidos para el caso de la distribución mayorista en España.

Si nos centramos exclusivamente en lo que afecta directamente a la distribución, según lo tratado en el mencionado encuentro se advierten que tres de los retos están relacionados con la necesidad de optimizar las rutas de transporte y con la mejora y adaptabilidad de las flotas. Tal es el caso de los retrasos en la entrega, al tener que abordar nuevas realidades de distribución geográfica con distintos entornos (rural y urbano), los problemas asociados a la calidad durante el transporte como es el caso del mantenimiento de la cadena de frío u otras condiciones especiales de la mercancía y/o la optimización de los volúmenes de carga de los vehículos. El reto de minimizar los posibles errores humanos está asociado a la necesaria automatización de los procesos de reparto, coordinación en los pedidos y en los procesos de entrega, asumiendo nuevos requerimientos de los usuarios como pueden ser las demandas urgentes u otras condiciones especiales de entrega o para cubrir eventualidades como puede ser el absentismo del cliente. Todo ello sin olvidar la necesaria compatibilización con el requerimiento de toda empresa de la optimización de los costes, para lo que se revela como esencial la adopción de economías de escala.

Se quiere mencionar lo expuesto por el presidente de Fedifar en la edición de Diciembre de 2018 de la revista especializada Correo Farmacéutico en cuanto a los retos de futuro de la distribución y el modelo farmacéutico. El autor señala como reto a afrontar la necesidad de mantener el actual modelo en beneficio del paciente, “protegiendo un servicio sanitario de proximidad que garantiza la solidaridad en la distribución del medicamento y asegura la equidad en el acceso, frente a las amenazas de compañías como Amazon o Glovo que pretenden dejar al margen a la farmacia” [COFA18]. Para ello, las empresas de distribución deben hacer uso de sus fortalezas y trabajar para ser más eficientes.

Es evidente que se está llamando a la necesidad de satisfacer la cada vez más exigente demanda del paciente ante los nuevos retos y esto pasa por la optimización de los servicios de reparto y entrega, lo que se aborda en el presente estudio en lo que se ha llamado “Optimización de rutas” y que como se verá comprende muy diversos aspectos relacionados con la mejora en el servicio.

CAPÍTULO IV: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA



4 Definición del problema

4.1 Introducción

Es evidente que la problemática asociada a la gestión de las rutas de transporte afecta directamente a la cuenta de resultados de las empresas, donde los costes de distribución son relevantes, pero indirectamente afecta a la práctica totalidad de las empresas, en la medida en que de alguna forma todas tienen en sus procesos incorporados costes de transporte bien sea de materias primas, productos intermedios o finales, o incluso indirectos (transporte inbound, movimientos internos, etc.). No obstante, el problema del rutaje solo afecta a las empresas de transporte de ventas y reparto. El transporte de ventas no es solo un transporte de punto a punto, tiene otras muchas variables que entran en juego.

El objetivo final que se persigue con la optimización de rutas es la minimización de costes y la satisfacción de las nuevas y crecientes demandas del cliente. En los últimos años se ha avanzado en esta línea desde la utilización de los Sistemas de Información Geográfica hasta el desarrollo de aplicaciones de gestión logística y sistemas integrados de información logística.

En este capítulo se pretende definir el problema al que se quiere dar solución y que será la base para la elaboración del modelo matemático y de las herramientas y técnicas de construcción de rutas, así como del desarrollo de un método eficiente de diseño de las mismas. Para ello, se comenzará describiendo el proceso de entrega desde la recepción de los envíos en el Centro de Distribución o Centro Logístico hasta la fase final de entrega al cliente. La eficiencia del modelo será tanto mayor cuanto más relevante sea la información relativa a las características de los envíos, los medios de distribución o flota y los condicionantes de los puntos de entrega.

Con las últimas técnicas que permiten monitorear las flotas y sus tiempos, será más fácil y precisa la predicción de rutas vía información geo-referenciada, con el fin de trazar nuevas rutas y disminuir tiempos, pronosticar la demanda y simplificar redes de distribución.

Integrar en el método variables como el tráfico permite gestionar en tiempo real las rutas a emplear y la flota de vehículos según horarios, pudiéndose predecir ciclos y tendencias teniendo en cuenta esta importante variable. Esta opción se puede ver muy beneficiada por la aplicación del Big Data al sector.

4.2 Descripción del problema – genérico

El enfoque de partida del presente estudio se ha dirigido a una Compañía de Distribución genérica dedicada al reparto de productos listos para la venta, por lo que la descripción de la problemática y su casuística es amplia. En consecuencia, son muchas las variables que se van a considerar. En la medida que la problemática se singularice para una empresa de distribución específica, o de un sector específico, la selección de variables permitirá afinar el modelo matemático y con ello su simplicidad.

Lo primero que se tiene que considerar en la empresa tipo es la Frecuencia de reparto, es decir, si se van a realizar uno o más repartos diarios y si el servicio se extiende a días festivos y con qué frecuencia.

El Número de repartidores necesarios o disponibles vendrá condicionado o condicionará tanto la frecuencia como las Áreas de Reparto asignadas con sus Puntos de Entrega que a su vez requerirá un Medio Distribución (flota) acorde a los requerimientos del área.

No cabe duda de que todos los parámetros se encuentran interrelacionados, condicionándose entre ellos, de ahí la necesidad de su correcta definición para que el modelo matemático sea eficiente.

Los repartidores realizarán la entrega de los envíos asignados a su área de reparto, para lo que emplearán un determinado tiempo que vendrá limitado por la Jornada Laboral y sus períodos

legales de descanso o tiempo destinado a otras tareas como puede ser la clasificación o preparación de envíos en el Centro de Distribución; esto permitirá definir un período disponible para ruta que será el parámetro a considerar en el modelo.

Otro de los parámetros que condiciona el problema a estudiar es la presencia de Ventanas de tiempo para la entrega. Muchas empresas de reparto tienen que tener en cuenta las horas en las que el pedido puede ser entregado al cliente. Esta variable es primordial en el sector al que se circunscribe nuestro problema, el sector farmacéutico. En el caso de las oficinas de farmacia, la jornada laboral no supone un limitante en tanto en cuanto la restricción impuesta por las ventanas de tiempo es más restrictiva en cuanto a las horas de reparto.

Junto a los parámetros definidos anteriormente, que podrían considerarse “tradicionales” en el mundo del reparto, aparecen nuevos relacionados con la creciente necesidad de inmediatez requerida por los clientes. El Nivel de servicio ofrecido en el reparto se convierte en la mayoría de los casos en el parámetro más restrictivo. Servicios como PrimeNow ofrecido por Amazon aseguran la entrega del pedido en las dos horas siguientes a la recepción del mismo. El Corte Inglés también ofrece un servicio similar.

Otras restricciones a tener en cuenta serán los requerimientos o capacidad de los medios de distribución disponibles o necesarios, así como las características específicas de los envíos como son sus dimensiones, peso, control de la temperatura, etc., que se verán con mayor desarrollo en los apartados siguientes. Estas características pueden llegar a encarecer mucho el coste del transporte.

Los medios de distribución son limitados, así como también los recursos humanos disponibles, razón por la cual se ha de vigilar que la prestación del servicio no conduzca al sobredimensionamiento de los medios y con ello a la ineficiencia del proceso de distribución. Por ello, el modelo debe prever una solución para cuando la limitación de medios no permita la distribución de todos los envíos asignados a un área de reparto en una misma ruta. En este caso se plantea una reorganización de los envíos atendiendo a su prioridad. Respecto de los envíos pospuestos cabe la posibilidad de planificar una nueva ruta desde el centro de distribución o bien, si se dispone de ellos, emplear puntos de alcance (nodos intermedios) localizados en mitad de ruta, donde un servicio adicional acerque los envíos pospuestos de una forma agrupada para ser recogidos por la unidad de reparto y completar su distribución; esto evita tener que regresar al centro de distribución y poder cumplir con la totalidad del servicio en la jornada planificada.

El procedimiento de entrega de los envíos al cliente se podrá hacer de manera personalizada o bien en lockers individuales o colectivos, en función del servicio contratado.

El objetivo por tanto es optimizar las rutas de cada repartidor para lo que habrá que considerar los tiempos empleados en cada fase.

4.3 El proceso de entrega (en función de)

Para definir el proceso de entrega es necesario recurrir a lo establecido en la normativa de aplicación. No obstante, en función de las características de la empresa distribuidora para la que se desarrolle el modelo y las condiciones que pueden exigir la manipulación de determinados envíos, puede existir normativa que condicione las variables seleccionadas para el modelo.

Normativa de aplicación

El presente estudio se ciñe a las compañías de distribución privadas que presten su servicio apoyadas en vehículos de tracción propia siéndoles de aplicación, y no en exclusiva, la normativa básica que se expone a continuación.

- El Real Decreto 1829/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regula la prestación de los servicios postales, en desarrollo de lo establecido en la Ley 24/1998, de 13 de julio, del Servicio Postal Universal y de Liberalización de los

Servicios Postales. Este Reglamento viene a regular los servicios de recogida, admisión, clasificación, tratamiento, curso, transporte, distribución y entrega de los envíos postales, a prestar por los operadores privados inscritos en el Registro Oficial de Operadores Postales, así como los del Operador Público encargado del Servicio Postal Universal.

- Ley 15/2009, de 11 de noviembre, del contrato de transporte terrestre de mercancías por la que se regula el contrato de transporte terrestre de mercancías realizado por medios mecánicos con capacidad de tracción propia. El contrato de transporte de mercancías es aquél por el que el porteador se obliga frente al cargador, a cambio de un precio, a trasladar mercancías de un lugar a otro y ponerlas a disposición de la persona designada en el contrato.

Según el artículo 14 del Real Decreto 1829/1999 los servicios postales se clasifican en:

- I. De acuerdo con las garantías que se otorgan al envío:
 - a. Son servicios de envíos generales aquellos para los que el operador postal correspondiente no otorga más garantías al envío que las ofrecidas con carácter general para todos los envíos postales, sin que medie recibo justificativo individualizado de cada uno de dichos envíos que permita identificar la dirección postal del remitente y del destinatario.
 - b. Son servicios de envíos certificados los que, previo pago de una cantidad predeterminada a tanto alzado, establecen una garantía fija contra los riesgos de pérdida, sustracción o deterioro, y que facilitan al remitente, en su caso a petición de éste, una prueba del depósito del envío postal o de su entrega al destinatario.
 - c. Son servicios de envíos con valor declarado los que permiten asegurar éstos por el valor declarado por el remitente, en caso de pérdida, sustracción o deterioro.
- II. Por las prestaciones básicas o complementarias que conllevan, los servicios pueden ser:
 - a. Ordinarios, cuando los envíos son confiados al operador postal de que se trate para la realización de un servicio postal acogiéndose a condiciones y calidades regulares preestablecidas por el operador postal.
 - b. Rápidos, cuando el servicio, además de su mayor rapidez y seguridad en la recogida, distribución y entrega de los envíos, se caracteriza por todas o algunas de las siguientes prestaciones suplementarias: garantía de entrega en una fecha determinada; recogida en el punto de origen; entrega en mano al destinatario; posibilidad inmediata de cambiar de destino o destinatario; confirmación al remitente de la recepción de su envío; supervisión, seguimiento y localización de los envíos; trato personalizado a los clientes y prestación de un servicio bajo demanda, como y cuando se solicite por el usuario.
 - c. Especiales, si se trata de servicios que contemplan prestaciones de naturaleza específica, distintas de las recogidas en el párrafo b) de este apartado, como puedan ser los servicios de contrareembolso donde la entrega al destinatario se efectúa previo abono del importe reembolsable, o los sujetos a derechos complementarios por acogerse a facilidades especiales ofrecidas por el operador postal para ser utilizadas discrecionalmente por los usuarios.
- III. En cualquiera de los casos previstos en los apartados anteriores, las operaciones del servicio postal en su conjunto son las siguientes:
 - a. Recogida: es la operación consistente en retirar los envíos postales depositados en los puntos de acceso a la red postal del operador. Los puntos de acceso son las instalaciones físicas, especialmente los buzones a disposición del público tanto en la vía pública como en locales públicos o en los locales del proveedor del servicio, donde los clientes pueden depositar envíos postales para el acceso a la red.

- b. Admisión: consiste en la recepción por parte del operador postal de envío que le es confiado por el remitente para la realización del proceso postal integral y del que se hace responsable en los términos previstos en este Reglamento.
- c. Clasificación: incluye el conjunto de operaciones cuyo fin es la ordenación de los envíos postales, atendiendo a criterios de la operativa postal.
- d. Tratamiento: es el conjunto de las operaciones auxiliares realizadas con los envíos postales admitidos por el operador destinados a prepararlas para subsiguientes operaciones postales.
- e. Curso: es la operación u operaciones que permiten el encaminamiento de los envíos postales.
- f. Transporte: es el traslado por cualquier tipo de medios de los envíos postales hasta su punto de distribución final.
- g. Distribución: es cualquier operación realizada en los locales de destino del operador postal a donde ha sido transportado el envío postal de forma inmediatamente previa a su entrega final al destinatario del mismo.
- h. Entrega: es el reparto de los envíos en la dirección postal en ellos consignada, con las salvedades que se establecen en este Reglamento. A efectos del necesario otorgamiento de los correspondientes títulos habilitantes, cada una de estas operaciones es susceptible de constituir, por sí misma, un servicio postal.

Procesos de entrega - Clasificación

Atendiendo a esta clasificación establecida en la legislación analizadsa y a los efectos del presente estudio –que se circunscriben a la problemática de la optimización de rutas de transporte en operadores privados- se van a considerar exclusivamente las fases de transporte y entrega, es decir, la que se desarrolla desde el cetro logístico o de distribución hasta su entrega al cliente.

Respecto de los procesos de entrega atenderemos a dos tipos:

- a. Ordinario: No requiere justificante de entrega
- b. Certificado o con valor declarado: Requiere justificante de entrega

El artículo 9 del Real Decreto 1829/1999 contempla la casuística de la imposibilidad de entrega del envío al destinatario o autorizado, por haber sido rehusado, no retirado en los plazos que establezca el operador postal o resulte imposible por cualquier causa. El operador podrá optar entre devolver a éste el envío o comunicarle, por cualquier medio reconocido en derecho, las indicadas circunstancias optativas y pueda manifestar expresamente si opta por su recuperación o por la modificación de la dirección postal.

Este caso que, la mayoría de las veces supone un nuevo reparto, será considerado en el modelo por su trascendencia en los costes operativos, con la identificación:

- c. Envío no entregado

4.4 Medios de distribución (en función de)

Como ya se ha comentado, el presente estudio se circunscribe a compañías de distribución privadas que presten su servicio apoyado en transporte con flota de vehículos de tracción propia.

Para la definición de la flota necesaria y características técnicas de la misma que permita cumplir el servicio, se tendrán que combinar diversos parámetros restrictivos, a saber:

- Número de envíos a cubrir y la consiguiente definición de cada área de reparto
- Condiciones especiales de los envíos (dimensiones, peso, conservación, temperatura, manipulación, etc)

- Condiciones especiales del área de reparto en cuanto a dificultad de accesos o descarga
- Prioridad del envío – Servicios urgentes
- Necesidad estacional de nodos intermedios por razones de prioridad o capacidad de vehículos para cubrir en una jornada (o ciclo) el área de reparto asignada.

Atendiendo a la variabilidad de las restricciones expuestas y considerando la tipología de compañía a la que se circunscribe el estudio en un entorno interurbano y urbano, se van a establecer tres tipos de vehículos que se reseñarán como:

1. Furgón de gran capacidad (<1500kg) – Entorno interurbano: $V_{med} = 40 - 60$ km/h
2. Furgoneta mediana-pequeña (<1000kg) – Entorno interurbano y urbano: $V_{med} = 40 - 60$ km/h
3. Motocicleta dotada de cofre – Entorno urbano (servicio urgente): $V_{med} = 30 - 40$ km/h

Por razones de simplicidad, en el modelo no se consideran vehículos especiales, como podrían ser frigoríficos. No obstante, la solución pasaría en cualquier caso por adicionar una variable.

4.5 Envíos – oferta de servicios

Cada operador o compañía distribuidora dispone de una oferta de servicios para satisfacer las demandas de sus clientes y que es tanto más amplia en función de la homogeneidad de sus clientes. Por ello, se van a adoptar una serie de variables que, aunque pretenden abarcar todo el abanico de un operador genérico, no están exentas de variabilidad en función de la especificidad del operador concreto para el que se desarrolle el modelo.

No obstante, se hace la reserva de que, por simplicidad, no se van a considerar servicios que excedan el territorio nacional de España en la medida que, sin bien la Normativa Básica en el ámbito europeo está homogeneizada para sus estados, hay aspectos específicos que los diferencian y que sería necesario considerar. También hay que recordar que el estudio se circunscribe a los problemas de rutas de transporte en la fase final del proceso de distribución, es decir el transporte desde el centro logístico o de distribución hasta la entrega al cliente.

La oferta de servicios se puede estructurar atendiendo a las siguientes variables:

- Por ventanas horarias. Requerimiento exigido por el cliente que solicita que la entrega se realice en una franja horaria determinada.
- Por clientes preferentes. Responde a políticas de marketing seleccionando el envío de forma preferencial en la entrega en función de la catalogación del cliente como preferente.
- Por prioridad de entrega. En esta categoría se incluirán los clientes preferentes y los requerimientos de entrega urgente solicitados por el cliente.
- Por necesidades especiales de aseguramiento. A requerimiento del cliente se pueden solicitar seguros especiales que complementen la oferta obligatoria establecida por la normativa.
- Por otras condiciones específicas del envío y que respondan a excesos como las especificaciones standard definidas por la compañía (exceso de volumen, exceso de peso, etc.).

Los servicios, a los efectos del modelo genérico que se plantea en el presente estudio y atendiendo a las variables descritas, se han catalogado en los seis grupos siguientes:

1. Envío ordinario

Entrega personalizada sin acuse de recibo durante la jornada de reparto. Entrega en locker del destinatario.

2. Envío preferente

Entrega personalizada con acuse de recibo en ventana horaria determinada por el cliente. Entrega al destinatario o autorizado.

3. Envío urgente

Entrega personalizada con acuse de recibo en la jornada de reparto antes de una hora determinada: v.gr. las 8:00 am. Entrega al destinatario o autorizado.

4. Envío seguro

Entrega preferente asegurada con declaración de valor por encima del aseguramiento normativo. Entrega al destinatario o autorizado.

5. Envío especial

Envío seguro fuera de las especificaciones reguladas o estandarizadas debido a su peso, dimensiones o requerimientos de manipulación. Puede requerir un medio de transporte especial: por ejemplo, refrigerado, con seguridad o con plataforma de descarga. Entrega al destinatario o autorizado.

6. Envío interno

Envío a nodo intermedio por razones de operatividad de la compañía para ser recogido por vehículo en ruta durante la jornada y culminar su entrega al cliente final. Sus envíos se implementarán en las categorías 1 a 4.

Las categorías 1 a 4 estarán definidas para envíos catalogados como standard por la compañía, para lo que habría que definir cuáles son las condiciones standard, por ejemplo, peso máximo, dimensiones máximas o condiciones de manipulación sin requerimientos especiales por fragilidad, posición o conservación.

Para desarrollar completamente la oferta a efectos tarifarios no cabe duda de que cada una de las categorías definidas podrá subdividirse en tramos en función del peso y/o dimensiones del envío o en su caso en las características especiales del mismo. Esta subdivisión no es objeto de este estudio.

4.6 Puntos de entrega

Descrito el proceso de entrega con su variabilidad en el apartado 4.3 se define en este apartado los puntos de entrega que se van a considerar en el modelo y que de manera general se consideran en una compañía de distribución genérica.

En las compañías de distribución de forma general opera la entrega personalizada y con requerimiento de justificante. No obstante, cada vez más, por razones de operatividad y para sectores homogéneos como puede ser el bancario o las oficinas de farmacia el reparto se hace mediante puntos de entrega en buzones blindados individuales para cada cliente previo concierto, lo que amplía la ventana de entrega y no se requiere la presencia del destinatario o autorizado, es decir se realiza la entrega fuera del horario comercial o de oficina y de forma segura. De la misma manera, aunque no es habitual, se pueden requerir los servicios para entrega concentrada o masiva en casilleros domiciliarios que no exigen la firma de justificante del destinatario; tal es el caso de servicios de publicidad postal personalizada.

Los puntos de entrega que se van a considerar en el modelo del presente estudio se pueden clasificar en:

- Envíos de entrega individual:
 - Ordinario: No requiere justificante – Entrega en buzón o locker
 - Certificado o con valor declarado: Requiere justificante – Entrega personalizada

- Envíos concentrados ordinarios: Casilleros domiciliarios – No requiere justificante

4.7 Áreas de reparto

El modelo tiene que ser capaz de determinar las áreas de reparto a satisfacer por cada repartidor en la jornada previamente definida y con los requerimientos exigidos por cada cliente. Las áreas de reparto se definen cada vez que se resuelve el problema y pueden variar en el mismo día si se ha programado más de un reparto.

Combinando todas las variables ya expuestas, se pueden definir zonas geográficas con una ruta que dé servicio a un número de envíos determinado en función del medio asignado, del tipo de punto de entrega, del tipo de envío y de otras variables que habrá que considerar y que influyen significativamente en el tiempo necesario para cumplir la totalidad del servicio en el área de reparto definida, como pueden ser las restricciones horarias para el reparto o el tráfico en el área de reparto en la hora a la que esté previsto realizar la entrega.

Las herramientas de planificación de rutas actuales suelen incluir modelos robustos de predicción del tráfico al calcular el tiempo de viaje entre dos puntos. Lo normal es encontrar modelos simples que solo dependen de la hora del día, independientemente de dónde se encuentra el repartidor en la ciudad. Sin embargo, esto es insuficiente ya que el tráfico depende en gran medida de la hora del día, del día de la semana, la ubicación en la ciudad y la dirección de conducción. Así, por ejemplo, a las 8:00 am el tráfico en la M-30 de la ciudad de Madrid, no es el mismo que en el entorno del Aeropuerto.

El modelo se construye a partir de:

- La hora del día
- La ubicación dentro de la ciudad
- La dirección hacia donde se dirige

Esto le permite predecir con precisión el tiempo de traslado entre dos puntos cualquiera y de esta manera entregar una planificación óptima.

El tráfico evoluciona a medida que pasan las horas a través de toda la ciudad y se propaga por la mañana desde las áreas residenciales hacia el centro. A la hora de la comida, vemos que el tráfico más alto se encuentra en el centro histórico de la ciudad. Por lo tanto, la herramienta de planificación evitaría esta área a esta hora; en caso de que fuera factible dada las restricciones comerciales de accesos que se impongan al modelo como puede ser la reciente normativa de Madrid Central. Alrededor de las 18:00 hay un pico de tráfico alrededor de las áreas comerciales y el centro histórico de la ciudad, siempre salvando las normativas especiales que por razones de contaminación se imponen a determinadas áreas y que el modelo debe contemplar.

Hoy día existen herramientas que permiten incluir el tráfico en la aplicación mientras se realiza la optimización, pues dicha información es facilitada por las administraciones en tiempo real.

Estimado el tráfico en cada tramo de la ruta prediseñada por el modelo para el área de reparto a la hora prevista del mismo en cada tramo, se corrigen los tiempos necesarios para la prestación del servicio y en su caso se rediseña la ruta considerando alternativas.

Así se van a considerar las siguientes variables:

- Número de tramos en los que se divide la ruta en función del tráfico a la hora prevista del reparto.
- Nivel de tráfico en función de su intensidad; supondrá una corrección de tiempos en función del nivel. Se definen tres niveles: ligero, denso y congestión.

4.8 Asignación de valores

En los apartados siguientes y para las variables descritas se van a asignar los tiempos y capacidades que responderán al problema genérico planteado y que son indispensables para la implementación del modelo matemático. Hay que señalar que se van a asignar unos valores subjetivos y que responden a la generalidad de este estudio.

Asignación de tiempos

Medios de distribución.

Velocidades empleadas por los medios de distribución en condiciones normales de reparto (Vmed = Urbano/SemiUrbano-rural):

- | | |
|---------------------------------------|-------------------|
| ○ Reparto en furgón (<1500kg) | Vmed = 40/60 km/h |
| ○ Furgoneta mediana-pequeña (<1000kg) | Vmed = 40/60 km/h |
| ○ Motocicleta dotada de cofre | Vmed = 30/40 km/h |

Acceso a Puntos de entrega.

Los tiempos de acceso a los puntos de entrega considerados serán:

- Envíos de entrega individual: No se tendrá en cuenta ningún tiempo al estar situados al paso del repartidor, en este caso sólo se tendrá en cuenta el tiempo de reparto.
- Envíos concentrados ordinarios: Tiempo medio de 2 minutos

Tiempos de reparto en los Puntos de entrega:

- Envíos de entrega individual:
 - Ordinario: No requiere Justificante – Entrega en buzón o locker: 3 minutos
 - Certificado o con valor declarado: Requiere justificante – Entrega personalizada: 6 minutos
- Envíos concentrados ordinarios: Casilleros domiciliarios – No requiere justificante: 3 seg/envío

Niveles de tráfico.

Los tiempos empleados en cada ruta se corregirán en función de los niveles de tráfico definidos en cada tramo de la misma atendiendo a la siguiente distribución:

- Tráfico ligero: 0%
 - Tráfico denso: 30%
 - Tráfico congestionado: 50%
- (% de reducción de la velocidad media considerada según el medio en el tramo afectado)

Asignación de Medidas, Volúmenes o Tamaños

Medios de distribución.

- Reparto en furgón (<1500kg): 12m3: 2x2x3m: capacidad útil 70%
- Furgoneta mediana-pequeña (<1000kg): 4m3: 1,2x1,6x2,2m: capacidad útil 70%
- Motocicleta dotada de cofre: dimensiones útiles 490x490x350 cm

Envíos (Sobres y Paquetería).

- Normalizados - Standard:
 - Tamaño máximo: 30x20x10 cm
 - Peso máximo: 3 kg
- No Normalizados:
 - Dimensión máxima: largo 100 cm / ancho = 50%largo
 - Peso máximo: 20 kg

4.9 Conclusiones: Particularización para una empresa de distribución farmacéutica

Como se ha visto en los apartados anteriores el abanico de variables a considerar en el Estudio y planteamiento del Modelo general es muy amplio pues lo es también la casuística.

Es evidente que dichas variables deben ajustarse y redefinirse cuando el modelo se particulariza para una compañía de distribución concreta.

El objetivo del presente estudio no es contemplar todas las variables relacionadas en los apartados anteriores, y que obedecería a un planteamiento de máximos, ya que no se dispone de un software libre con capacidad para su operación. Por ello, en este caso, se ha realizado una selección de las variables, particularizando el modelo para una empresa de distribución de medicamentos con las características que presentan las empresas mayoristas del sector presentes en el mercado español. Esta simplificación, que como se ha mencionado solo obedece a la falta del software libre adecuado, no resta significado al estudio en la medida que el modelo puede extenderse a las variables que se deseen si la disponibilidad del software lo permite.

La selección de variables y sus características que se aplicaran al software seleccionado se resumen a continuación, y responden al problema concreto descrito de obtener la optimización de las rutas de reparto bajo escenarios concretos que se describen en el Capítulo 7 (página 55).

En la Tabla 1 se exponen las variables seleccionadas en las que cabe reseñar lo siguiente:

- a. Se establecen las siguientes variables de entrada que son los inputs del programa informático:
 - i. Puntos de entrega: localización GIS de los puntos de entrega.
 - ii. Frecuencia de reparto: Un reparto diario.
 - iii. Medios de distribución: Un solo tipo de vehículo de las características “furgón (12m3) 1500 kg con 70% de utilización de carga”.
 - iv. Jornada laboral útil: Periodo máximo disponible para realizar todo el reparto – se define en cada escenario.
 - v. Tipo de envío – nivel de servicio: Se describen dos tipologías, una ordinaria y una premium que responde a la entrega en una ventana de tiempo determinada definida en el escenario.
 - vi. Tráfico en el área de reparto: Se consideran los niveles de tráfico que el software aplica en función de la tecnología GPS para la zona en cada tramo.
- b. Los escenarios contemplados consideran que hay un repartidor por vehículo y por ruta.
- c. Para entender que representa escasa relevancia en nuestro modelo, o ser fácilmente adaptables a un software comercial en caso de exigirse, no se han considerado las siguientes variables:
 - i. La tipología de envío en cuanto a tamaño y peso
 - ii. Condiciones especiales de entrega (lockers, acuse de recibo, etc.)
 - iii. Condiciones especiales de transporte (frigorífico)

SELECCIÓN DE VARIABLES/CONDICIONES CONTORNO			
VARIABLES MODELO GENERAL	SECTOR FARMACIA	TIPO CC/V	OBSERVACIONES
PUNTOS DE ENTREGA DEFINIDOS POR SUS COORDENADAS UTM	SI	VARIABLE DE ENTRADA	
FRECUENCIA DE REPARTO (NºREPARTOS/DIA)	SI	VARIABLE DE ENTRADA	SE CONSIDERA UN REPARTO POR DIA
JORNADA LABORAL - PERIODO DISPONIBLE RUTA	SI	VARIABLE DE ENTRADA	CONDICIONA EL NºRUTAS=REPARTIDORES=VEHICULOS
MEDIOS DE DISTRIBUCION - TIPO VEHICULO	SI	VARIABLE DE ENTRADA	SE CONSIDERA UN SOLO TIPO DE VEHICULO
TIPOLOGIA DE ENVIO POR PRIORIDAD ENTREGA-NIVEL DE SERVICIO (PREMIUM)	SI	VARIABLE DE ENTRADA	SE DEFINEN COMO INPUT ENTREGAS A TIEMPO FIJO
TRAFICO EN EL AREA	SI	VARIABLE DE ENTRADA	LO DA TECNOLOGIA GPS VINCULADA AL SOFTWARE
COSTE POR KM	SI	VARIABLE DE ENTRADA	SE DEFINE EN FUNCION DEL ENTORNO (RURAL/URBANO)
NUMERO REPARTIDORES	SI	VARIABLE	Nº RUTAS=REPARTIDORES=VEHICULOS
AREAS/RUTAS DE REPARTO POR REPARTIDOR - RUTA	SI	VARIABLE	Nº RUTAS=REPARTIDORES=VEHICULOS
NUMERO VEHICULOS POR TIPO	SI	VARIABLE	Nº RUTAS=REPARTIDORES=VEHICULOS
PUNTOS DE ENTREGA POR AREA/RUTA	SI	VARIABLE	
TIPOLOGIA ENVIO POR CONDICION DE ENTREGA (CON ACUSE,LOCKERS,ETC)	NO	X	
CARACTERISTICA ENVIO POR TAMAÑO(CARTA/PAQUETE/ETC)	NO	X	
CARATERISTICA ENVIO POR CONDICIONES ESPECIALES TTE(TEMPERATURA),ETC	NO	X	

Tabla 1 - Variables presentes en el problema estudiado

Con las variables de entrada descritas, el software proporcionará el número de repartidores necesarios para completar el reparto, así como las rutas óptimas en cuanto a tiempo que sirven a los puntos de entrega definidos. Todo ello considerando condiciones especiales como las ventanas de tiempo exigidas en cada uno de los escenarios planteados. En el estudio se plantea una sola tipología de vehículo y con una capacidad determinada, así como una ventana de tiempo que rige en cada uno de los escenarios que se van a estudiar y que se definen en el Capítulo 7 (página 55). Para las condiciones especiales de transporte, como sería el caso de la necesidad de envíos en condiciones de temperatura, lo que requeriría de vehículos especiales refrigerados, se considera que quedaría cubierto en el modelo por un escenario exclusivamente con este tipo de vehículo y esta tipología de envío especial.

Por otro lado, se analiza también en el Capítulo 7 (página 55) el escenario que se va a denominar “Servicio a clientes Premium” donde la entrega se prioriza para unos clientes determinados en una ventana de tiempo forzada, respecto del resto de clientes. Por ejemplo, estos clientes deben ser servidos antes de las 9:00 am. Con ello, por comparación, podemos estimar el coste que supondría este servicio adicional.

Por último, el análisis del problema y sus soluciones va a permitir establecer una comparativa entre la operativa de una empresa de distribución en un entorno urbano y un entorno rural.

CAPÍTULO V: LOS PROBLEMAS DE RUTAS (VRP)



5 Los problemas de rutas (VRP)

5.1 Introducción

El problema de la planificación de las rutas de transporte (VRP, Vehicle Routing Problem) es uno de los problemas de optimización combinatoria más importantes y ha sido ampliamente estudiado, con muchas aplicaciones en el mundo real, en la logística de distribución y del transporte. Desde su planteamiento en 1959 por Dantzig y Ramser, quienes realizaron por primera vez una formulación del problema para una aplicación de distribución de combustible, el estudio del problema VRP ha generado numerosos trabajos de investigación y se han desarrollado diversas variantes de este. [WIKI19]

El problema que se ha de resolver se puede definir, de una forma básica, como alcanzar el objetivo de minimizar la distancia total recorrida por un conjunto de vehículos ubicados en un almacén central, para satisfacer la demanda de un determinado conjunto de clientes. Cada cliente tiene una demanda conocida y cada vehículo sirve una única ruta durante el periodo de planificación, teniendo ésta que comenzar y finalizar en el depósito central. Sumado a esto, cada cliente debe ser visitado una única vez.

Es evidente que la distribución de productos desde determinados depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de los sistemas logísticos, y su adecuada planificación produce considerables ahorros.

Este problema es una generalización del Problema del Agente Viajero (TSP, Travelling Salesman Problem) y el de empaquetamiento en compartimentos (Bin Packing Problem, BPP) muy conocidos y ampliamente estudiados y que se describen en los apartados siguientes. [HERN07]

En el caso de los Problemas de Rutas de Vehículos (VRP), se realizará un estudio más detallado de las distintas variantes que han surgido de él. Todo esto para encontrar la mejor solución al problema propuesto en este proyecto para la distribución farmacéutica.

5.2 Problema TSP

“Si un Agente parte de una ciudad y las distancias a las ciudades que tiene que visitar son conocidas, ¿cuál es la ruta óptima que debe seguir para visitar todas las ciudades y volver a la ciudad de origen?” Así se podría definir de manera simple el Problema del Agente Viajero conocido por sus siglas TSP (del inglés Traveling Salesman Problem). A simple vista parece un problema fácil de resolver, pero a medida que aumentan las ciudades a visitar, la complejidad de la resolución se multiplica.

La solución a este problema tiene por objetivo encontrar una ruta completa que pase por todos los puntos que forman la red, visitándolos una única vez para finalmente volver al punto inicial. Sumado a esto, la ruta propuesta debe minimizar la distancia total recorrida o el tiempo de viaje.

Según la literatura, fue durante los años 1930s, cuando se comenzó a estudiar sobre el problema. Fue Karl Menger quien enunció una de las propiedades más importantes de este problema sobre su complejidad de resolución, pues se trata de un problema NP-duro. Para encontrar una solución al TSP propuso el Algoritmo del vecino más próximo, explorando las distancias hasta el resto de los puntos y optando por la menor de ellas.

A partir de este punto el problema fue creciendo en popularidad y fueron muchos los investigadores los que se propusieron resolver el problema de formas distintas usando diferentes algoritmos. Destaca la resolución llevada a cabo en 1954 por Dantzig et al. “Solution of a large-scale traveling salesman problem”. Donde se resuelve el problema del viajante para 49 ciudades.

Para ello se utilizó el método de programación lineal de enteros dando lugar a la técnica nueva de planos cortantes.

Formulación matemática

El TSP puede también ser definido según la teoría de grafos:

Sea $G = (V, A)$ un grafo completo, donde $V = 1, \dots, n$ es el conjunto de vértices y A es el conjunto de arcos. Los vértices $i = 2, \dots, n$ se corresponden con los clientes a visitar y el vértice 1 es la ciudad de origen y destino. A cada arco (i, j) se le asocia un valor no negativo C_{ij} , que representa el coste de viajar del vértice i al j . En este caso el coste representará la distancia entre las ciudades pues se busca minimizar la distancia total. El uso de los arcos (i, i) no está permitido, por lo que se impone un coste infinito $C_{ii} = \infty$ para todo $i \in V$ de forma que nunca se utilizará dicho arco.

Un grafo G es un conjunto de parejas ordenada $G = (V, A)$ en la que V es un conjunto de vértices no nulo y A es un conjunto de aristas que consta de pares de vértices.

La solución que se debe encontrar debe empezar y acabar en la que se denomina ciudad 1, debe visitar una sola vez cada ciudad y debe minimizar la distancia total. Para la resolución se define la variable de decisión X_{ij} para todo $(i, j) \in A$, siendo A el conjunto de aristas (arcos entre dos nodos). La variable de decisión toma valor 1 si el arco (i, j) si el arco se ha visitado y forma parte de la solución y 0 en el resto de los casos. De esta manera, el problema de programación lineal asociado al *Problema del Agente Viajero* consiste en minimizar la función objetivo [VERA17]:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta las restricciones:

$$\sum_{j \in \delta^-(i)} X_{ij} = 1, \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(i)} X_{ij} = 1, \forall i \in V \quad (3)$$

$$\delta^-(i) = a = (j, i) \in A \quad (4)$$

$$\delta^+(i) = a = (j, i) \in A \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \forall (i, j) \in A \quad (6)$$

Las dos primeras restricciones sirven para asegurar que solo un arco puede entrar en un vértice (2) y que solo un arco puede salir de un vértice (3). Para impedir que se formen subcircuitos y que únicamente un camino cubre todos los puntos a visitar es necesario añadir las siguientes restricciones:

$$A(W) = a = (i, k) \in A : i, j \in W, \forall W \subset V \quad (7)$$

$$\delta^-(W) = a = (i, j) \in A : i \notin W, j \in W \quad (8)$$

$$\delta^+(W) = a = (i, j) \in A : i \in W, j \notin W \quad (9)$$

Así, las restricciones de ruptura de subcircuito pueden escribirse de la siguiente manera:

$$\sum_{(i,j) \in A(W)} X_{ij} \leq |W|, \forall W \subset V \quad (10)$$

Que es equivalente a:

$$\sum_{\substack{i \in W \\ j \notin W}} X_{ij} \geq 1, \forall W \subset V \quad (11)$$

Esta restricción indica que para todo subconjunto W de los nodos, deber haber al menos un arco que salga del subconjunto.

Otra forma de evitar la posibilidad de que dos o más caminos cubran de forma conjunta todas las ciudades es a través de la creación de nuevas variables de decisión. Se define las variables $u_i, \forall i \in V$, esta variable sirve para almacenar el orden de visita de las ciudades i . La variable u_i tiene un valor 1 para $i=1$, es decir en la ciudad inicial del recorrido. De acuerdo con esto la variable u_i solo

tomará valores hasta n , siendo n el número de vértices. Para completar el problema se debe añadir a las restricciones (2) y (3) la siguiente:

$$u_i - u_j \leq (n - 1)(1 - X_{ij}) - 1, \forall (i, j) \in A, j \geq 1 \quad (12)$$

Con esto ya tendríamos definido el problema del agente viajero en programación lineal.

5.3 Problema BPP

El segundo problema anterior al VRP se podría plantear de la manera siguiente: “Si queremos ir de viaje y solo disponemos de una maleta para meter todas nuestras cosas, ¿cómo metemos todas ellas en la maleta para poder aprovechar al máximo el espacio?”

El Problema de Empaquetamiento (Bin Packing Problem, BPP) es una generalización del Problema de la Mochila (Knapsack problem, KP). Dada su elevada aplicación en multitud de situaciones en la vida real, se trata de uno de los problemas más estudiados como ocurre con el TSP y por extensión con el VRP. La diferencia con el problema de la Mochila es que en el BPP se pueden contemplar diferentes compartimentos dentro de una misma cavidad.

Formulación matemática

El Problema del Empaquetamiento en Compartimentos se puede plantear así: Sean n objetos y un único compartimento, ¿de qué manera hay que colocar los objetos en el compartimento para aprovechar el espacio de la manera óptima? El objeto i tiene un peso o volumen w_i y un precio P_i , el compartimento una capacidad de carga W . Si una fracción $X_i, 0 \leq X_i \leq 1$, del objeto i es colocada en el compartimento, entonces se consigue una ganancia $P_i \cdot X_i$. [VERA17]

El objetivo es maximizar la ganancia del compartimento de capacidad W con los objetos i .

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot X_{ij} \quad (13)$$

Bajo:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot X_{ij} \leq W \quad (14)$$

Donde:

$$0 \leq X_i \leq 1, P_i > 0, w_i > 0, 1 \leq i \leq n \quad (15)$$

5.4 Problema VRP

El Problema de Rutas de Vehículos (Vehicle Routing Problem, VRP) es la generalización del TSP y a su vez uno de los problemas más estudiados en Operaciones. La primera definición de este problema tiene fecha de 1954 de la mano de Dantzig y Ramser y establece que el objetivo de este problema consiste en obtener el conjunto óptimo de rutas que debe emplear una flota de vehículos para poder visitar un determinado número de clientes. Al igual que ocurre con los dos problemas presentados con anterioridad, se trata de un problema de gran utilidad cuando se aplica a situaciones reales, y como es de esperar también presenta una considerable dificultad. Para este tipo de problemas, cuando el volumen de clientes es excesivamente elevado, tal y como ocurre en el caso de este proyecto, en lugar de obtener soluciones exactas con una gran carga computacional, es preferible conseguir soluciones aproximadas obtenidas sin grandes demoras y que resulten lo más próximas posibles a la solución óptima.

Al resolver un VRP se quiere encontrar la red de rutas de reparto que son óptimas para abastecer la demanda conocida de diferentes clientes partiendo de un almacén (o varios). El óptimo de la solución se consigue buscando el coste mínimo de operación.

Como se deduce de su definición, no sólo puede utilizarse el VRP en problemas relativos al reparto y recogida de productos, sino incluso en otro tipo de problemas enmarcados en la

distribución, la logística y el transporte. Como describen Loth y Vigo [LOTH14], el transporte de bienes forma parte de numerosos sistemas de producción, de los que representa entre el 10 y el 20% del coste final del producto. Los autores concluyen que el uso de procedimientos como el VRP resulta en un ahorro de entre el 5 y el 20% del coste total de la operación.

Modelación y formulación

Una vez se conocen los clientes, demandas y distancias entre los mismos, el objetivo del problema reside en encontrar un conjunto de rutas de coste mínimo que cumplan lo siguientes extremos: (1) que cada ruta pase por cada cliente una sola vez y (2) que el inicio y fin de toda ruta sea en el almacén.

Retomando la formulación arriba indicada de TSP, para definir el VRP habría únicamente que añadir lo siguiente:

El grafo G en el caso del VRP es un grafo dirigido, donde la matriz de costes C resulta asimétrica, puesto que recorrer un arco entre dos puntos i y j no conlleva el mismo coste y duración en ambos sentidos, si este fuera el caso, la matriz G pasaría a ser simétrica con $C_{ij} = C_{ji}$ para todo $(i, j) \in A$.

5.4.1 Variantes del problema VRP

Hasta el momento se han propuesto varias versiones del problema clásico de VRP, con el objetivo de enfocar los contextos reales de los diversos problemas existentes. Estas variantes son establecidas mediante la adición de variables y restricciones suplementarias al problema clásico.

Ya son cuantiosas las variables desarrolladas para resolver la casuística relacionada con el VRP [GOLD08]. En este proyecto únicamente mencionaremos las más relevantes, enfocando en análisis en aquellas con directa aplicación en el estudio desarrollado en el Capítulo 7 (página 55).

CVRP (Capacitated VRP)

El problema CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem) es la variante del VRP en la que se añade como condición que la flota fija de vehículos tiene una capacidad fija que en ningún caso se debe sobrepasar. La suma de la demanda de los diferentes clientes que cada vehículo abastece en su ruta no debe superior a la capacidad útil para la carga del vehículo.

Los últimos estudios de esta variante no solo tienen en cuenta la capacidad de la flota en cuestión, sino también la disposición de la mercancía dentro de los maleteros de los vehículos.

MDVRP (Multi-Depot VRP)

En algunos casos, el problema puede contar con múltiples almacenes a partir de los cuales se debe abastecer a los clientes. La flota existente en cada almacén es conocida y debe volver al mismo almacén al finalizar el reparto.

Puede ocurrir que la distribución geográfica de los clientes sea tal que estos se encuentren agrupados en torno a los almacenes de la compañía. Si este es el caso, se pueden analizar y estudiar los problemas de forma independiente. Es en este contexto que se desarrolla el presente estudio, pues se analizarán por separado cada uno de los centros de distribución de los que se conocen los datos. En cambio, si la distribución geográfica de los clientes no es determinante, se resolverá un MDVRP completo y la solución asignará los clientes a los almacenes.

PVRP (Periodic VRP)

Si se deseara ampliar el horizonte de planificación del VRP a más de un día, el problema pasaría a ser un VRP periódico. Ante esta situación, los vehículos no deben imperativamente volver al almacén de salida al final de cada día, solo debe hacerlo al final del periodo de planificación establecido. En los PVRP los clientes deben ser visitados al menos una vez cada uno de los días que dura el periodo.

SDVRP (Split Delivery VRP)

Cuando se sobrepasa la capacidad de un vehículo con el pedido de un único cliente resulta esencial que dicho cliente pueda ser visitado en más de una ocasión y por más de un repartidor. Esta variante del problema VRP se caracteriza por sus entregas divididas. El cliente será atendido por varias rutas con el objetivo de satisfacer su demanda para el periodo dado.

Este tipo de variante presenta mayor complejidad a la hora de obtener una solución óptima en comparación con el problema clásico.

VRPPD (VRP with Pick-Up and Delivering)

Esta variante del VRP clásico contempla la posibilidad no solo de entregar mercancía en los nodos, sino también de poder recoger productos que los clientes deseen devolver. En este caso, la capacidad disponible del vehículo cobra una importancia adicional, pues debe haber espacio suficiente para la mercancía a recoger en los clientes que lo soliciten. El orden de visita de los clientes se establecerá de acuerdo con el conjunto de restricciones que se forma al añadir esta nueva condición de capacidad a las restricciones clásicas ya presentes en el problema básico. El objetivo será encontrar las rutas óptimas, a pesar de que prestar este servicio puede llevar a una mala utilización de la capacidad útil, un aumento de las distancias recorridas o a ampliar la flota existente.

Para la resolución de este tipo de problemas se suele permitir que los clientes sean visitados más de una vez para poder encontrar una solución con cierta rapidez. También se puede establecer que las entregas deben realizarse antes que las devoluciones por los vehículos en reparto. El objetivo sigue siendo minimizar el número de rutas y el coste de la operación, siempre respetando la condición de capacidad de los vehículos y volviendo con las mercancías recogidas al almacén de partida.

VRPB (VRP with Backhauls)

El problema VRPB es la continuación del VRPPD (Pick-Up and Delivering) en el cual se obliga a la solución a que se visiten los puntos de entrega antes que los puntos de devoluciones en términos de orden de ruta. La capacidad de la flota sigue siendo muy importante, pues se debe dimensionar a la vez teniendo en cuenta los bienes a entregar como los bienes a recoger.

Por lo tanto, la diferencia principal con el VRPPD es que la restricción del orden de visitas se vuelve estricta dadas las cantidades de entrega y recogida conocidas.

No obstante, la condición de que cada cliente debe ser visitado por una única ruta debe cumplirse.

VRPTW (VRP with Time Windows)

El VRPTW se diferencia del VRP en que a cada uno de los clientes se les asigna una franja horaria en la que deben ser servidos de la cantidad que han solicitado. Es la variante que más interés tiene en el presente proyecto junto con las restricciones de capacidad (CVRP). Al objetivo perseguido con todas las variantes de minimizar el número de vehículos en ruta se le añade la minimización de los tiempos de espera que se deben asumir para cumplir el periodo de entrega de cada cliente.

Si el cliente es atendido fuera de las horas preestablecidas de su ventana de tiempo la solución resulta inviable. La llegada del repartidor y su partida debe realizarse dentro de la ventana de tiempo conocida de antemano, si el vehículo de reparto llega con antelación, esto generará un tiempo de espera que conllevará un coste asociado.

Es esta tipología del problema clásico del VRP la que ha sido más estudiada a lo largo de los años, buscando algoritmos para obtener soluciones lo más próximas del óptimo posible. Su gran número de aplicaciones en el mundo real, y más aún hoy en día con el comercio electrónico hacen que sea la variante del problema más estudiada generalmente combinada con otras.

Las restricciones de las ventanas de tiempo (TW) se pueden considerar duras o suaves (violables). En el caso de ventanas de tiempo duras, si un vehículo llega demasiado temprano a realizar la entrega, se le obliga a esperar al cliente hasta que éste esté listo para ser atendido, aunque no se

permite llegar más tarde del horario que puede ser atendido. Para el caso de ventanas de tiempo suaves (violables), los horarios de los clientes pueden ser violados en contraprestación de una penalización en la función objetivo. El caso de las restricciones violables puede ser interesante a estudiar comparando el coste de penalización con el ahorro del coste de operación.

5.4.2 Formulación matemática

A continuación, se va a presentar la formulación matemática de un problema tipo VRPTW [NASS10]. A modo de recordatorio, el VRPTW no solo quiere minimizar el número de vehículos en reparto, sino también el tiempo de viaje, el tiempo de espera y la distancia total recorrida.

Para resolver un problema de VRPTW hay que definir una flota homogénea de vehículos denotada por V , un grupo de clientes C (formado por N clientes) y un grafo orientado $G = (V, A)$. El grafo tiene $|C|+2$ vértices, en el cual los clientes están numerados de $1, 2, \dots, n$ y el almacén se representa con el vértice 0 (para el almacén de salida) y $n+1$ (para el almacén de retorno). El conjunto de aristas se denota con A y representa las conexiones entre el almacén y los clientes y entre los clientes entre sí. Ningún arista debe terminar ni en el vértice 0 ni en el vértice $n+1$. A cada arista (i, j) con $i \neq j$ se le debe asociar un coste c_{ij} y un tiempo de viaje t_{ij} que debe tener en cuenta el tiempo de servicio del cliente i .

Cada vehículo tiene una capacidad q y la demanda de cada cliente es conocida y denominada con $\hat{q}_i$. La ventana de tiempo de cada cliente i se denota con $[a_i, b_i]$. El vehículo que debe visitar a ese cliente debe llegar antes de b_i . Puede llegar antes de a_i pero no podrá comenzar el servicio antes de dicho momento. El almacén también cuenta con una ventana de tiempo $[a_0, b_0]$. Los vehículos que salen del almacén no podrán hacerlo antes de a_0 y deben llegar antes de b_{n+1} .

Las variables $q, a_i, b_i, \hat{q}_i, c_{ij}$ son números enteros no negativos, mientras que $\widehat{d}_{ij}$ es un número entero positivo. Se asume que se satisface la desigualdad triangular para las variables c_{ij} y $\widehat{d}_{ij}$.

Las variables de decisión del modelo se denotan con t_{ik} y x_{ijk} . Para cada uno de los arcos (i, j) en los que $i \neq j$, $i \neq n+1$, $j \neq 0$ y para cada vehículo k se define $x_{ijk} = 1$ si y solo si en la solución óptima el camino (i, j) es utilizado por el vehículo k y se define $x_{ijk} = 0$ en el resto de los casos.

La variable de decisión t_{ik} se define para cada nodo i y para cada vehículo k y representa el tiempo en el cual el vehículo k empieza a servir al cliente i . Si el vehículo k no tiene que visitar al cliente i , la variable t_{ik} carece de sentido. Se establece que la ventana de tiempo del almacén comienza en el instante $a_0 = 0$, por lo tanto $t_{0k} = 0$ para todos los vehículos de la flota.

Se quiere conseguir un conjunto de rutas con el mínimo coste de operación, de manera que se obtenga una ruta por vehículo, se visite al menos una vez a cada cliente, que la ruta empiece en el nodo 0 y termine en el nodo $n+1$, y además, deben respetarse las restricciones de las ventanas de tiempo de los clientes y de la capacidad de los vehículos.

El problema de rutas de vehículos con ventana de tiempo se establece matemáticamente como sigue:

$$\text{Minimizar } \sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} \cdot x_{ijk} \quad (16)$$

Sujeta a las restricciones:

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in C \quad (17)$$

$$\sum_{i \in C} \hat{q}_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq q \quad \forall k \in V \quad (18)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1, \forall k \in V \quad (19)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0, \forall h \in C, \forall k \in V \quad (20)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1,k} = 1, \forall k \in V \quad (21)$$

$$t_{ik} + t_{ij} - K \cdot (1 - x_{ijk}) \leq t_{ijk}, \forall i, j \in N, \forall k \in V \quad (22)$$

$$a_i \leq t_{ik} \leq b_i, \forall i \in N, \forall k \in V \quad (23)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, \forall k \in V \quad (24)$$

Las restricciones (17) obliga a que cada cliente sea visitado solo una vez, y la restricción (18) representa la capacidad del vehículo, de manera que no se exceda su capacidad. Las ecuaciones (19), (20) y (21) obligan a que cada vehículo salga del almacén 0, que tras visitar al cliente asignado lo vuelva a abandonar y que finalmente llegue al almacén $n+1$. La desigualdad (22) representa las ventanas de tiempo de forma que ningún vehículo k puede llegar a j antes de $t_{ik} + \widehat{d_{ij}}$ si esta recorriendo el camino de i a j . Por último, la restricción (23) asegura el cumplimiento de las ventanas de tiempo y la restricción (24) es la condición de integralidad.

La formulación matemática aquí presentada se podría completar con más restricciones con el objetivo de poder modelizar un VRP en todas sus variantes. El software que se ha elegido permite simular casi todas las variantes del problema VRP, aunque en el presente proyecto no se utilicen. Es por ello que, se ha incluido en el Anexo A (página 97) el modelo matemático extendido que es continuación del presentado anteriormente.

CAPÍTULO VI: MODELO MATEMÁTICO – ALGORITMO DE RESOLUCIÓN



6 Herramienta de optimización – Algoritmo de resolución

6.1 Introducción

A continuación, se va a presentar la herramienta de optimización que se ha decidido utilizar para el desarrollo del presente proyecto. Desde la perspectiva de un profesional, existen varias barreras para desarrollar un solucionador de VRP. Desarrollar un algoritmo que permita resolver un problema VRP es una tarea compleja y tediosa. La mayoría de los investigadores desarrollan algoritmos en C++ y los códigos resultantes son de gran complejidad. A la dificultad de desarrollar un algoritmo, se le añade el hecho de que los datos de distancia de viaje y duración del mismo deben obtenerse repetidamente de un SIG, debido a su naturaleza dinámica, introduciendo un coste recurrente de adquisición de la información. No es un cálculo directo obtener manualmente el coste de las rutas del vehículo existentes, y mucho menos lo es visualizar y comparar las soluciones ya en funcionamiento con las optimizadas, lo cual es primordial para demostrar el beneficio que aporta la herramienta de optimización.

6.2 Herramienta de optimización: Selección del software

Existen muchas herramientas para la resolución de problemas de optimización de rutas. Los softwares disponibles para las empresas presentan multitud de opciones a la hora de su configuración y están pensados para grandes empresas que buscan soluciones robustas en las que puedan tener en cuenta multitud de restricciones. Estos programas, por lo general, suponen una inversión importante.

En la actualidad existen muchos paquetes de software comerciales para resolver los VRP de las empresas dado el gran ahorro que supone optimizar las rutas de transporte para una empresa de distribución. Al adquirir un software comercial lo idóneo es conseguir integrar el paquete nuevo con el resto de la estructura informática ya existente en la empresa. De esta forma se facilita la operación global al tratar los datos de entrada y salida de una forma conjunta interrelacionando la información. La mayoría de los softwares comerciales son bastante opacos en lo relativo a los cálculos y código interno que utilizan para obtener una solución, las empresas quieren proteger su propiedad intelectual que incluye el algoritmo que han desarrollado ellos mismos antes de comercializar su software. Por otro lado, cada aplicación en el mundo real del VRP tiene necesidades específicas para las cuales el software debe personalizarse, lo que requiere un vínculo constante con la compañía que lo desarrolló, pues ellos son los únicos que conocen su código, saben cómo modificarlo y cómo acceder a la modificación. Por lo general esto se traduce en inconvenientes a la hora de realizar adaptaciones y actualizaciones, pues genera una dependencia de un tercero.

Para este proyecto, puesto que no se cuenta con los recursos necesarios para la adquisición de un software comercial y además la finalidad del estudio tampoco lo requiere, se ha optado por un software libre de código abierto. Se trata de una hoja Excel disponible en la red bajo el nombre de “VRP Spreadsheet Solver” que cuenta con una serie de macros para encontrar una solución óptima.

Existen más softwares con licencias públicas disponibles para la resolución de VRP, este es el caso de “jsprit”, “OptaPlanner” y “SINFONÍA” entre otros. Los dos primeros están programados en lenguaje Java y el último utiliza la programación lineal mixto-entero (MILPs). Por la facilidad de la comprensión del código se ha optado por el “VRP Spreadsheet Solver” pues utiliza Visual Basic para Aplicaciones (VBA) que es el lenguaje de programación de Excel y que resulta fácilmente entendible para un programador de nivel medio.

Al tratarse de un software de licencia libre, “VRP Spreadsheet Solver” supera algunos de los problemas mencionados anteriormente como es el de la opacidad del algoritmo que utiliza, lo que aporta flexibilidad. Además como se trata de una herramienta que utiliza como interfaz Microsoft Excel, la familiaridad está asegurada así como la facilidad de uso. “VRP Spreadsheet Solver” tiene funciones integradas para consultar un servicio web GIS, desde el cual se pueden recuperar las distancias, los tiempos de conducción y los mapas necesarios en la optimización.

El “VRP spreadsheet solver” presenta una gran versatilidad a la hora de modelizar posibles escenarios. Por ejemplo, permite tener en cuenta el tráfico que se estima en el momento en el que se simula el escenario gracias a una conexión activa con Bing Maps. Las distancias y los tiempos calculados gracias a Bing Maps son los propios de un coche, puesto que se considera que el tipo de vehículo empleado tarda el mismo tiempo en recorrer las distancias que un coche al uso, se tomarán por válidos los valores propuestos de tiempo entre dos puntos. La herramienta permite además de la opción “clásica” de entregar mercancía al cliente, la posibilidad de recoger mercancía (VRPPD), aunque para este proyecto esta funcionalidad no resulta necesaria. El solver también permite modelizar los VRPB, es decir, que los puntos de entrega se visiten antes que los puntos de recogida de mercancía.

La herramienta permite definir la ventana de tiempo en la que se debe visitar a cada cliente (VRPTW), los diferentes tipos de vehículos disponibles para el reparto con sus costes asociados y sus capacidades (CVRP), el método de cálculo de las distancias entre dos puntos, la velocidad media de circulación, etc.

No obstante, como este software es una herramienta que se apoya en Excel, la capacidad computacional está restringida y solo permite lanzar la simulación con 200 puntos de reparto. Para una simulación de este tipo el tiempo de cálculo de la CPU se estima de una hora.

Por otro lado, el software no contempla que un pedido pueda ser servido por dos vehículos diferentes al mismo cliente, es decir, “VRP Spreadsheet Solver” no es apto para resolver SDVRP. Este caso podría darse en la realidad del problema estudiado, pero no se va a contemplar en este estudio; en caso de requerirse esta restricción u otras sería necesario la adaptación del software.

La formulación matemática detallada del problema en todas sus variantes (CVRP, VRPTW, VRPPD, y VRPB entre otras) que modeliza el software elegido se encuentra en el Anexo A (página 97).

6.3 El Pseudocódigo del algoritmo de resolución

Se puede considerar que el campo de la investigación del VRP es un campo maduro y hoy día se han desarrollado muchos algoritmos para la resolución de este tipo de problemas. El algoritmo heurístico más conocido es posiblemente “El algoritmo de Ahorros” (Clarke y Wright, 1964) [ERDO17]. Se han propuesto muchos algoritmos metaheurísticos en la última década, los más exitosos son “Adaptive Large Neighborhood Search” (Pisinger y Ropke, 2007), “Iterated Local Search” (Subramanian et al., 2010) y “Genetic Algorithms” (Vidal et al., 2014).

En el caso del “VRP Spreadsheet Solver” se ha optado por implementar una variante de “Adaptive Large Neighborhood Search”, debido a su flexibilidad para acomodar muchas variantes del VRP. A continuación, se expone el pseudocódigo del algoritmo de solución metaheurística. Finalmente se expondrá cómo el algoritmo trata las soluciones inviables, pues en este tipo de problemas pueden suponer una información fundamental para la toma de decisiones.

El algoritmo “Large Neighborhood Search” (LNS) diversifica la búsqueda al eliminar al azar a los clientes de la solución en cuestión, y se intensifica mediante la reinserción de los clientes y la búsqueda local. A continuación se proporciona un pseudocódigo en la Figura 4.

Algorithm 1 LNS algorithm implemented within VRP Spreadsheet Solver.

```

1: procedure LNS(depots, customers, distances, durations, vehicles)
2: Construct an incumbent solution by adding customers to the
   routes, choosing the customer that results in the maximal
   profit increase (equivalently, minimal cost increase) at every
   step
3: Improve the incumbent solution using local search with the EX-
   CHANGE, 1-OPT, 2-OPT, and VEHICLE-EXCHANGE operators
4: Record the incumbent solution as the best known solution
5: repeat
6:   Destroy the incumbent solution by randomly removing ver-
     tices
7:   Repair the incumbent solution heuristically by adding ver-
     tices
8:   Improve the incumbent solution using local search with the
     EXCHANGE, 1-OPT, 2-OPT, and VEHICLE-EXCHANGE operators
9:   if the incumbent solution is better than the best known solu-
     tion then
10:     Record the incumbent solution as the best known solution
11:   else
12:     Replace the incumbent solution by the best known solution
        with probability  $p$ 
13: until time elapsed is larger than the CPU time allowed
14: return best known solution
15: end LNS

```

Figura 4 - Pseudocódigo algoritmo LNS implementado en el software [ERDO17]

El algoritmo LNS construye una primera solución añadiendo clientes a las rutas en función del beneficio máximo obtenido o lo que es lo mismo, al menor coste de operación. Posteriormente se procede a mejorar la solución primera utilizando cuatro operadores de búsqueda locales, a saber, EXCHANGE, 1-OPT, 2-OPT y VEHICLE-EXCHANGE. El operador de EXCHANGE busca todos los pares posibles de clientes en una solución dada y verifica si intercambiarlos daría como resultado un mejor valor de la función objetivo. El operador 1-OPT examina la posibilidad de eliminar a cada cliente dentro de una solución dada y volver a insertarlo en una posición diferente dentro de las rutas para mejorar el valor objetivo. El operador 2-OPT intenta eliminar dos arcos de la solución a la vez, por ejemplo, el arco del cliente a al cliente b y el arco del cliente c al cliente d . Para mantener la viabilidad, agrega el arco de cliente a al cliente d y el arco del cliente c al cliente b , y comprueba si la solución resultante tiene un mejor valor objetivo. Los tres operadores descritos hasta ahora tienen un tamaño de vecindad de $O(|V|^2)$ siendo V el conjunto de vértices de los clientes y de los depósitos del problema. El operador VEHICLE-EXCHANGE intenta intercambiar a todos los clientes en las rutas de dos vehículos con diferentes tipos, tiene un tamaño de vecindad de $O(|K|^2)$ y es particularmente útil para el caso de flotas heterogéneas.

En el paso 7, cuando se quiere “reparar” la solución inicial se emplean dos heurísticas constructivas: inserción “greedy” (en español, empleando el algoritmo voraz) y técnica del “arrepentimiento máximo”. La última heurística se basa en la selección de un cliente, para el cual la diferencia entre el coste de la inserción más barata y el coste de la segunda decisión de inserción más barata es la más grande. Ambas heurísticas se eligen con la misma probabilidad en cada iteración. Cada heurística encuentra una serie de mejores candidatos y elige aleatoriamente entre ellos en cada paso. La probabilidad p de rechazar una solución establecida se establece en el 10% al principio y disminuye linealmente con el tiempo hasta alcanzar el 0% al final del tiempo de cálculo permitido de la CPU.

6.4 El Manejo de la inviabilidad

Cuando se habla de la inviabilidad de una solución, se refiere al caso en que una o más restricciones son violadas por una solución propuesta por el programa, mientras que la inviabilidad de una instancia se refiere al caso cuando no es posible encontrar una solución factible para la instancia. La inviabilidad se da de forma común en el campo del desarrollo de algoritmos. Puede ocurrir que, en el tiempo de búsqueda de la solución, el algoritmo no haya estudiado la posibilidad de una solución factible por el hecho de que la combinación de variables para proponer una solución al problema se hace de forma aleatoria en muchas ocasiones. Sin embargo, un paquete de software que devuelve un mensaje de inviabilidad sin sugerencias de acciones correctivas es de poca utilidad para un profesional, y el tiempo de la computadora (o real) esperando el resultado se percibe como tiempo perdido.

Matemáticamente, una solución es factible o inviable, y no hay comparación entre dos soluciones inviables. Sin embargo, muchas soluciones que serían declaradas inviables por una computadora podrían ser útiles en la práctica. Por ejemplo, una solución inviable con una ruta única que excede la capacidad del vehículo en una fracción de la capacidad del vehículo puede convertirse en una solución viable al renegociar la cantidad a entregar a un cliente en la ruta. Del mismo modo, un vehículo que excede el límite de tiempo de trabajo puede ser factible pagando al conductor por el tiempo extra. Como consecuencia, todas las soluciones pueden ser inviables, pero en la práctica, algunas son menos inviables. Esto da lugar a la necesidad de un método para penalizar la inviabilidad en función de su gravedad de acuerdo con el criterio de la persona que trabaja el problema.

Entre todas las restricciones que contempla el programa la única restricción dura dentro del algoritmo de solución del software “VRP Spreadsheet Solver” es visitar a los clientes que deben ser visitados, y esta restricción se aplica y se cumple en todas las soluciones del algoritmo que sean factibles. El resto de las restricciones se tratan como restricciones blandas y sus infracciones se penalizan. Para priorizar soluciones inviables con infracciones menos graves, el algoritmo de solución utiliza un método de escala cuadrática para la penalización. El término de penalización para un vehículo sería $(\max\{Q'-Q, 0\}/Q)^2 \times M$. Como resultado, una violación de la restricción de capacidad en un 5% sería penalizada por $0.0025 \times M$, mientras que una violación del 10% sería penalizada por $0.01 \times M$. Se aplican fórmulas similares para la violación de las ventanas de tiempo, el límite de distancia, el límite de tiempo de conducción y el límite de tiempo de trabajo.

La herramienta “VRP Spreadsheet Solver” primero realiza una verificación de factibilidad de los datos y busca posibles razones de inviabilidad. La búsqueda implica clientes que deben ser visitados pero que ningún vehículo puede alcanzarlos o atenderlos dentro del límite de tiempo determinado, así como volúmenes de recogida/entrega que no pueden caber en ninguno de los tipos de vehículos. También compara la capacidad de carga general de la flota con el requisito total de recogida/entrega de los clientes. Si se encuentra alguno de estos problemas, se alerta al usuario con un mensaje y se le da la opción de detenerlo o continuar. Si el usuario decide continuar, la solución resultante será ciertamente inviable pero aún puede ser útil.

CAPÍTULO VII: MODELIZACIÓN CON EXCEL DEL PROBLEMA BÁSICO



7 Modelización con Excel del problema básico con datos reales

Introducción

En el presente capítulo se pretende resolver y visualizar los resultados de los problemas de enrutamiento de vehículos (VRP) particularizado para una empresa de las ya citadas a lo largo del presente documento y que se encuadra en el sector mayorista de distribución de medicamentos en España. Para alcanzar el objetivo se dispondrá de datos reales actuales (inputs), que se expondrán en los siguientes apartados, y se empleará una herramienta software de código abierto existente en el mercado y que Unifica Excel, SIG público (bing) y metaheurística y cuyas características de adaptabilidad al problema planteado y su metodología operacional fueron expuestos en el Capítulo 6 (página 49).

Descripción de la “Empresa Modelo”: Antecedentes

La empresa de distribución a la que se quieren encontrar unas rutas optimizadas y que denominaremos “Empresa Modelo”, cuenta con centros de distribución repartidos por las distintas provincias españolas. El centro de cada provincia abastece a los puntos de venta que se encuentran próximos a él. Cuando se pusieron en marcha los centros de distribución de medicamentos en las provincias, se establecieron unas rutas de reparto en función de los clientes que se tenían en ese momento. No obstante, tanto la localización de los clientes como el número de clientes abastecidos ha ido cambiando a lo largo de los años sin replantearse las rutas diseñadas entonces. Así, en el caso de que fuera necesario llegar a un nuevo punto de venta, se buscaba la ruta más cercana al lugar y se incorporaba como una nueva etapa en la ruta, sin preocuparse por la optimización del sistema.

Estrategia

Lo que se busca con el presente estudio, es la optimización de las rutas que la “Empresa Modelo” recorre a día de hoy, y establecer un método de estudio de nuevas rutas si el escenario (nº de clientes, situación geográfica de los puntos de entrega, redes de transporte ...) cambia en algún momento para conseguir siempre la máxima eficiencia de los recursos disponibles.

Para ello, se deben establecer las variables que definen el problema. Una vez definidas, se plantearán diversos escenarios que, por comparación, permitirán analizar el impacto de determinadas variables. Con ello se podrá visualizar la sensibilidad de los protocolos ante la variabilidad de determinados parámetros y así optimizar el coste-beneficio de la operativa; entendiendo beneficio en un sentido amplio del término.

En la estrategia para alcanzar el objetivo, se seguirán los siguientes pasos:

1. Análisis cuantitativo de los datos disponibles
2. Definir las variables a analizar y parámetros de entrada
3. Seleccionar un software libre que se adapte a los requerimientos y que a partir de los parámetros de entrada (inputs) y de la variable/variables en análisis determine la rutas.
4. Se establecerán diversos escenarios que permitan analizar la sensibilidad del modelo ante la variabilidad de los parámetros en estudio.

Como se ha expuesto en el Apartado 6.2 (página 49), del software libre disponible en el mercado se ha seleccionado "VRP Spreadsheet Solver" porque entendemos cubre mejor los objetivos del estudio y porque además tiene como base El libro de trabajo de Microsoft Excel, lo que lo hace muy adaptable a cualquier tipo de empresa del sector de la distribución.

7.1 Análisis y tratamiento de los datos disponibles

En primer lugar, resulta esencial analizar los datos proporcionados para el estudio. Como antecedentes cabe señalar que la compañía objeto de estudio, es una empresa de distribución farmacéutica en régimen de cooperativa, siendo los cooperativistas las Oficinas de Farmacia a las que presta el servicio, en este caso restringido al territorio nacional. Este modelo de asociación empresarial es el común en este sector. La compañía de distribución cuenta con clientes y destinos definidos y que podrían considerarse estables en un periodo de tiempo o con leves variaciones. Los protocolos establecidos para abastecer las necesidades de los clientes son rígidos y en la actualidad carecen de análisis coste-beneficio.

Es necesario también realizar una descripción de los datos disponibles para una correcta selección de los inputs del software empleado. La empresa distribuidora, “Empresa Modelo” ha proporcionado los datos recogidos en la Tabla 2:

Campo Extraído	Descripción del Campo
Año entrega	Año. 2018.
Mes entrega	Mes. Septiembre.
Centro transporte	Almacén desde el que se envían las unidades a las Oficinas de Farmacia. El análisis contempla dos almacenes denominados DC1 y DC2.
ID Ruta	Código de la ruta. En la información proporcionada se encuentran todos los movimientos de Sept 2018 de todas las rutas de los almacenes estudiados.
Nombre de Ruta	Nombre descriptivo de la ruta.
ID de Tipo de Puesta	Código de tipo de puesta.
Tipo de Puesta	Descriptivo del tipo de puesta. La puesta indica la franja del día (puesta nocturna, mañana) o condición (urgencia...) de la entrega.
ID Destinatario Normalizado	Código de cliente (Oficina de Farmacia).
ID Destinatario Mercancía	Código de destinatario (cliente) extraído de BI.
Nombre Destinatario Mercancía	Nombre del titular de la Oficina de Farmacia.
Código postal	Código postal extraído de BI.
Comunidad Autónoma	Comunidad autónoma extraída de BI.
ID Provincia	Código de provincia extraído de BI.
Provincia	Provincia extraída de BI.
Nº Visitas	Número de veces que se visita la Oficina de Farmacia en la ruta en cuestión.
Nº Unidades	Unidades entregadas a la Oficina de Farmacia.
Nº líneas	Líneas de pedido entregadas a la Oficina de Farmacia.
PVL	Precio de Venta Laboratorio: valoración (en €) de la mercancía entregada.
Tipo de Cliente	Descripción del tipo de cliente en función de su ubicación. Distingue entre clientes urbanos, semi-urbanos y rurales.

Tabla 2 - Información proporcionada para el estudio

Por lo tanto, se dispone de todos los movimientos de los repartos del mes de septiembre de 2018 desde dos centros de distribución ubicados en dos provincias distintas; en este caso Madrid y Bilbao. Se ha identificado a los diferentes clientes con un ID que se ha normalizado, y para cada ID Destinatario Mercancía se tienen las diferentes rutas (identificadas por su ID y su nombre) a las que está asociado (si es que hay más de una), el tipo de ruta (o tipo de puesta) que es (Madrugada, Mediodía etc.) que se presentará más adelante. Además, se dispone del número de veces que se ha visitado a ese cliente en dicha ruta, el número de unidades que se han entregado al cliente y la valoración en euros (€) de todas las unidades entregadas. Esta información permite hacerse una idea del volumen que representa el cliente dentro de la ruta. Por último, se ha identificado al cliente según el criterio usado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) para catalogar las diferentes regiones del territorio nacional como Urbanas, Semi-Urbanas o Rurales.

Se puede considerar que los dos centros de distribución ubicados en las dos provincias son diferentes en cuanto a tipología de los clientes. La provincia que cuenta con el centro de distribución DC1(Madrid) es de carácter dicho “Urbano”, pues el 85,67% de los clientes asignados al centro de distribución son de carácter Urbano atendiendo al criterio utilizado por el INE. En cambio, la provincia con el centro de distribución DC2(Bilbao) se puede considerar de

carácter “Semiurbano / Rural” (57,29%) atendiendo al mismo criterio. La distribución del tipo de cliente en cada centro de distribución se puede encontrar en la Figura 5

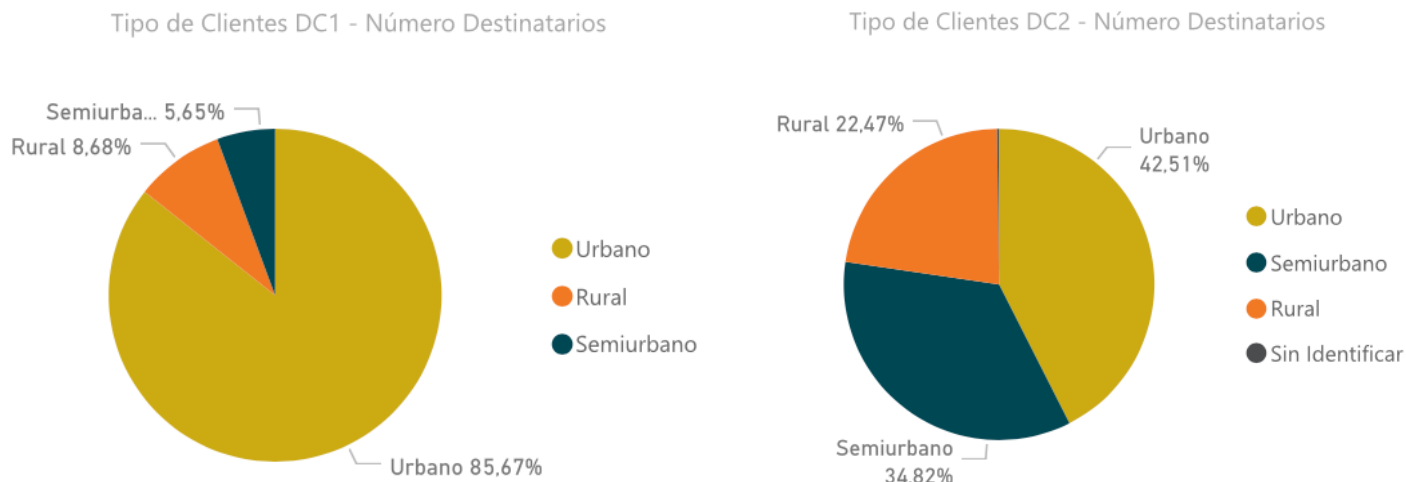


Figura 5 - Tipología de cliente en cada centro de distribución

El carácter de los centros de distribución se acentúa aún más si se observa la valoración monetaria de la mercancía entregada a cada tipo de cliente. En la Figura 6 se puede observar la repartición del tipo de cliente en función del valor de la mercancía entregada.

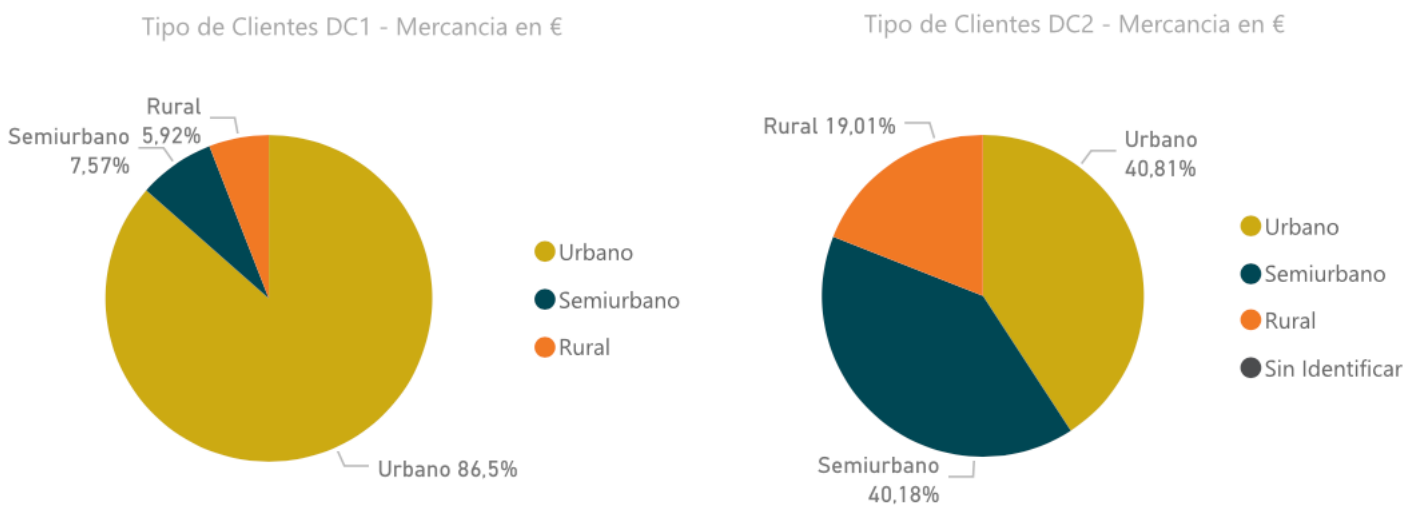


Figura 6 - Tipo de cliente en función del valor de la mercancía entregada

En cuanto al tipo de puesta, las rutas se pueden clasificar en 11 grupos. El ID del tipo de puesta y su nombre se encuentran en la Tabla 3 a continuación:

Puesta	Nombre
N1	MADRUGADA
N2	MEDIA MAÑANA
N3	MEDIODÍA
N5	SÁBADOS
G1	GUARDIAS MADRUGADA
G2	GUARDIA MEDIA MAÑANA
G3	GUARDIAS MEDIODIA
G6	GUARDIAS ESPECIALES
U1	URGENTE MAÑANA
U2	URGENTE TARDE
YD	DEVOLUCIONES

Tabla 3 - ID y Nombre de los diferentes tipos de puesta

Las puestas se identifican por un número que representa la franja del día en la que opera la ruta (1 = Madrugada, 2 = Media mañana o 3 = Mediodía) o por una letra que representa la condición de la operación (N = Normal, G = Guardia o U = Urgente).

Si se observa el número de clientes atendido desde cada centro de distribución para cada tipo de puesta, se obtienen los resultados recogidos en la Tabla 4 y en la Tabla 5:

Tipos de Puesta DC1				
Tipo de Puesta	Nº Visitas	Nº Visitas (%)	Numero de Destinatarios	PVL
N1 MADRUGADA	36.612	45,71%	1614	16.597.169,44 €
N3 MEDIODÍA	25.197	31,46%	1407	12.199.576,68 €
YD DEVOLUCIONES	11.645	14,54%	1312	-825.630,63 €
N2 MEDIA MAÑANA	6.060	7,57%	362	3.171.094,00 €
U1 URGENTE MAÑANA	326	0,41%	37	66.631,30 €
U2 URGENTE TARDE	259	0,32%	35	35.771,85 €
G1 GUARDIAS MADRUGADA	2	0,00%	2	739,41 €
Total	80.101	100,00%	1627	31.245.352,05 €

Tabla 4 - Resultados análisis tipos de puesta para DC1

Tipos de Puesta DC2				
Tipo de Puesta	Nº Visitas	Nº Visitas (%)	Numero de Destinatarios	PVL
N1 MADRUGADA	12.554	53,23%	464	4.247.924,75 €
N3 MEDIODÍA	8.863	37,58%	436	5.982.603,81 €
G1 GUARDIAS MADRUGADA	1.193	5,06%	344	558.665,85 €
G6 GUARDIAS ESPECIALES	377	1,60%	38	125.971,91 €
G3 GUARDIAS MEDIODIA	211	0,89%	97	127.400,23 €
YD DEVOLUCIONES	169	0,72%	121	-23.332,69 €
G2 GUARDIA MEDIA MAÑANA	129	0,55%	78	83.158,74 €
N5 SÁBADOS	89	0,38%	19	36.489,98 €
Total	23.585	100,00%	476	11.138.882,58 €

Tabla 5 - Resultados análisis tipos de puesta para DC2

Para el centro DC1 caracterizado como “Urbano”, se observa que la puesta N1 Madrugada concentra aproximadamente el 50% de las visitas que se realizan a los clientes, además es el tipo de puesta con el mayor valor monetario entregado en productos, tal y como era de esperar.

Para el centro DC2 caracterizado como “Semi-Urbano / Rural”, se extraen las mismas conclusiones, la puesta N1 Madrugada es la más importante en cuanto al número de visitas.

Por último, también se puede observar que en número de visitas el centro de DC1 es más de 3 veces el DC2, esto se justifica por la tipología de centro. Mientras que el centro DC1 es de carácter dicho Urbano, los clientes están más próximos unos de otros, de forma que se pueden abastecer más clientes por ruta. En cambio, el centro DC2 dicho de carácter Rural o Semi urbano, al tener mayor dispersión de los clientes, las rutas tienen un ratio menor de clientes visitados. Esto se observa mejor con la geolocalización de los clientes que se realizará más adelante en el estudio.

Por último, en la Tabla 6 se puede observar como el 82,74% de los clientes de los que se tienen datos aparecen en 3 o más rutas con tipos de puesta distintos.

Nº de Puestas Distintas	Nº de ID Normalizado	% del Total
1	128	6,09%
2	235	11,17%
3	445	21,16%
4	810	38,53%
5	375	17,84%
6	77	3,66%
7	27	1,28%
8	6	0,27%
	2103	100%

Tabla 6 - Tipos de Puesta por Cliente

Puesto que estudiar el problema para cada centro y para cada tipo de puesta complica el procedimiento y el valor añadido para las conclusiones de este estudio es escaso, se ha optado por estudiar únicamente el problema para el tipo de puesta de N1 pues no solo es el más importante en cuanto al número de visitas y el número de destinatarios diferentes atendidos, sino que además más del 80% de las Oficinas de Farmacia se visitan en más de 3 rutas, lo que permite concluir que los clientes atendidos en otros tipos de puesta también lo son en la puesta de Madrugada N1. Además, se toma la hipótesis de que los clientes son estables en el corto plazo, sino la variabilidad del problema sería aún mayor.

De esta forma se concluye, que el análisis que se va a realizar se centra en los envíos realizados en el tipo de puesta N1, pues tanto en número de clientes como en unidades entregadas es superior para ambos centros (Figura 7 y Figura 8) y se puede utilizar la solución para las otras puestas que cuentan con un menor número de clientes y menos unidades a distribuir.

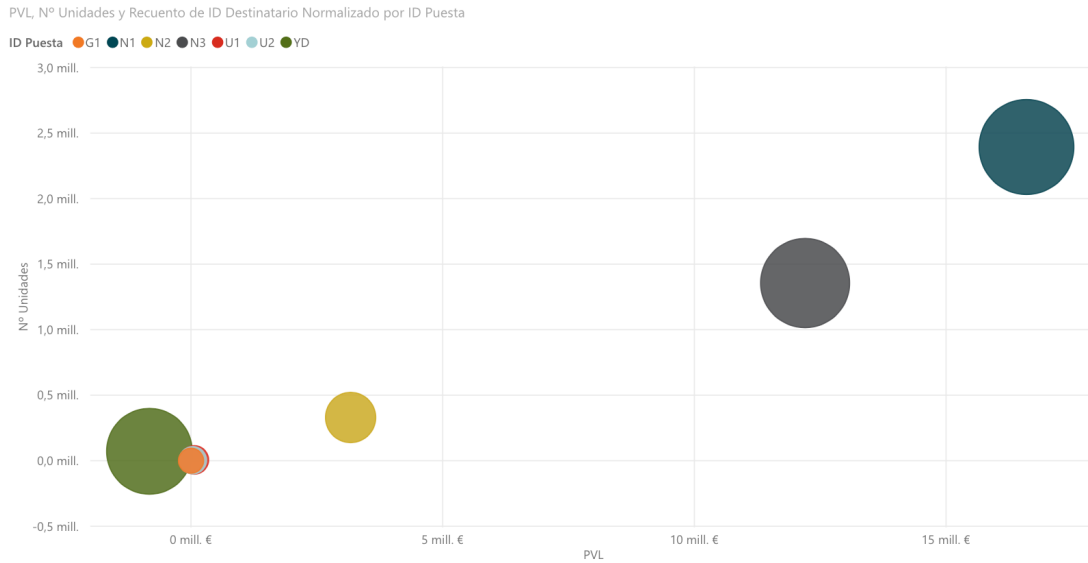


Figura 7 - Tipo de Puesta en función del valor mercancía y del núm de uds entregadas (DC1)

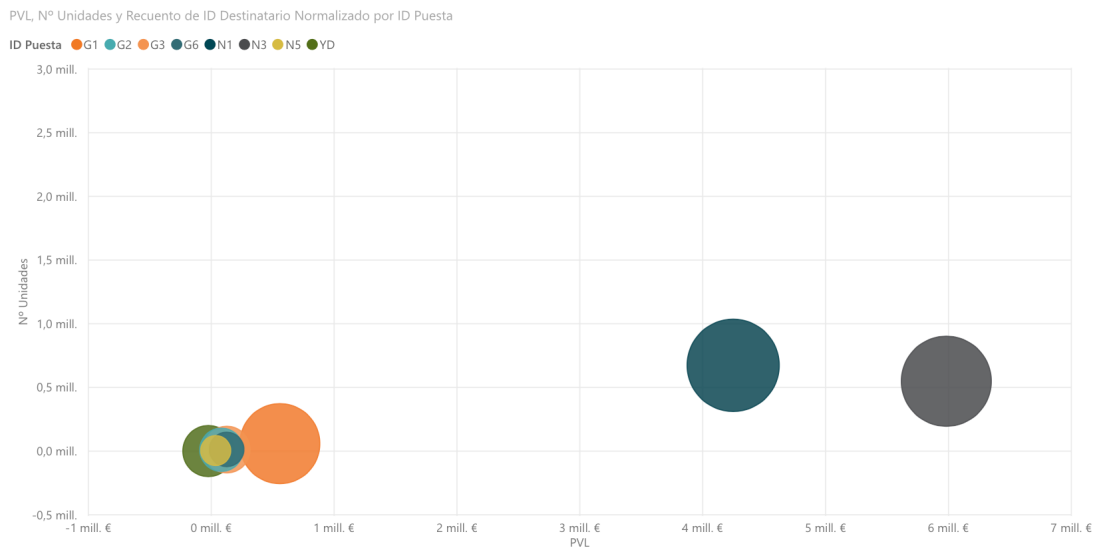


Figura 8 - Tipo de Puesta en función del valor mercancía y del núm de uds entregadas (DC2)

7.2 Mapping de la situación de los puntos de entrega

La primera etapa previa a la modelización del problema en Excel es la geolocalización de todos los puntos de entrega a partir de los datos proporcionados (ID Normalizado del cliente y código postal). En principio no se disponía de la localización en coordenadas de la totalidad de los clientes por lo que ha sido necesario completar esta información obteniendo las coordenadas de latitud y longitud para la totalidad de las OOFF implicadas en el estudio. Este proceso ha sido manual, pero necesario para trabajar con el optimizador de rutas y evitar posibles errores de ubicación.

En las Figura 9 y Figura 10 se observan la distribución geográfica de las distintas Oficinas de Farmacia para cada uno de los centros de distribución.

En ambos planos, el tamaño de los puntos situados en las OOFF representa el valor de la mercancía entregada a lo largo del mes. Es un indicador de los clientes con un mayor volumen de negocio.

PVL por Tipo de Cliente, Latitud (y) y Longitud (x)

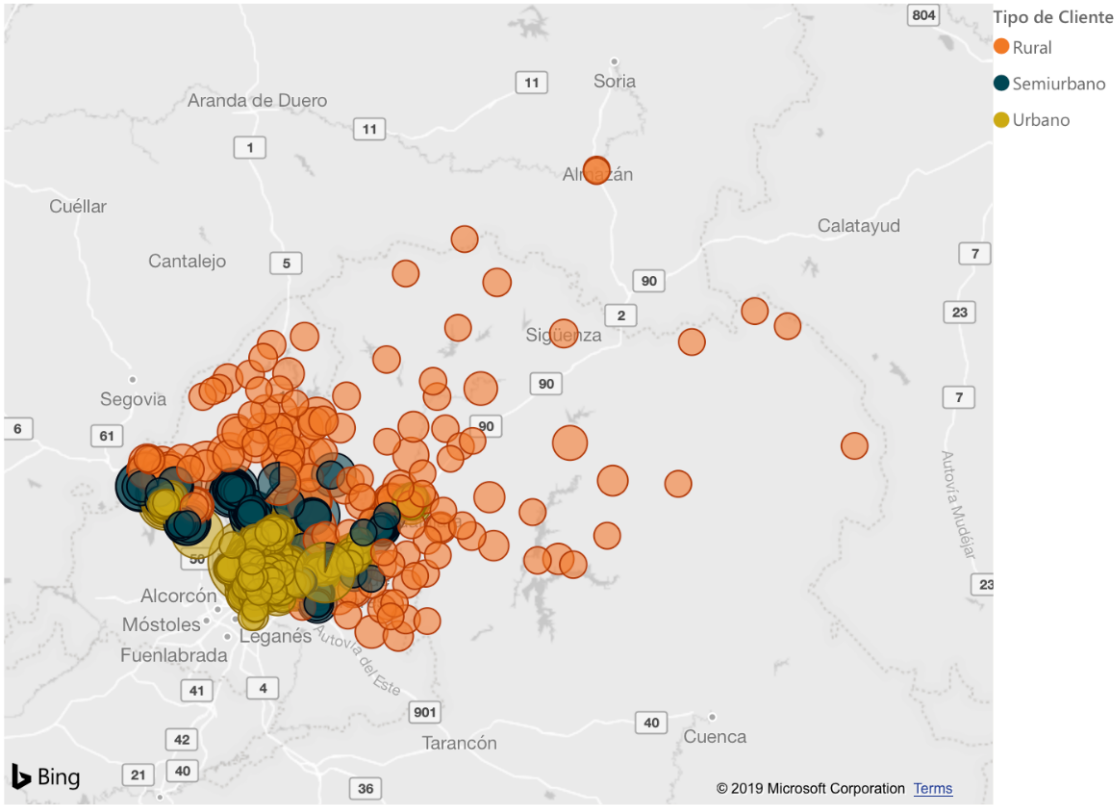


Figura 9 - Localización OOFF para el DC1

PVL por Tipo de Cliente, Latitud (y) y Longitud (x)

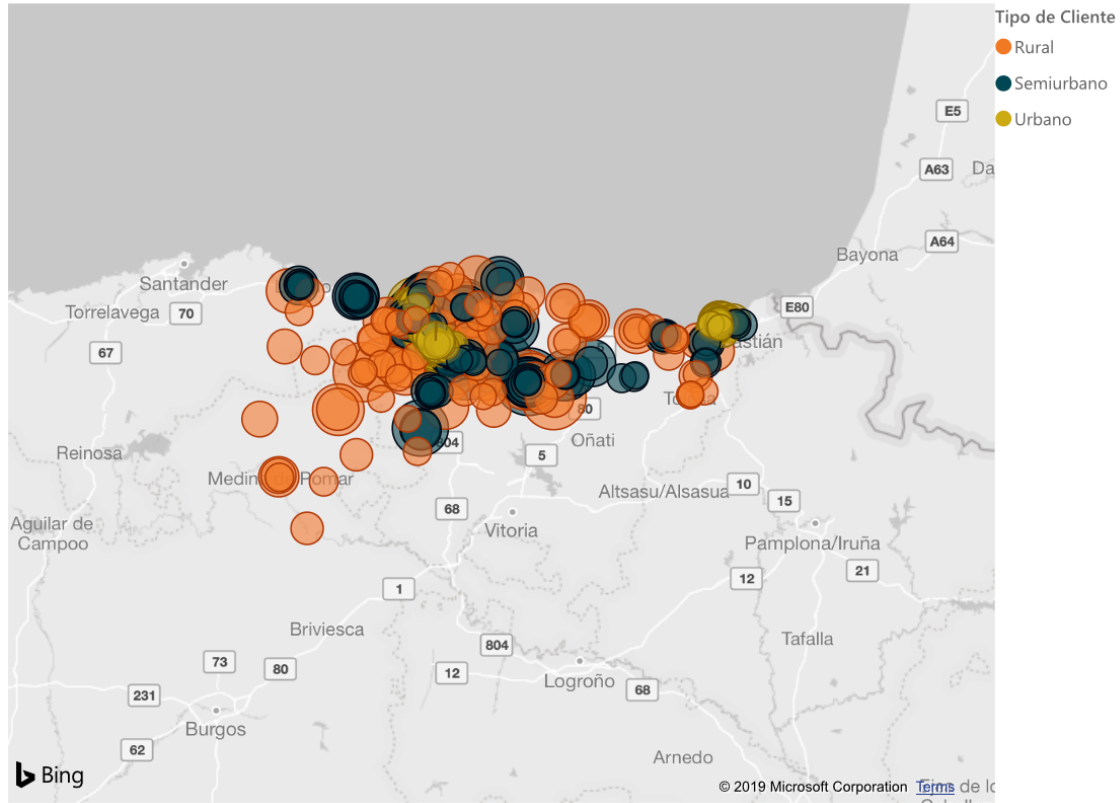


Figura 10 - Localización OOFF para el DC2

Se puede realizar un primer análisis a partir de la información proporcionada. Se disponen de las rutas actuales que se realizan desde dos centros de distribución dentro del territorio nacional; Madrid (DC1) y Bilbao (DC2). En la Tabla 7 se recapitulan el número de rutas que existen hoy en día desde cada uno de los centros, así como el número de farmacias que abastecen. Si se observa la última columna de la tabla, se puede deducir el carácter de cada centro, el DC1 tiene un mayor ratio de OOFF por ruta, lo que se traduce en un carácter urbano pues la distancia entre clientes es menor de manera que se consiguen abastecer más en un menor tiempo; en cambio, el DC2 presenta un ratio de OOFF/ruta de la mitad, dejando en evidencia su carácter más Rural / Semi – Urbano.

Centro de Distribución	Nº de rutas	Nº de OOFF	Ratio OOFF/ruta
DC 1	206 rutas distintas	1888 OOFF abastecidas	9 OOFF por ruta
DC 2	117 rutas distintas	538 OOFF abastecidas	4,6 OOFF por ruta

Tabla 7 - Análisis Nº OOFF por ruta

No obstante, como se comentó en el Apartado 6.2 (página 49) el software seleccionado presenta una capacidad computacional restringida y solo permite lanzar la simulación con 200 puntos de reparto. Es por ello, que se han obtenido muestras aleatorias de los datos disponibles para cada uno de los centros de distribución. Para el caso del DC1, los datos reales son 8 veces los de la muestra completa. En cambio, para el DC2 se trata solo del doble. No obstante, en ambos casos la muestra resulta representativa en cuanto al carácter de la zona.

7.3 Variables del modelo: parámetros de entrada

Para analizar las rutas propuestas por el software tras la optimización, y cual es el impacto de las diferentes variables en los escenarios planteados, es necesario definir previamente los parámetros o variables que se van a fijar como valores de entrada al programa.

En la Tabla 1 se anticipó la relación de variables que se consideran afectan al modelo aquí planteado. La operación del software precisa de la valoración numérica de aquellas variables que se van establecer como fijas en cada escenario y serán los inputs de la herramienta informática.

Son parámetros de entrada los siguientes:

- Puntos de entrega – localización UTM de las OOFF
- Frecuencia de reparto – Un reparto diario
- Jornada laboral: Periodo disponible en ruta – Definido fijo para cada escenario
- Medio de distribución – Un solo tipo, Furgón
- Tipología de envío por nivel de servicio – Definido fijo para cada escenario – Normal (madrugada) o Premium
- Tráfico en el área – Fijo para cada escenario – Lo aporta la tecnología GPS
- Coste km en función de la tipología de ruta

A partir de estas entradas, el programa de cálculo proporcionará el número de repartidores necesarios para completar el reparto, así como las rutas óptimas en cuanto a tiempo que sirven a los puntos de entrega definidos para cada escenario, planteado en función de las ventanas de tiempo que se han referenciado en la lista anterior como “periodo disponible en ruta”.

Para estimar el coste medio por kilómetro se ha utilizado el informe anual publicado por el OTLE [OTLE19] en su edición de 2018. En el informe del último año se recoge un estudio en el cual se estima el coste de transporte de mercancías tanto para el transporte marítimo, aéreo o terrestre. En el caso de transporte de mercancías por carretera, se hacen distinciones entre los diferentes

tipos de vehículo utilizado. En la Figura 11 se recogen los últimos datos disponibles y en ella se compara los datos de 2016 con los de 2017.

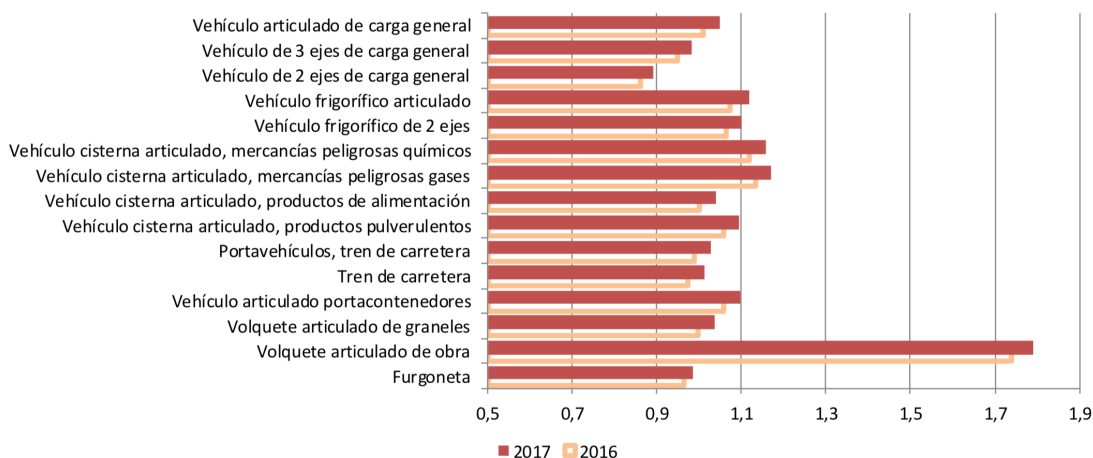


Figura 11 - Coste medio por km para el transporte de mercancía por carretera [OTLE19]

De acuerdo con la Figura 11, el coste medio por kilómetro cuando se utiliza una furgoneta es de 1€/km. El análisis realizado es para transporte de mercancía de punta a punta, sin tener en cuenta un transporte dentro de un reparto en el que el vehículo se para de forma más a menudo. Es por ello por lo que se ha decidido corregir dicho coste por un factor del 10% en el caso de una ciudad SemiUrbana/Rural y de un 30% en el caso de un entorno urbano.

Existen dos parámetros principales que limitan el número de Oficinas de Farmacia que se pueden abastecer en cada ruta.

- Capacidad de los vehículos
- Ventana de tiempo o tipos de puesta para la prestación del servicio.

Capacidad de los vehículos

Se va a considerar que la empresa distribuidora cuenta con un único modelo de vehículo, en este caso lo que el estudio hemos denominado furgón con capacidad de 12 m^3 (útiles 70% - 8.4 m^3). Los medicamentos y otros productos de parafarmacia para distribuir se van a considerar que tienen unas medidas únicas para simplificar el análisis. Estos productos van almacenados en unas cubetas de medidas estimadas (30x50x30cm) lo que supone una capacidad unitaria de 45 dm^3 . En resumen, cada furgón tiene una capacidad de 186 cubetas. De esta forma, el primer paso a llevar a cabo es establecer la demanda de cada uno de los puntos de reparto en términos de cubetas, sabiendo que de media caben 30 productos por cubeta.

En primer lugar, se ha hecho una aproximación de la demanda diaria (número de productos) que recibe cada una de las farmacias, dividiendo el número de unidades total entregadas durante el mes de septiembre de 2018 entre el número de visitas realizadas durante el mes. Con esta aproximación se tiene en cuenta el volumen de negocio de cada farmacia y se va a realizar la simulación suponiendo que en un mismo día se va a abastecer a todas las OOFF de la zona. Esta aproximación a la situación real queda justificada por el hecho de que el 80% de las OOFF de cada zona se visitan más de 15 veces en un mes, teniendo en cuenta que en un mes hay aproximadamente 23 días laborables. Es decir, el 80% de las farmacias se visitan como mínimo en más de un 65% de los días.

Una vez establecida la demanda diaria, se calcula la demanda en número de cubetas dividiendo la demanda diaria entre 30.

El problema de optimización en la realidad del mundo de la distribución, no se obtiene de forma diferenciada cada vez que se realiza una operación de repartos en función de la demanda del día, si no que se aplica una ruta prototipo como la que se propone.

El método de distribución queda definido con la tipología de vehículo adoptada (furgón de 12m³) que limita directamente no solo la capacidad, si no que define también la velocidad media, lo que para cada uno de los escenarios supone, en función del centro de distribución los valores siguientes:

- Para el DC1 la velocidad será de 40 km/h
- Para el DC2 la velocidad será de 60 km/h

Ventana de tiempo o tipos de puesta

El siguiente parámetro que determina el número de OOFF que se pueden abastecer es la ventana de tiempo que se defina. En general, se pueden encontrar hasta 11 tipos de puesta que se recogen en la Tabla 6.

Como se ha comentado en el punto 6.1 (página 56), solo se va a estudiar el caso en el que todos los repartos se hacen en el tipo de puesta N1 – Madrugada. Se considerará que las diferentes furgonetas salen cargadas del centro de distribución DC1 / DC2 a las 6:00 y todas las entregas deben llegar a las diferentes Oficinas de Farmacia antes de las 10:00.

Si se analizan las rutas actuales, en el tipo de puesta N1 se obtienen los resultados de la Tabla 8.

Centro de Distribución	Nº de rutas – N1	Nº de OOFF	Ratio OOFF/ruta
DC 1	71 rutas distintas	1614 OOFF abastecidas	22,73 OOFF por ruta
DC 2	28 rutas distintas	464 OOFF abastecidas	16,57 OOFF por ruta

Tabla 8 - Rutas N1 actuales para DC1 / DC2

En uno de los escenarios se forzará la ventana de tiempo para dar un servicio a clientes Premium. Dicha ventana será, por ejemplo, de 8:00 a 9:00.

7.4 Establecimiento de escenarios

Una vez se han definido las variables de entrada, se procede al análisis de los escenarios de tiempo (variable en estudio), es decir, calcular el mínimo número de rutas necesario para abastecer la demanda.

Como se ha mencionado, se van a analizar las restricciones impuestas por las ventanas de tiempo y por la capacidad del vehículo, a pesar de que el software incluya muchas otras opciones como puede ser la opción de recoger mercancía en los puntos de entrega pero que en nuestro caso carece de interés para un primer análisis de optimización de rutas.

Con el objetivo de poder extraer conclusiones de la optimización de las rutas de transporte se van a estudiar diferentes escenarios que van a permitir analizar la sensibilidad de diferentes variables (tráfico, ventana tiempo, coste). Los escenarios se particularizan para distintas ventanas de tiempo con y sin condiciones de violabilidad de las mismas. A su vez, se va a analizar un escenario donde ciertos clientes se consideran como preferentes y por ello tienen mejor horario de recepción de sus pedidos.

Los valores que se han adoptado para cada uno de los centros de distribución y que permanecen invariables entre los diferentes escenarios son los recogidos en la Tabla 9 y en la Tabla 10.

DC1	
Variable	Valor
Velocidad media del vehículo	40km/h
Coste medio por km	1,3€/km

Tabla 9 - Parámetros de base para el DC1

DC2	
Variable	Valor
Velocidad media del vehículo	60km/h
Coste medio por km	1,1€/km

Tabla 10 - Parámetros de base para el DC2

7.4.1 Escenarios

ESCENARIO A – Jornada Completa

El primer escenario consiste en empezar por el caso absurdo, que es suponer que la ventana de tiempo es de todo el día y así ver cuántas rutas son necesarias para abastecer la demanda. El escenario es absurdo en tanto que dicha situación no se va a dar en el caso real, pero es muy útil para establecer comparativas y sensibilidades del modelo. Los parámetros de entrada del optimizador serían los siguientes:

Variable Entrada	Valor
Número de OOFF	200 (tamaño de la muestra)
Ventana de Tiempo	6:00 a las 18:00
Tiempo de servicio	Aleatorio entre 3 y 10 minutos
Tráfico	Sí
Capacidad máxima Vehículo	186 cubetas

Tabla 11 - Variables entrada para Escenario A (DC1 y DC2)

Si se toma el centro de distribución DC1, se obtiene la siguiente fotografía de la localización de las OOFF.

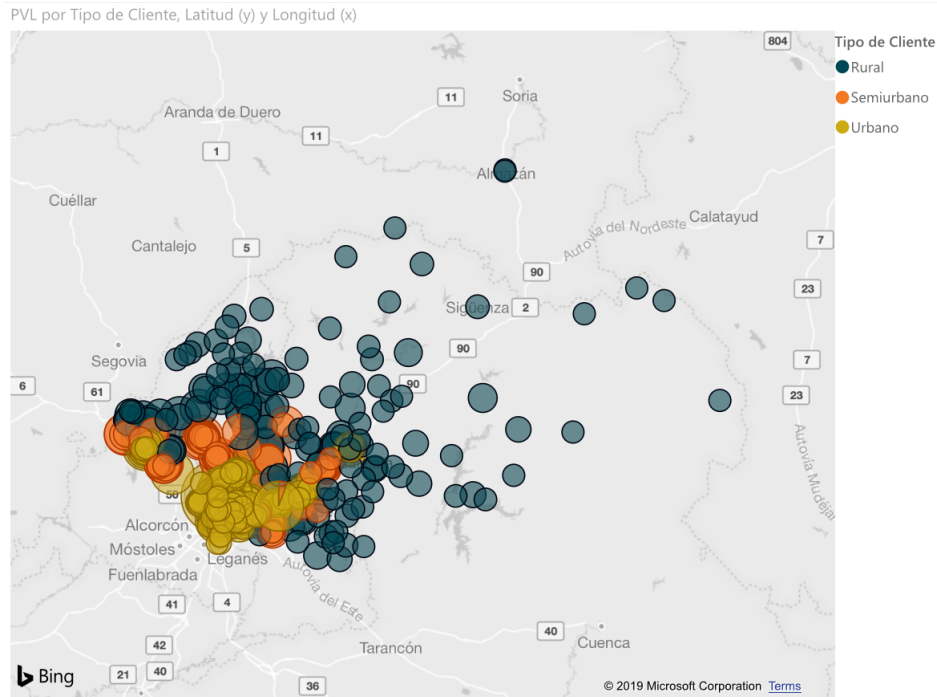


Figura 12 - Localización de las OOFF con puesta N1 para el DC1

Se entran los diferentes parámetros de entrada como es la localización de las farmacias (coordenadas de longitud y latitud), el tiempo de servicio, la cantidad de mercancía a entregar y los parámetros referentes a los vehículos y se obtienen los parámetros de salida recogidos en la Tabla 12.

Variable Salida	Valor
Número de rutas	5 rutas
Número de conductores	5 conductores
Kilómetros recorridos	832,29 km
Coste Total	1081,98 €
Ratio OOFF/ruta	40 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	166,46 km/ruta
Coste medio por km	1,3 €/km
Coste medio por ruta	216,39 €/ruta

Tabla 12 - Variables de salida para Escenario A (DC1)

El detalle de las rutas que deben recorrer los diferentes vehículos se encuentra en el Anexo B de la página 100. En las tablas se detalla el orden de visita de las diferentes OOFF que se le han asignado a cada vehículo, así como la hora de llegada y los kilómetros recorridos hasta cada uno de los clientes de la muestra.

En la Figura 13 se observan las rutas de forma esquemática sobre un plano. Se han unido los diferentes puntos mediante líneas rectas pero las rutas han sido calculadas teniendo en cuenta la distancia recorrida por un vehículo por carretera con velocidad media de 40km/h y teniendo en cuenta el nivel de tráfico a la hora de realizar ruta.

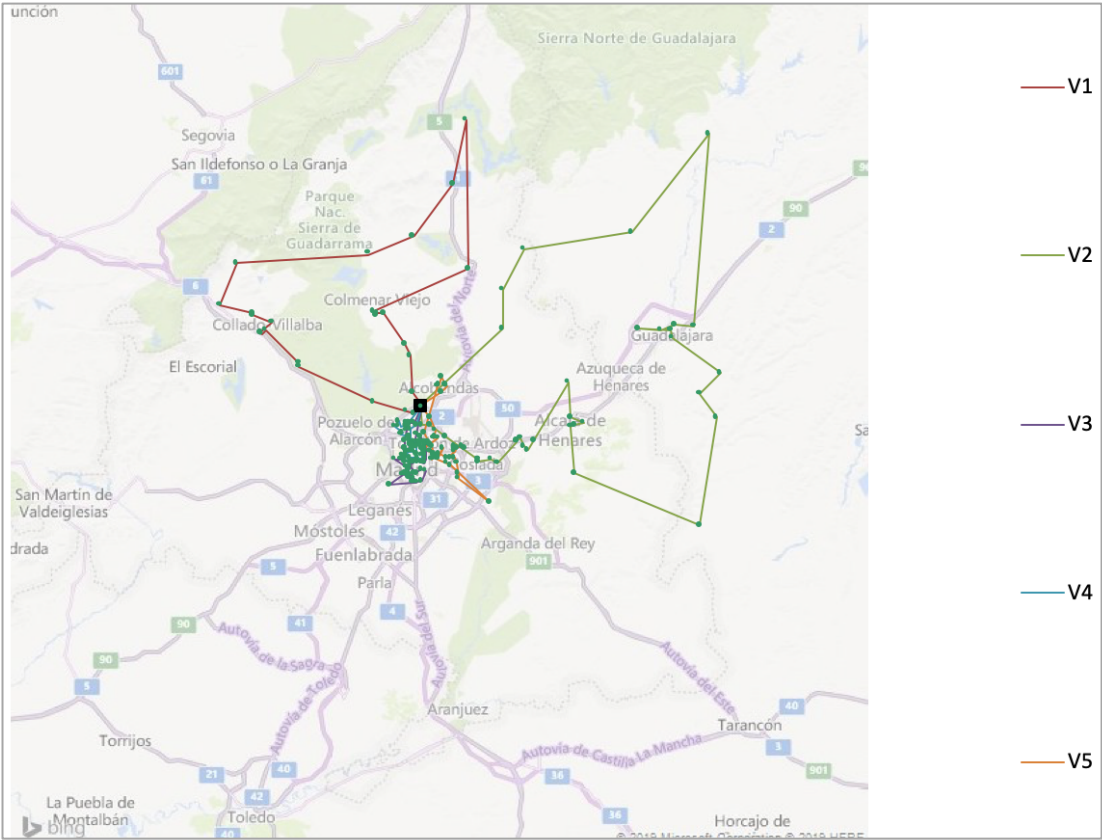


Figura 13 - Rutas óptimas Escenario A (DC1)

En este caso no se aprecian las diferentes rutas que hay a nivel de la ciudad de Madrid. Se observan dos rutas que tienen un carácter más semiurbano pues abastecen a la Sierra de Madrid (V1) y a la ciudad de Guadalajara (V2). Además, son las dos rutas con menor número de OOFF (Tabla 13), por debajo de la media, lo que concuerda con dicho carácter Rural/Semiurbano.

Ruta	Nº de OOFF
V1	28
V2	36
V3	55
V4	41
V5	45

Tabla 13 - Número de OOFF por ruta

El motivo por el cual no se aprecian con detalle las rutas en el centro de la ciudad es que la herramienta utilizada resulta óptima para un volumen de clientes entorno a 100. En este caso se han introducido 200 clientes para aprovechar toda la capacidad computacional. Como ya se ha comentado, para el objetivo del presente proyecto resulta suficiente la herramienta elegida, pero para aplicación en medianas y grandes empresas sería necesario un software adaptado a un mayor volumen de información.

En la Figura 14 se observa la evolución de la carga de los diferentes furgones. En todos los casos se observa que la capacidad de los furgones está sobredimensionada. Se podrían utilizar furgones de menor capacidad para obtener una mayor utilización del espacio aprovechable (en el caso de los furgones de 12m³ se había estimado al 70% de la capacidad). No obstante, podría resultar interesante hacer el análisis en el periodo de mayor demanda para cada una de las provincias, de

manera que se estime el tamaño del furgón en el periodo más desfavorable y así este pueda ser utilizado a lo largo del año, aunque quede sobre dimensionado.

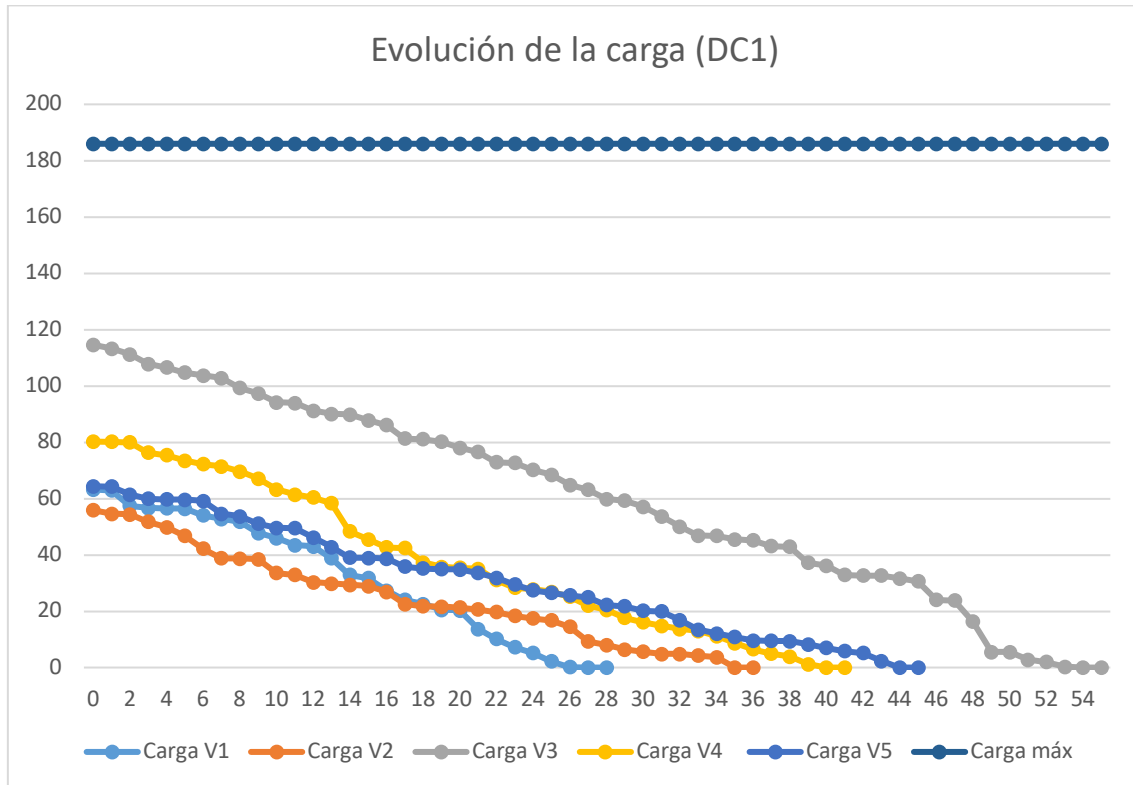


Figura 14 - Evolución carga vehículos para Escenario A (DC1)

Por otro lado, si se toma el centro de distribución DC2, se obtiene la siguiente localización de las OOFF de la zona (Figura 15).

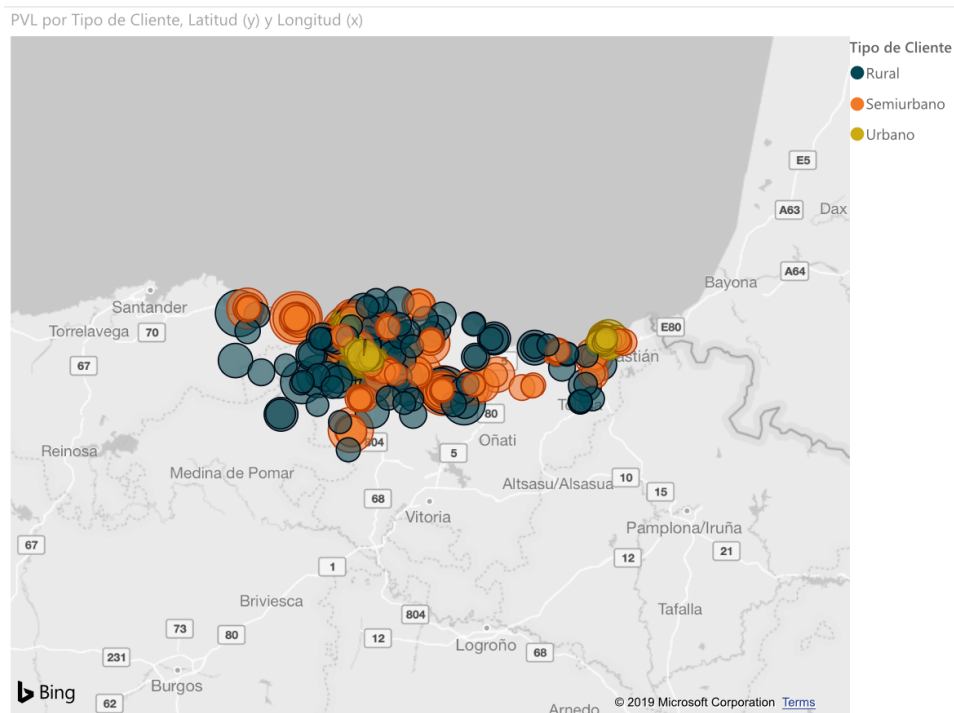


Figura 15 - Localización de las OOFF con puesta N1 para el DC2

En este caso las variables de salida serían las siguientes:

Variable Salida	Valor
Número de rutas	5 rutas
Número de conductores	5 conductores
Kilómetros recorridos	942,08 km
Coste Total	1036,29 €
Ratio OOFF/ruta	40 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	188,41 km/ruta
Coste medio por km	1,10 €/km
Coste medio por ruta	207,25 €/ruta

Tabla 14 - Variables de salida para Escenario A (DC2)

Toda la información con respecto a este segundo caso se encuentra en las tablas recogidas en el anexo B (página 105).

Dado el carácter más rural de la zona, en la Figura 16 si se pueden apreciar las 5 rutas que serían necesarias para abastecer esta zona.

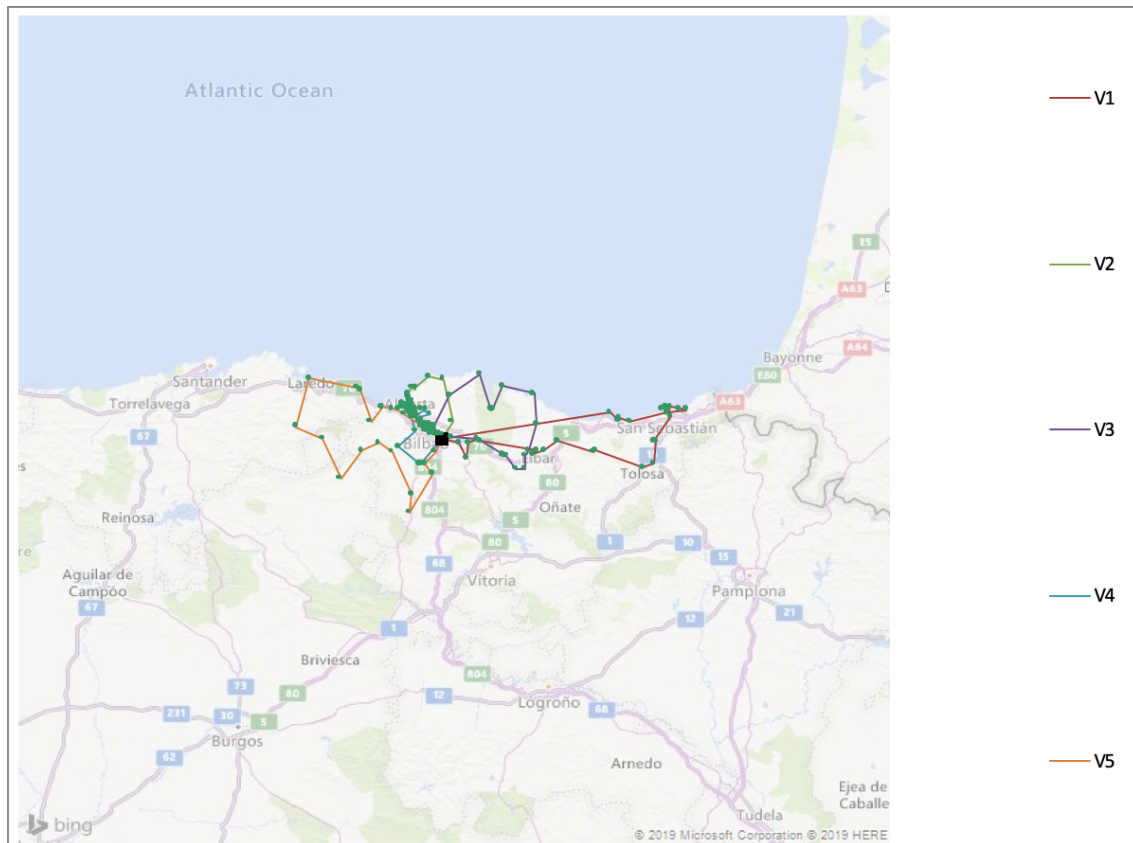


Figura 16 - Rutas óptimas Escenario A (DC2)

Como también era de esperar, los furgones están sobredimensionados para esta zona.

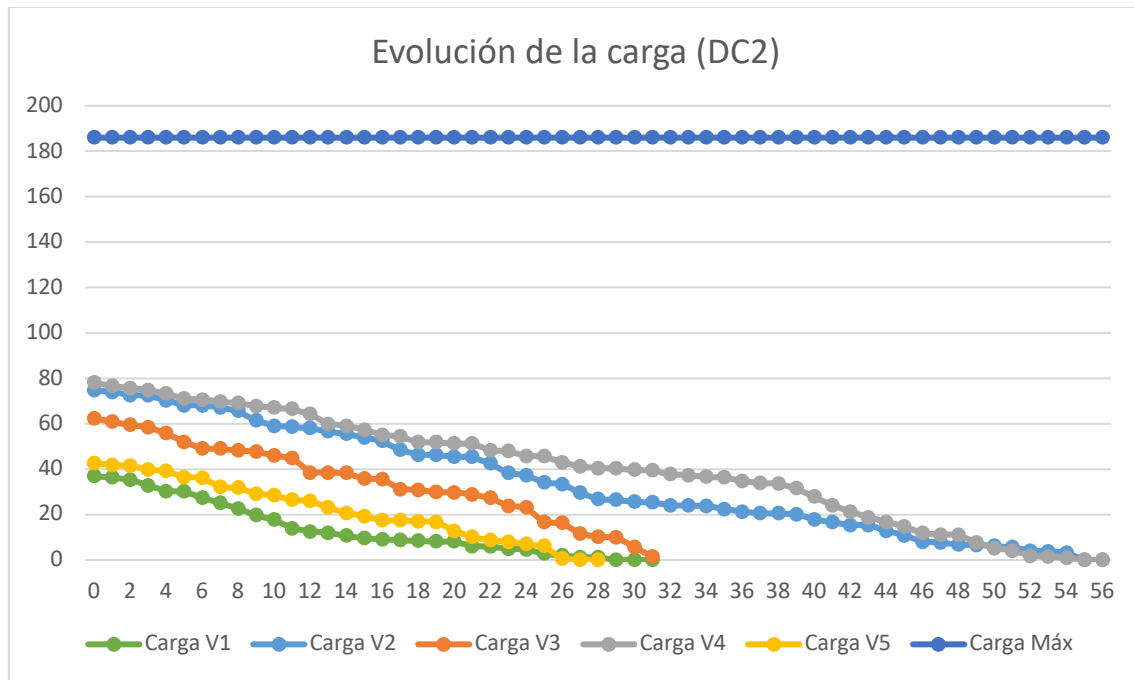


Figura 17 - Evolución carga vehículos para Escenario A (DC2)

ESCENARIO B - Estándar

El segundo escenario de tiempo que se va a estudiar es el escenario B, que podría denominarse escenario “estándar”. La ventana de tiempo que se estudia es la N1. Desde cada centro de distribución el reparto de toda la mercancía debe realizarse entre las 6:00 y las 10:00. A partir de este escenario se va a poder analizar la sensibilidad de diferentes variables.

En la Tabla 15 se recogen los valores de entrada para el escenario B.

Variable Entrada	Valor
Número de OOFF	200 (tamaño de la muestra)
Ventana de Tiempo	6:00 a las 10:00
Tiempo de servicio	Aleatorio entre 3 y 10 minutos
Tráfico	Sí
Capacidad máxima Vehículo	186 cubetas

Tabla 15 - Variables entrada para Escenario B (DC1 y DC2)

Una vez introducidos los parámetros para el centro DC1 los resultados que se obtienen son los siguientes:

Variable Salida	Valor
Número de rutas	14 rutas
Número de conductores	14 conductores
Kilómetros recorridos	1141,62 km
Coste Total	1484,10 €
Ratio OOFF/ruta	14,29 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	81,54 km/ruta
Coste medio por km	1,30 €/km
Coste medio por ruta	106,00 €/ruta

Tabla 16 - Variables de salida para Escenario B (DC1)

Las rutas en detalle se encuentran en anexo C (página 111). En la Figura 18 se observan de forma esquematizada las rutas que salen del DC1 para este segundo escenario.

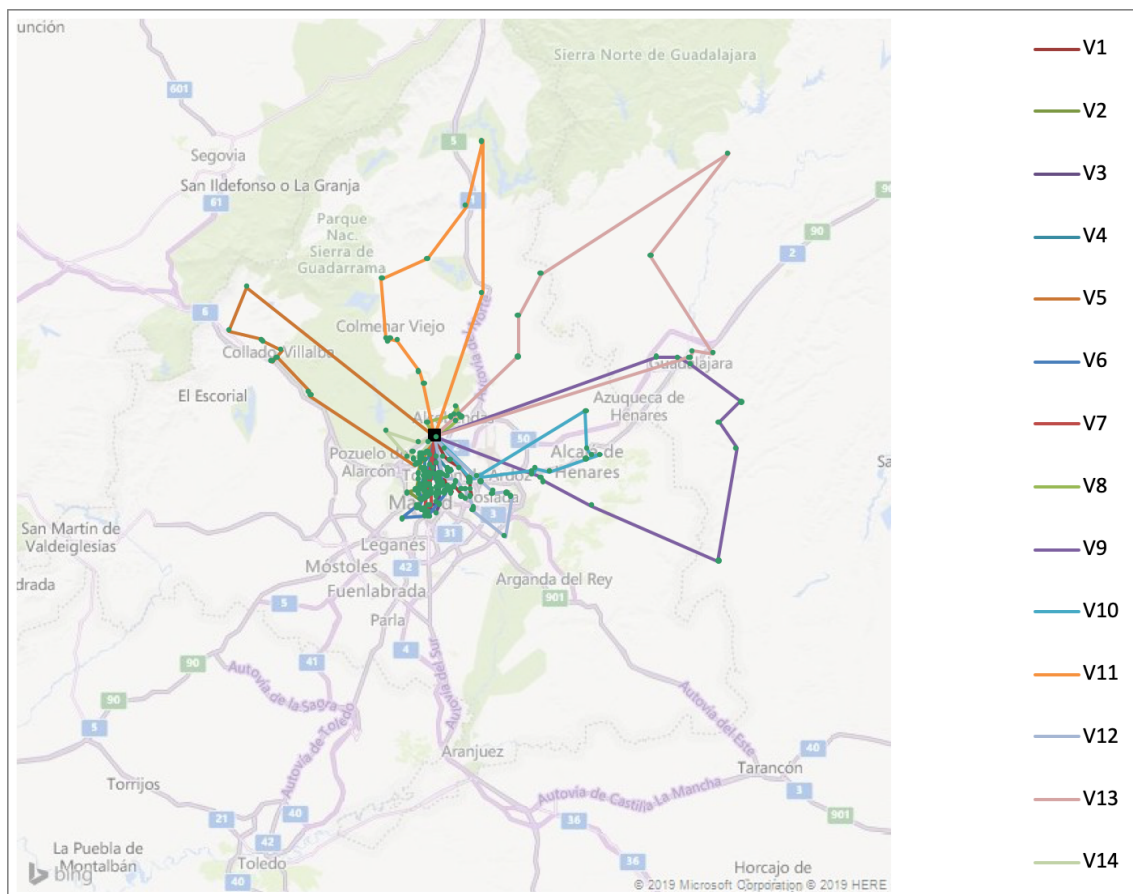


Figura 18 - Rutas óptimas Escenario B (DC1)

Como primera conclusión, si se comparan los datos con los de la Tabla 8 se puede establecer que el ratio de OOFF por ruta es inferior al actual, se pasa de 22,73 OOFF/ruta a 14,29 OOFF/ruta. Esto se explica por el hecho de que la muestra elegida presenta una alta variabilidad de los puntos de entrega. Este ratio sería mucho mejor si se hubiese tomado la población entera de puntos. Puede que los resultados empeorasen si se reducen las dimensiones de las furgonetas, pero en cualquiera de los casos la optimización demuestra que ciertas mejoras son posibles respecto al estado actual.

En este caso, los vehículos también están sobredimensionados (Figura 19). Además en mayor medida que en el caso anterior pues la misma demanda se reparte en un mayor número de vehículos.

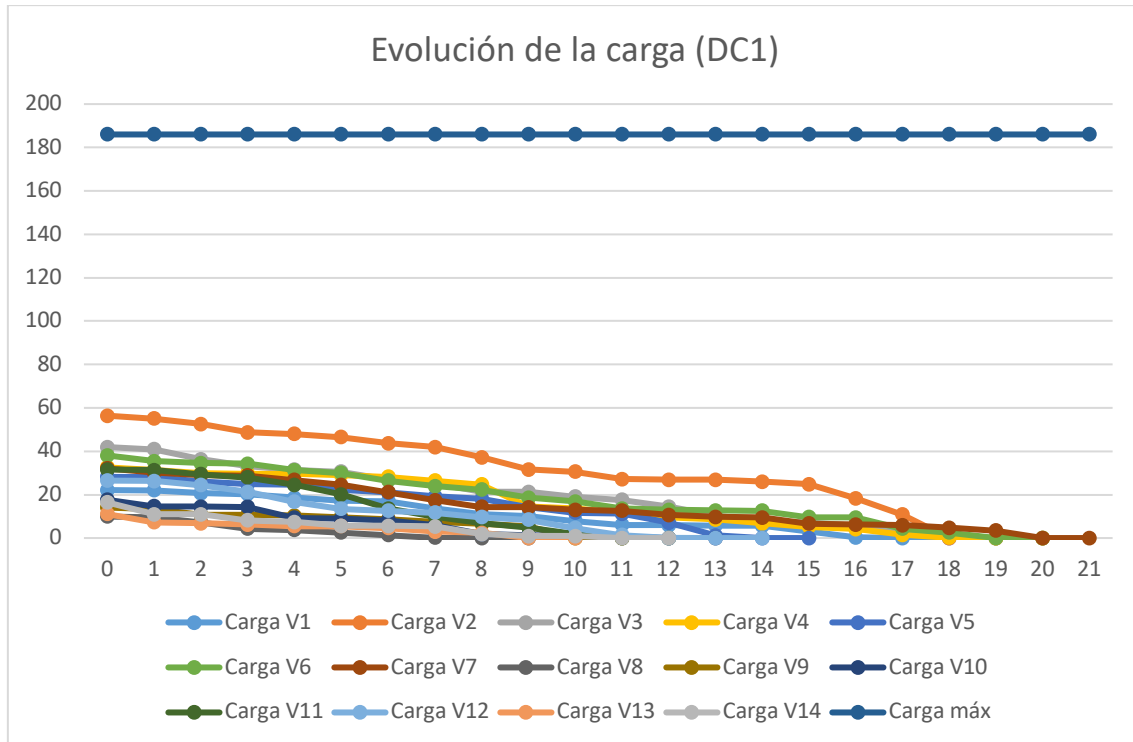


Figura 19 - Evolución de la carga de vehículos para Escenario B (DC1)

Por otro lado, en el caso del centro de distribución DC2, los resultados que se obtienen son:

Variable Salida	Valor
Número de rutas	15 rutas
Número de conductores	15 conductores
Kilómetros recorridos	1455,91 km
Coste Total	1601,50 €
Ratio OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	97,07 km/ruta
Coste medio por km	1,10 €/km
Coste medio por ruta	106,76 €/ruta

Tabla 17 - Variables de salida para Escenario B (DC2)

Como era de esperar, el ratio de OOFF/ruta es inferior al del DC1. No obstante, el resultado obtenido también es inferior al actual (13,33 OOFF/ruta dato de la Tabla 8). Esto se justifica por el mismo razonamiento seguido anteriormente, la muestra representa la mitad de los puntos que se deben abastecer.

Por otro lado, el número de kilómetros por ruta es superior en el caso del DC2 que el del DC1, 97,07 km/ruta frente a 81,54 km/ruta.

En la Figura 20 se observan las rutas obtenidas para el escenario B en el caso del DC2.

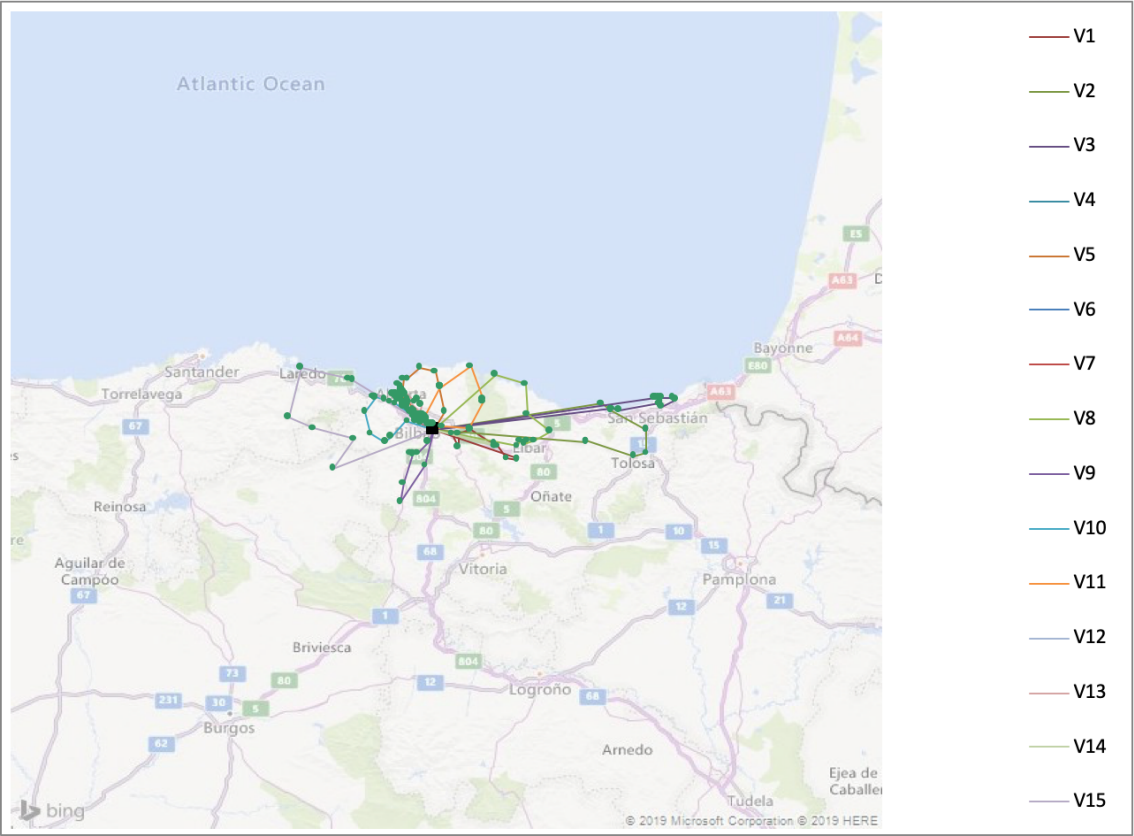


Figura 20 - Rutas óptimas Escenario B (DC2)

En este caso los furgones también están sobredimensionados.

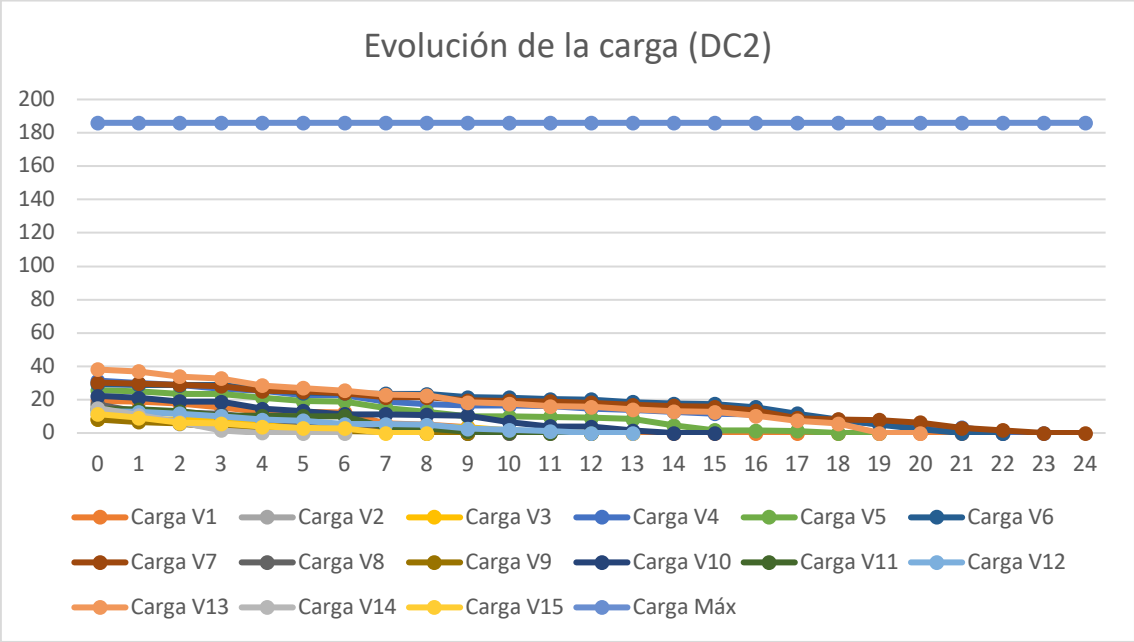


Figura 21 - Evolución de la carga de los vehículos para Escenario B (DC2)

Las tablas detalladas se encuentran en Anexo B (página 117)

ESCENARIO C - Premium

En último lugar se va a estudiar la opción de que existan una serie de clientes Premium con un servicio preferente. Este escenario consiste en considerar la ventana de tiempo más habitual (por ejemplo, de 6 a 10 am), y ofrecer un servicio Premium a aquellos clientes que facturen más a lo largo del mes. A partir de los datos del histórico de septiembre 2018, establecer en primer lugar el criterio para considerar a un cliente como preferente. En este caso se ha considerado que los clientes situados en el 10% superior en volumen de ventas tienen ciertos privilegios a la hora de recibir sus pedidos. Esto plantea dos posibilidades:

- Farmacias con más ventas reciben sus pedidos en una franja establecida por la compañía distribuidora que ésta considera preferente (por ejemplo, entre las 8 y las 9 am)
- Farmacias con más ventas pueden elegir una franja de 30 minutos para la entrega del pedido (establecer esto a partir de una variable aleatoria).

Para este proyecto se ha decidido optar por la primera opción. En la Tabla 18 se recogen los valores de entrada para el escenario C.

Variable Entrada	Valor
Número de OOFF	200 (tamaño de la muestra)
Ventana de Tiempo General	6:00 a las 10:00
Ventana de Tiempo Premium	8:00 a las 9:00
Tiempo de servicio	Aleatorio entre 3 y 10 minutos
Tráfico	Sí
Capacidad máxima Vehículo	186 cubetas

Tabla 18 - Valores de entrada para el Escenario C (DC1 y DC2)

Para el caso del centro de distribución DC1 los parámetros de salida adquieren los siguientes valores:

Variable Salida	Valor
Número de rutas	16 rutas
Número de conductores	16 conductores
Kilómetros recorridos	1283,91 km
Coste Total	1669,08 €
Ratio OOFF/ruta	12,5 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	80,24 km/ruta
Coste medio por km	1,29 €/km
Coste medio por ruta	104,31 €/ruta

Tabla 19 - Variables de salida para Escenario C (DC1)

No obstante, el software no es capaz de satisfacer todas las restricciones impuestas con respecto a los clientes Premium. De los 20 clientes considerados como Premium, que representan el 10% de la muestra, hay 7 de los cuales no se cumple la condición impuesta de llegada al centro después de las 8:00. Pero si se satisface el hecho de que el servicio empiece a las 8:00. Esto significa que el software, en el caso de los clientes con tiempos señalados en naranja en las tablas del Anexo D (página 124) estima que hay un tiempo muerto para el repartidor.

Como conclusión se podría decir que el hecho de tener clientes preferentes implica que la solución deja de ser la óptima. Si se comparan los resultados de caso óptimo y el caso preferente se obtiene lo siguiente:

Variable Salida	Valor Óptimo	Valor Premium
Número de rutas	14 rutas	16 rutas
Número de conductores	14 conductores	16 conductores
Kilómetros recorridos	1141,62 km	1283,91 km
Coste Total	1484,10 €	1669,08 €
Ratio OOFF/ruta	14,29 OOFF/ruta	12,5 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	81,54 km/ruta	80,24 km/ruta
Coste medio por km	1,30 €/km	1,29 €/km
Coste medio por ruta	106,00 €/ruta	104,31 €/ruta

Tabla 20 - Comparación Esc B y Esc C para DCI

En el caso del escenario C se necesitan más rutas para poder abastecer la demanda dadas las nuevas restricciones de las ventanas de tiempo. De ahí que el ratio OOFF/ruta sea peor en el caso Premium.

El número de kilómetros recorridos y el tiempo de viaje es superior en el caso preferente. Esto implica un incremento del coste del servicio del 12,5% que podría trasladarse al consumidor dependiendo de la política de la empresa en cuestión.

En la Figura 22 se observan las rutas óptimas para este escenario. Se puede apreciar con respecto al caso presentado con anterioridad (Figura 18) que aparecen nuevas rutas intermedias para abastecer los centros de carácter semiurbano antes las nuevas ventanas de tiempo, éste sería el caos de las rutas 6 y 7 por ejemplo.

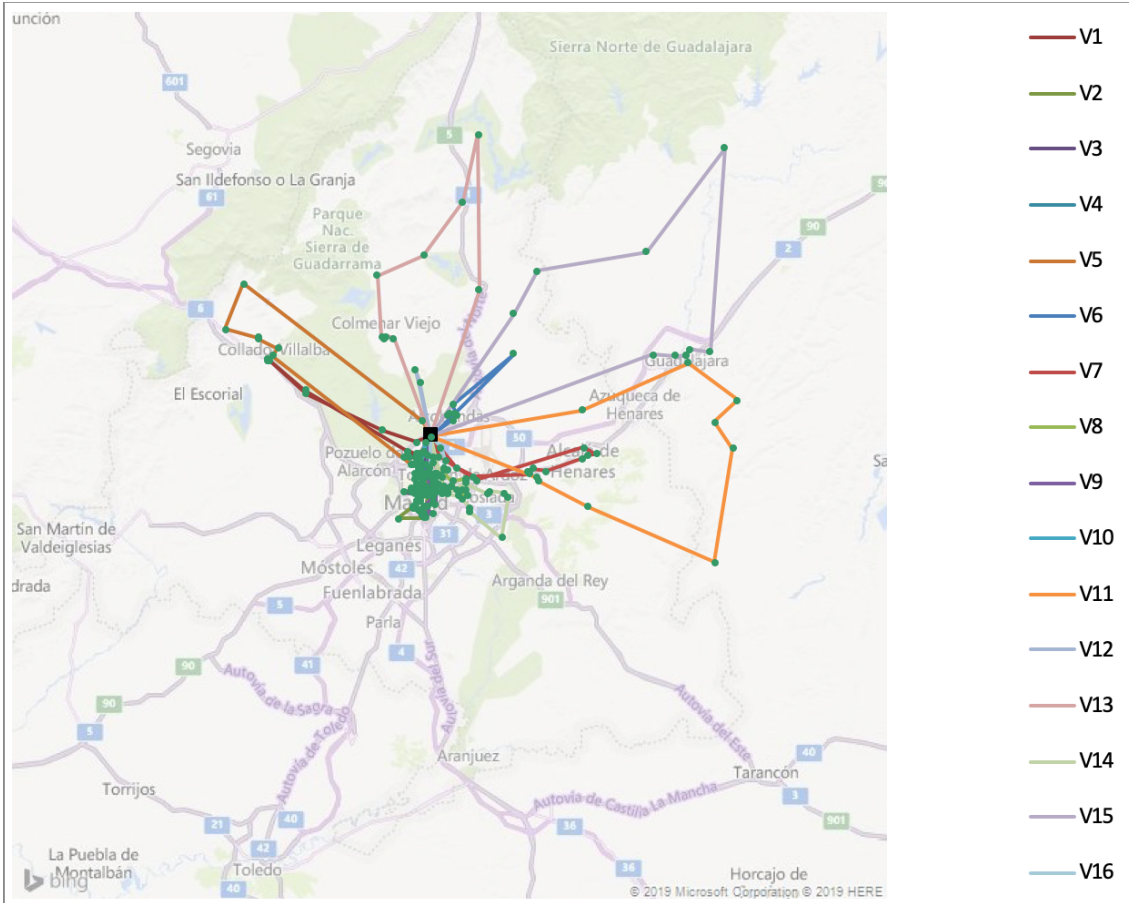


Figura 22 - Rutas óptimas para Escenario C (DC1)

Por otro lado, si se analizan los resultados para el centro de distribución DC2, se observan los resultados de la Tabla 21:

Variable Salida	Valor
Número de rutas	15 rutas
Número de conductores	15 conductores
Kilómetros recorridos	1470,46 km
Coste Total	1617,51 €
Ratio OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	98,03 km/ruta
Coste medio por km	1,1 €/km
Coste medio por ruta	107,83 €/ruta

Tabla 21 - Variables salida para Escenario C (DC2)

Ocurre algo similar al caso del DC1, para algunas OOFF con ventanas de tiempo más restrictivas el repartidor tendrá tiempos muertos antes de poder servir la mercancía. En este caso se trata solo del 15% de las farmacias Premium en comparación con el 35% del DC1. Esto es un primer indicio que se traduce en un mayor coste del servicio en el área urbana que en la de carácter rural/semiurbano. Las tablas detalladas se encuentran en Anexo D (página 130).

Si se comparan los resultados de este escenario con los equivalentes del escenario B se tiene que:

Variable Salida	Valor Óptimo	Valor Premium
Número de rutas	15 rutas	15 rutas
Número de conductores	15 conductores	15 conductores
Kilómetros recorridos	1455,91 km	1470,46 km
Coste Total	1601,50 €	1617,51 €
Ratio OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta
Ratio Km/ruta	97,07 km/ruta	98,03 km/ruta
Coste medio por km	1,10 €/km	1,10 €/km
Coste medio por ruta	106,76 €/ruta	107,83 €/ruta

Tabla 22 - Comparación Esc B y Esc C para DC2

Con el mismo número rutas se pueden satisfacer las nuevas condiciones para los clientes preferentes. No obstante, se aprecia que el número de kilómetros recorridos es superior, lo que indica que se ha alterado el orden de visitas incurriendo en un mayor coste y alejándose del óptimo.

En este caso no ha sido necesario crear nuevas rutas para el reparto, lo que indica que este servicio es más fácil de prestar en un entorno Semiurbano/rural donde las distancias a recorrer son mayores.

El mayor coste por ruta viene dado directamente por el incremento de kilómetros que se recorren, no obstante, dicho incremento (del 1%) es muy inferior con respecto al incremento del DC1.

En la Figura 23 se observan las rutas de forma esquemática y si se comparan con las rutas de la Figura 20 se puede constatar que el optimizador encuentra las mismas en ambos casos.

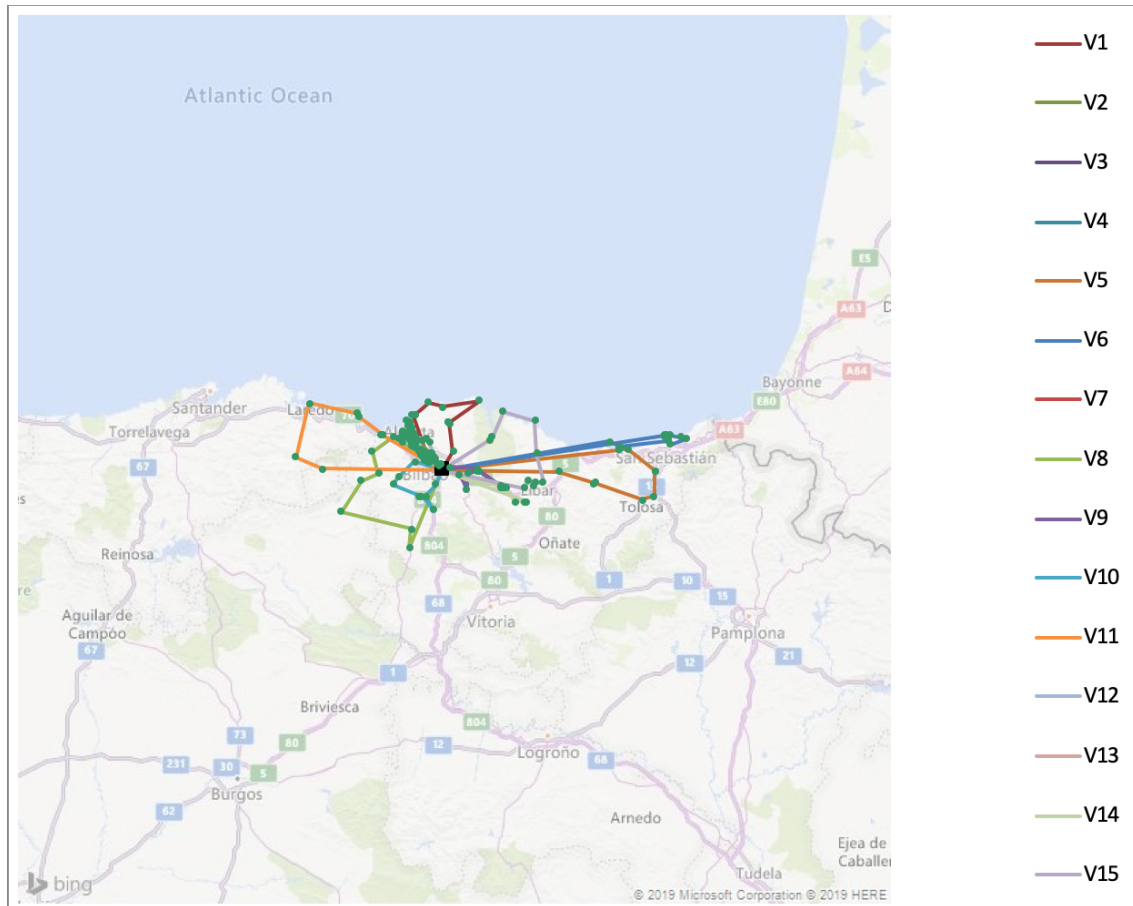


Figura 23 - Rutas óptima para Escenario C (DC2)

Por último, en ambos casos la capacidad de los vehículos no es restrictiva, tal y como se podía deducir de los análisis del escenario B hechos para cada centro de distribución.

7.4.2 Análisis de sensibilidad

En último lugar, se van a simular otros escenarios para ver cual es la sensibilidad de diferentes variables como son la ventana de tiempo o la violabilidad de los límites de ésta.

Para los diferentes análisis que se van a hacer la muestra utilizada seguirá siendo la misma que la utilizada en los escenarios y su tamaño permanecerá invariable.

SENSIBILIDAD X

Se va a estudiar cual sería el resultado si se ampliase la ventana de tiempo en 1 hora, es decir, si el servicio se pudiera dar entre las 6:00 y las 11:00. El objetivo que se persigue con ello es ver como influye en el coste de operación dicha variable para que luego la empresa en cuestión estime si es necesario replantear los horarios de entrega. Se van a comparar las soluciones para los dos centros de distribución.

En el caso del centro de distribución de carácter urbano (DC1) los resultados se recogen en la Tabla 23.

Variable	TW: 6 a 10 am	TW: 6 a 11 am	Variación - ↑ 25%
Número de rutas	14 rutas	11 rutas	↓ 21,4 %
Kilómetros recorridos	1141,62 km	1053,54 km	↓ 7,7 %
Coste Total	1484,10 €	1369,60 €	↓ 7,7 %
Ratio OOFF/ruta	14,29 OOFF/ruta	18,18 OOFF/ruta	↑ 27,2 %
Ratio Km/ruta	81,54 km/ruta	95,78 km/ruta	↑ 17,5 %
Coste medio por ruta	106,00 €/ruta	124,51 €/ruta	↑ 17,5 %

Tabla 23 - Análisis de sensibilidad X para DC1

Para el centro de distribución DC2 los resultados se encuentran en la Tabla 24.

Variable	TW: 6 a 10 am	TW: 6 a 11 am	Variación - ↑ 25%
Número de rutas	15 rutas	12 rutas	↓ 20 %
Kilómetros recorridos	1455,91 km	1401,60 km	↓ 3,7 %
Coste Total	1601,50 €	1541,76 €	↓ 3,7 %
Ratio OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta	16,66 OOFF/ruta	↑ 24,9 %
Ratio Km/ruta	97,07 km/ruta	116,8 km/ruta	↑ 20,3 %
Coste medio por ruta	106,76 €/ruta	128,48 €/ruta	↑ 20,3 %

Tabla 24 - Análisis de sensibilidad X para DC2

En este caso se va a proceder a comparar los resultados de manera conjunta. A simple vista se puede concluir que si se toma como principal KPI el ratio de OOFF por ruta, es más ventajoso ampliar la ventana de tiempo en un entorno urbano al estar los puntos de entrega más próximos. La variación porcentual de dicho ratio es superior a la variación del tiempo de operación en el caso del DC1, para el DC2 el incremento porcentual es casi igual al aumento de la ventana de tiempo en tanto por ciento.

Esto va ligado al número de rutas en cada uno de los casos. Para ambos entornos las rutas existentes se reducen en el mismo número. En cambio, la reducción en número de kilómetros y por consiguiente, del coste asociado es superior en el caso del entorno urbano que se reduce casi en el doble que en el entorno rural, por lo ya mencionado. En el caso del DC1 los kilómetros recorridos se reducen en un 7,7%, cuando en el caso del DC2 no llega al 4%.

Por lo tanto, a modo de conclusión se podría decir que el entorno urbano es más sensible a la amplitud de la ventana de tiempo, y es en grandes urbes en las que interesa hacer un análisis más profundo para estimar cuan mejor es estirar la ventana de tiempo con mejores previsiones de la demanda antes de favorecer a un nuevo reparto.

SENSIBILIDAD Y

En segundo lugar, se va a utilizar una de las opciones disponibles en la herramienta. Se va a estudiar cual sería el impacto de tener una ventana de tiempo “violable”, es decir, que si el repartidor llega pasadas las 10:00 por algunos minutos, esto no tenga un impacto negativo en la solución.

Para ello, es suficiente con activar la opción de que las ventanas de tiempo no son rígidas. No se puede dar una horquilla de tiempos que delimite el límite de llegada, pues esto sería equivalente a definir nuevas ventanas de tiempo.

El optimizador lo usa en casos límites para poder encontrar una solución lo mejor posible y sin llegar a un retraso en la entrega muy importante.

Para ambos escenarios se viola la condición de llegada a las últimas farmacias antes de las 10:00. En la Tabla 25 se recogen los datos relativos a las diferentes simulaciones realizadas.

Escenario	Esc B – DC1 (TW: hard)	DC1 – TW: soft	Esc B – DC2 (TW: hard)	DC2 – TW: soft
Número de rutas	14 rutas	13 rutas	15 rutas	13 rutas
Rutas violadas		5 rutas		8 rutas
OOFF afectadas		6 OOFF		10 OOFF
Máximo retraso llegada		10:08		10:29
Ratio OOFF/ruta	14,29 OOFF/ruta	15,39 OOFF/ruta	13,33 OOFF/ruta	15,39 OOFF/ruta
Ratio km/ruta	81,54 km/ruta	103,20 km/ruta	97,07 km/ruta	131,37 km/ruta
Total km	1141,62 km	1341,57 km	1455,91 km	1707,81 km
Total Coste	1484,10 €	1744,03 €	1601,50 €	1878,59 €
Coste medio por ruta	106,00 €/ruta	134,16 €/ruta	106,76 €/ruta	144,51 €/ruta

Tabla 25 - Análisis de sensibilidad Y

Como se aprecia, las soluciones con las ventanas de tiempo flexibles distan mucho de ser soluciones óptimas. Se incurre en un mayor gasto además de que, en el caso del DC2, para alguna de las farmacias el repartidor llega media hora tarde, sin contar que posteriormente debe volver al centro de reparto para salir a una nueva puesta.

El optimizador utiliza un algoritmo de Large Neighborhood Search que es capaz de encontrar una mejor solución satisfaciendo todas las restricciones. Esto se aprecia gracias al coste medio por ruta que es un 27% superior en el caso de las ventanas violables con respecto a la solución óptima. En el caso del DC2 el coste de la ruta con ventanas violables asciende a un 35% con respecto al resultado obtenido en el escenario B.

Por lo tanto, la sensibilidad de la ventana de tiempo tiene un coste elevado en el caso de que la flota permita obtener una solución óptima.

SENSIBILIDAD Z

En último lugar, se va a ver el número de clientes que se pueden abastecer dentro de la franja horaria considerada como Premium, es decir, de 8:00 a 9:00.

Para ello se van a comparar los escenarios B y C presentados anteriormente. En la Tabla 26 se recoge el recapitulativo de los clientes que son atendidos en la franja preferente para cada uno de los escenarios y de los centros de distribución.

Escenario	Clientes de 8:00 a 9:00
ESC B – DC1	51
ESC B – DC2	58
ESC C – DC1	59
ESC C – DC2	61

Tabla 26 - Recuento clientes en horario preferente

En primer lugar, es destacable que para ambos entornos el hecho de que se fuerce la ventana de tiempo para algunos clientes con mayor facturación (los clientes Premium) implica que un mayor número de OOFF son atendidas en ese periodo de tiempo. En el caso del centro de distribución DC1 el incremento es del 16%, mientras que en el caso del DC2 es del 6%.

El hecho de que la variación sea mayor en el caso del DC1 va ligada a su carácter urbano. Se podría justificar por el hecho de que a los clientes que se les ha asignado una ventana de tiempo de 8:00 a 9:00 en el escenario C son los que más facturación tienen, y generalmente estarán ubicados en el centro de las urbes, con un mayor número de OOFF a su alrededor dada la densidad de población. Al forzar que a esa OOFF se le atienda entre las 8:00 y las 9:00, favorece que al resto de farmacias se les atienda también en ese horario, y puesto que las distancias en ciudad son menores, se consigue abastecer a un mayor porcentaje en el caso del DC1 que en el caso de una ciudad de carácter semiurbano como podría ser la DC2.

En segundo lugar, resulta sorprendente el hecho de que para un mismo tamaño de muestra el número de clientes en la franja Premium es superior, sobretodo en el caso del escenario B, para el centro de distribución DC2 que para el DC1.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES DEL ESTUDIO



8 Conclusiones del estudio

Las primeras conclusiones que derivan del proyecto se han ido presentado a medida que se hacía el análisis de los diferentes escenarios.

En primer lugar, las dimensiones de los furgones que se han tomado como variable de entrada del proyecto han resultado ser muy superiores a las necesidades reales de las ciudades en estudio. Con furgones de 8m^3 o incluso 5m^3 se podría dar el servicio. El sobredimensionamiento de los vehículos lleva un mayor gasto de combustible, un mayor impacto ambiental y dificulta la operativa sobretodo en los cascos urbanos. No obstante, antes de tomar una decisión con impactos a medio plazo, entorno a unos 3 años o 4 años como son los contratos de los servicios de Leasing y Renting que utilizan este tipo de compañías para adquirir sus flotas, cabría estudiar cual ha sido el crecimiento de los últimos años en términos de volumen y cuales son las expectativas de crecimiento en el corto o medio plazo.

Otra cosa a tener en cuenta a la hora de dimensionar los vehículos y que se ha mencionado durante el estudio, es analizar los picos de demanda que cambian durante los periodos estacionales. Por ejemplo, durante el verano en la costa la demanda aumenta considerablemente debido al periodo vacacional, para los almacenes del litoral la capacidad de los vehículos se debe estimar analizando la demanda de los meses de junio, julio y agosto. Como cada vez se tienen más históricos y hay mayores facilidades para analizarlos convendría comparar los últimos cinco/diez años para estimar cuales son los picos de demanda y así evitar datos sesgados por algún evento en concreto que no se sepa identificar por separado.

En segundo lugar, otra de las conclusiones que se extrae del análisis de escenarios es el menor ratio de OOFF por ruta con respecto a los datos iniciales proporcionados por la empresa. Para el centro de distribución DC1 se pasa de 22,73 OOFF/ruta a 14,29 OOFF/ruta. Como se ha mencionado, es el tamaño de la muestra lo que explicaría esta disminución. En el caso del DC1 la muestra es representativa en cuanto al carácter de la zona, por carácter se entiende el porcentaje de clientes que hay de cada tipo (urbano, semiurbano o rural), pero no deja de ser una muestra que en este caso es un octavo de la población total. Si se hubiese podido tomar la población entera, al tener más OOFF por metro cuadrado, las rutas recorrerían menos kilómetros de forma general y el ratio aumentaría considerablemente.

En el caso del centro de distribución DC2 se observa la misma disminución del ratio, aunque en este caso la muestra representa casi la mitad de los clientes a abastecer. Por otro lado, se puede concluir que el ratio obtenido con el análisis para el DC2 (13,33 OOFF/ruta) es inferior que para el DC1 (14,29 OOFF/ruta). Tal y como se esperaba, en las zonas con un carácter rural más marcado, el ratio de OOFF por ruta es menor al recorrer más distancia para abastecer la demanda de todos los puntos.

En tercer lugar, cabe analizar los resultados con respecto al servicio Premium que las distribuidoras farmacéuticas dan a algunos de sus clientes. Para el algoritmo es mucho más complejo obtener una solución factible, puede proponer soluciones viables aunque no cumplan todas las restricciones impuestas. Se observa que la solución se aleja del óptimo al presentar tiempos muertos en casi todas las rutas, el repartidor debe esperar en un 35% de las farmacias con este tratamiento preferente a poder empezar el servicio en el caso del DC1. Para el DC2 el porcentaje se reduce al 15%, lo que es un primer indicador de que el servicio preferente es más fácil de gestionar en un entorno de carácter rural o semiurbano que en uno de carácter urbano.

Otro indicio de que dar el servicio Premium en las grandes ciudades es más costoso que en las provincias más pequeñas es el mayor coste obtenido directamente de la simulación. En el caso del DC1 el coste pasa de 1484,1€ en el escenario estándar a 1669,08€, es decir, un 12,5% más en el caso de que existan clientes Premium. En cambio, en el caso del DC2 se pasa de 1601,50€ a

1617,51€, tan solo un 1% más. Este aumento del coste, si se quisiese se podría trasladar al cliente que quisiese una entrega más “a medida”.

En cuarto lugar, la sensibilidad de los límites de la ventana de tiempo puede aportar grandes ventajas si se analiza en casos concretos. En muchas ocasiones, aumentar la ventana de tiempo para poder atender a más clientes puede conllevar un importante ahorro en términos de coste de operación. Si al analizar dicha sensibilidad para una zona concreta el aumento del coste es insignificante con respecto a la variación de un indicador que mida el servicio al cliente como puede ser el número de OOFF por rutas, podría ser interesante replantearse las ventanas de tiempo en la zona.

En quinto lugar, es interesante observar el número de clientes que se atienden en una franja de tiempo dicha preferente en diferentes escenarios. En el caso de que la ventana de tiempo sea “libre” para todos los puntos de entrega se observa que en la franja de tiempo preferente (de 8am a 9am) se atienden menos OOFF que si se “forzase” la ventana de tiempo de algunos clientes dichos Premium. Esto se podría explicar por el hecho de que los clientes dichos Premium son aquellos que facturan más en cuanto al valor de los productos entregados, estos clientes se sitúan generalmente en los centros de las ciudades, en los que, dada la mayor concentración de la población, hay más farmacias alrededor, de ahí que se abastezcan más clientes en el horario preferente.

En cuanto al impacto medioambiental, las empresas distribuidoras tienen una gran responsabilidad en una sociedad cada vez más exigente en términos de contaminación, sobretodo en las grandes urbes como pueden ser Madrid o Barcelona en las que encima se concentran más farmacias por metro cuadrado. Es por ello que deben tomar medidas para reducir su impacto y ser más sostenibles.

Por último, con respecto a las rutas, cabe mencionar que si se tuviesen todos los datos de la geografía española se podría replantear a que centro de distribución está asociada cada OOFF. Para ello, dado el volumen de información es necesario optar por un optimizador más potente en términos de cálculo computacional y el problema consistiría en resolver un MDVRP, es decir, un VRP con múltiples almacenes. Este proceso se debería repetir de vez en cuando, o cuando la empresa distribuidora estime que su cartera de clientes ha sufrido un cambio importante.

Desde mi punto de vista, el análisis hecho durante el proyecto debería hacerlo cualquier empresa dedicada a la distribución ya que se trata de un proyecto de mejora continua y gran innovación. Realizar este tipo de análisis completa el proceso de digitalización que ya vive el sector con la tecnología RFID que se ha incorporado a la trazabilidad de los productos.

Además de llegar a un análisis final de los datos disponibles y proponer mejoras se ha conseguido satisfacer todos los objetivos marcados a principio del proyecto. Se han adquirido conocimientos sobre el estado del arte de sector y sobre los algoritmos que resuelven este tipo de problemas. Además se han puesto en práctica conocimientos de optimización adquiridos durante los años de estudios, así como conocimientos del ámbito de la organización industrial.

En cuanto a las dificultades encontradas durante el proyecto se podría destacar que a pesar de tener datos reales de una empresa en cuanto a las rutas existentes, Oficinas de Farmacia abastecidas y demanda, no se disponía de los datos económicos de coste que hubiesen permitido enriquecer el estudio. A esto se le puede sumar el hecho de que no existen herramientas de licencia pública en el mercado para poder tratar el volumen de datos del que se disponía, permitiendo únicamente analizar una muestra. Es por ello que las conclusiones solo deben interpretarse de forma parcial, siendo aconsejable la realización del análisis con todos los datos existentes. Se van a presentar diferentes mejoras posibles para perfeccionar el análisis y enriquecer la solución propuesta.

Para concluir, dados los grandes cambios que se están produciendo en el ámbito de la distribución y la logística como el gran crecimiento del e-commerce, un proyecto como el presente resulta de una importancia destacable para cualquier compañía que se dedique en exclusividad o no a la distribución de productos con el fin optimizar sus costes de operación.

8.1 Ejes de evolución y líneas de investigación futuras

Con el objetivo de disminuir el impacto ambiental de empresas dedicadas a la distribución y el transporte, uno de los ejes de mejora inmediatos consiste en electrificar la flota. Además, esto puede significar una anticipación a futuras regulaciones que pueden llegar en los próximos años con respecto a la reducción del tráfico en los centros de las ciudades dados los altos niveles de contaminación. El problema ya no solo afecta a Madrid y Barcelona, sino que se está volviendo cada vez más frecuente en ciudades como Valencia, Valladolid o Murcia en las que ante situaciones de picos de polución ya han tomado medidas para regular el tráfico y controlar las emisiones de gases nocivos.

Otro eje de mejora que es vital para la subsistencia de las empresas del sector consiste en potenciar el e-commerce sin perder el contacto con el farmacéutico, ligando este servicio con el home delivery y la distribución por drones. Amazon ha adquirido recientemente una empresa farmacéutica que ya comercializaba productos por internet para operar en Estados Unidos. A pesar de que no se espera que estos cambios produzcan un cambio inmediato y radical en el mercado farmacéutico español -pues la comercialización de productos farmacéuticos para los que es necesario receta no puede realizarse online- es más que aconsejable, atendiendo a las derivas del mercado actual, que las empresas farmacéuticas comiencen a plantearse este posible cambio en sus esquemas de distribución. Además, es importante tener en cuenta que la distribución online sí puede realizarse para aquellos productos vendidos en Oficinas de Farmacia de carácter no medicinal [DIAR19].

En el caso de que llegue a materializarse la posibilidad de adquirir productos farmacéuticos por internet, es importante que dicha comercialización se realice por parte de compañías farmacéuticas ya operantes, de modo que ya conozcan las particularidades y cautelas que deben seguirse en la puesta a disposición de este tipo de productos. El cumplimiento de este extremo reduciría ampliamente el riesgo que compañías no especializadas como Amazon pueden presentar a la hora de comercializar productos tan específicos en cuanto a su conservación y a su importancia para la sociedad como los medicamentos.

La nueva tendencia al crecimiento del e-commerce farmacéutico se encuentra además alineada con la “Estrategia para el Mercado Único Digital de Europa” que la Comisión Europea presentó para el periodo 2015-2019. Dicha estrategia prevé la creación de un mercado único digital, en el que, de un modo u otro, deben comenzar a incluirse los productos farmacéuticos.

Por otro lado, no cabe olvidar que al optar por el comercio online se pierde el contacto con el profesional durante la venta, es por ello que un eje de investigación futura para las distribuidoras farmacéuticas es ligar al momento de entrega dicho vínculo de asesoramiento por parte de un profesional, de manera que no se pierda la calidad del servicio.

La aplicación del Blockchain a la distribución farmacéutica es otro de los ejes de mejora disruptiva. La tecnología Blockchain tiene una aplicación dentro del sector, sobre todo para la trazabilidad de los medicamentos y el transporte terrestre de mercancías. Con dicha tecnología los diferentes intermediarios que intervienen en un proceso pierden su poder a cambio del consenso y la confianza distribuida. En el caso del sector farmacéutico el Blockchain permite identificar medicamentos falsos, pues con dicha tecnología se crea un registro permanente e inalterable del medicamento, en el que se encuentran todas las etapas por las que éste ha pasado antes de llegar al consumidor final [CONS19].

Además de permitir trazar los productos más fácilmente, también facilita la gestión y el tratamiento de la información relativa a los clientes en toda la cadena de valor (laboratorios, distribución, cadenas sanitarias, administración pública o farmacias). La industria podría ajustar mejor la producción en función del consumo de los medicamentos, aumentar la transparencia de sus tareas de producción, incrementar el nivel de trazabilidad de sus lotes, etc. Las Oficinas de Farmacia tendrían facilidades para analizar el uso de los medicamentos que hacen sus clientes y aconsejarles mejor [CODI18].

Por último, otra mejora que completaría la optimización de rutas es el empleo del Big Data en los modelos de predicción de la demanda, para acercarse más hacia un modelo de Reaprovisionamiento Inteligente. Puesto que cada vez se tienen más históricos con respecto al consumo de medicamentos, se puede hacer una mayor previsión de la demanda para cada una de las Oficinas de Farmacia, de manera que se anticipe la planificación de la distribución reduciendo aún más los costes. Además, por lo general, los clientes de las farmacias suelen ser bastante fieles, de forma que la demanda de ciertos medicamentos requeridos por clientes enfermos se mantiene estable para cada OOFF. Si a esto se le añade la Inteligencia Artificial con las demandas de otras farmacias y diagnósticos médicos de sus clientes, el modelo de reaprovisionamiento se puede completar. De esta forma, la farmacia A, que consume el medicamento X en Y cantidades el mes Z, no tendrá que solicitarlo a la empresa distribuidora, sino que se le aprovisionará con la suficiente antelación para evitar la ruptura de stock.

En cuanto a las posibles mejoras de formulación matemática del problema, se podría enriquecer el modelo incluyendo algunas de las variantes del VRP no mencionadas. En primer lugar, podría resultar muy interesante analizar el impacto de instalar almacenes satélites para facilitar la operación en algunas zonas del territorio nacional. Para ello, el problema se podría modelizar como un VRP con instalaciones satélite (VRPSF, VRP with Satellite Facilities), que modeliza la recarga de los vehículos en mitad de la operación y una vez han servido ya a algunos clientes. En segundo lugar, en los problemas VRP se puede estudiar que una o varias variables sean aleatorias. Este es el caso de los problemas de enrutamiento de vehículos estocástico (SVRP, Stochastic VRP), en los que se puede establecer que o bien la demanda de los clientes sea una variable aleatoria o bien el tiempo de servicio de los clientes y el tiempo de viaje (interesante si no se dispone del nivel de tráfico, pero carente de interés si se tiene) sean variables aleatorias o bien que la probabilidad de ausencia o presencia de los clientes sea una variables aleatoria. Por último y no menos importante dado los problemas de contaminación existentes hoy en día, el VRP también puede centrarse en minimizar las emisiones de CO₂, las emisiones acústicas y los accidentes dentro de su función objetivo. La variante de VRP que modeliza estas variables se conoce como Green Vehicle Routing Problem (G-VRP). De esta manera se da respuesta a las crecientes preocupaciones ambientales y problemas del cambio climático.

CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA



9 Bibliografía

- [STUA16] Stuart (2016). *El futuro de la distribución de última milla*. ESADE Retail Revolution Conference.
- [OTLE19] Observatorio del Transporte y la Logística en España. Ministerio de Fomento (2019). *Informe Anual 2018*. Retrieved from: http://observatoriotransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/6E4A3024-B5BA-4AAD-BE1A-AF04D6A62A6E/151258/INFORME_OTLE_2018.pdf
- [OTLE18] Observatorio del Transporte y la Logística en España. Ministerio de Fomento (2018). *Informe Anual 2017*. Retrieved from: <http://observatoriotransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/EE4D9E3E-74A9-4C1F-A5FC-284D30BBAFFA/148831/INFORMEOTLE2017.pdf>
- [CNMC18] Comisión nacional de los mercados y la competencia (2018). *Datos estadísticos comercio electrónico*. Retrieved from: <https://www.cnmc.es/novedades/2018-10-05-el-comercio-electronico-supera-en-espana-los-8900-millones-de-euros-en-el>
- [SERV10] Servera-Frances, D., (2010). *Concepto y evolución de la función logística*. Revista Innovar Journal. Vol. 20, núm. 38. Septiembre octubre 2010. Retrieved from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/22403/34728>
- [QUIJ12] Quijada Tacuri, V.H, (2012). *Evolución de la logística a través del tiempo*. Retrieved from: https://derecho.usmp.edu.pe/Itaest_Articulos_Estudiantiles/04-2012_Evolucion_de_la_logistica_a_traves_del_tiempo.pdf
- [CONR10] Conrado Escobar Z., Guzmán Guzmán, J.O., Botero Girón, C.A., (2010) *Breve conceptualización sobre la logística*. Retrieved from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4532613>
- [COMI15] Comisión Europea (2015). *Las diez prioridades de la Comisión para 2015-2019*. Retrieved from: https://ec.europa.eu/commission/priorities_es#documents
- [FUND12] FUNDETEC. Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2012). *Análisis sectorial de implantación de las TIC en la Pyme española*. Retrieved from: <http://www.cadenadesuministro.es/wp-content/uploads/2012/04/FUNDETEC-Informe-Pyme-2011.pdf>
- [OBSE18] Observatorio eCommerce & Transformación Digital (2018). *Informe de evolución y perspectivas eCommerce*. Retrieved from: <https://observatorioecommerce.com/informe-evolucion-perspectivas-ecommerce-2017/>
- [ESTR18] Estrella Digital (2018). *La tecnología GPS y su importancia en la gestión de flotas de una empresa*. Retrieved from: <https://www.estrelladigital.es/articulo/ciencia-y-tecnologia/tecnologia-gps-importancia-gestion-flotas-empresa/20180410165840344931.html>
- [IDAC18] IDaccion Business News (2018). *La gran contribución de las TIC en la logística y distribución de las empresas*. Retrieved from: <http://idnews.idaccion.com/la-gran-contribucion-de-las-tic-en-la-logistica-y-distribucion-de-las-empresas-2/>
- [INTE18] Redacción Interempresas (2018). *El e-commerce revoluciona la logística*. Retrieved from: <http://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/211269-El-e-commerce-revoluciona-la-logistica.html>

- [DIGI18] Digital Guide (2018). *E-procurement: el aprovisionamiento electrónico*. Retrieved from: <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/vender-en-internet/e-procurement/>
- [ERTR18] Ertransit (2018). *Trazabilidad logística y tipos de trazabilidad existentes*. Retrieved from: <https://ertransit.com/trazabilidad-logistica-y-tipos-de-trazabilidad-existentes/>
- [LOTT11] Ministerio de Fomento (2011). *Legislación del transporte por carretera. Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres*. Retrieved from: <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=TTW001>
- [LOTT19] Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones (2019). *Real Decreto por el que se aprueba el reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres*. Retrieved from: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1990/09/28/1211/con>
- [LSPU98] *Ley del Servicio Postal Universal y de liberación de los Servicios Postales*. Retrieved from: <https://www.boe.es/eli/es/l/1998/07/13/24>
- [LSPU99] Ministerio de Fomento. *Real Decreto por el que se aprueba el Reglamento por el que se regula la prestación de los servicios postales, en desarrollo de lo establecido en la Ley del Servicio Postal Universal y de Liberación de los Servicios Postales*. Retrieved from: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-24919>
- [CSTG17] CST Grupo (2017). *Retos y desafíos para las empresas de logística*. Retrieved from: <https://cstgrupo.com/los-retos-para-las-empresas-de-logistica/>
- [FARM06] Farmacia Profesional (2006). *Nuevo marco legal de la distribución farmacéutica*. Retrieved from: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13088388>
- [FARM18] Correo Farmaceutico (2018). *España registra un incremento de almacenes de distribución*. Retrieved from: <https://www.correofarmaceutico.com/profesion/distribucion/espana-registra-un-incremento-de-almacenes-de-distribucion.html>
- [FEDI06] Fedifar. Federación de distribuidores farmacéuticos (2013). *Análisis sectorial de la distribución farmacéutica en España*. Retrieved from: <http://fedifar.net/wp-content/uploads/2016/01/analisis-sectorial-de-la-distribucion-farmaceutica-en-espana.pdf>
- [DOCE92] Diario oficial de las Comunidades Europeas (1992). *Directiva 92/25/CEE del Consejo relativa a la distribución al por mayor de los medicamentos para uso humano*. Retrieved from: <https://www.boe.es/doue/1992/113/L00001-00004.pdf>
- [MISC95] Ministerio de Sanidad y Consumo (1995). *Real Decreto 2259/1994, de 25 de noviembre, por el que se regula los almacenes farmacéuticos y la distribución al por mayor de medicamentos de uso humano y productos farmacéuticos*. Retrieved from: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1994/11/25/2259>
- [JEFE06] Jefatura del Estado (2006). *Ley 29/2006, de 26 de julio, de garantías y uso racional de los medicamentos y productos sanitarios*. Retrieved from: <https://www.boe.es/eli/es/l/2006/07/26/29/con>
- [MIPR13] Ministerio de la Presidencia (2013). *Real Decreto 782/2013, de 11 de octubre, sobre distribución de medicamentos de uso humano*. Retrieve from: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-10950>
- [DIEG16] Diego, Belén. DiarioFarma (2016). *Los cinco retos de la distribución farmacéutica mundial*. Retrieved from: <https://www.diariofarma.com/2016/07/22/los-cinco-retos-de-la-distribucion-farmaceutica-mundial>

- [COFA18] Correo Farmacéutico (2018). *Los retos del futuro de la distribución*. Retrieved from: <https://www.correofarmaceutico.com/profesion/distribucion/los-retos-de-futuro-de-la-distribucion.html>
- [WIKI19] Wikipedia, La enciclopedia libre (2019). *Problemas de enrutamiento de vehículos*. Retrieved from: https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_rutas_de_veh%C3%ADculos
- [HERN07] Hernán Restrepo, J., Arturo Cruz T, E., Daniel Medina, P. *Un problema logístico de ruteo de vehículos y una solución con Solver de excel: un caso de estudio*. Universidad Tecnológica de Pereira (2007).
- [VERA17] Vera López, J.A. (2017). *Optimización de las redes de distribución del Servicio Postal Universal*. Retrieved from: <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/15072>
- [LOTH14] Toth, P., Vigo, D. (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. SIAM.
- [GOLD08] Golden, B., Raghavan, S., Wasil, E. (2008). *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*. Springer
- [NASS10] El-Sherbeny, N., (2010). *Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods*. Journal of King Saud University (Science).
- [ERDO17] Erdogan, G., (2017). *An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems*. Computers and Operations Research. Elsevier.
- [DIAR19] Diario Sanitario (2019). *Amazon: ¿la nueva amenaza para la farmacia online?* Retrieved from: <https://diariosanitario.com/amazon-la-nueva-amenaza-para-la-farmacia-online/>
- [CONS19] ConSalud.es (2019). *El “Blockchain” llega al sector farmacéutico*. Retrieved from: https://www.consalud.es/tecnologia/el-blockchain-llega-al-sector-farmaceutico_65304_102.html
- [CODI18] CofaresDigital (2018). *Blockcahin En El Sector Farma*. Retrieved from: <http://cofaresdigital.es/tomas-mateos/blockchain-farma/>

ANEXOS



10 Anexos

ANEXO A – Modelo matemático VRP completo

Con el objetivo de completar la formulación matemática del VRPTW, a continuación se propone una formulación matemática que incluye las variantes del VRP siguientes: CVRP, VRPTW, MDVRP, VRPPD y VRPB. De las variantes presentadas en el punto 5.4.1. no se incluyen las siguientes: SDVRP y PVRP.

Para formular el problema, primero se debe introducir la notación que se va a emplear. Se va a completar con nuevas variables la notación ya presentada en el punto 5.4.2.

Se define el conjunto de vértices V_D que contiene todos los almacenes del problema, V_C que representa el conjunto de clientes (denotados en la anterior formulación con C) y $V = V_D \cup V_C$ que une los dos conjuntos. Además, se define $V_M \subseteq V_C$ como el subconjunto de clientes que deben ser visitados dentro de toda la población de clientes. Se establece el grafo dirigido $G = (V, A)$ que forma la red del problema VRP. Se define la ganancia obtenida al atender a un cliente $i \in V_C$ como p_i , la cantidad de mercancía que se debe recoger del cliente como q_i , la cantidad de mercancía que se debe entregar como $\hat{q}_i$ y el tiempo de servicio requerido por el cliente i como s_i . Además, se define la ventana de tiempo para el cliente i como $[a_i, b_i]$. Se debe tener también en cuenta que existe una ventana de tiempo para cada almacén.

Se denotará el conjunto de vehículos como K , y se define para cada vehículo $k \in K$ el depósito de origen del vehículo como $o^k \in V_D$ pues se contempla que puedan existir más de un depósito, el tiempo de inicio del trabajo del vehículo como τ^k , el coste fijo de usar el vehículo como f^k la capacidad del vehículo como Q^k , el límite de distancia como D^k , el límite de tiempo de conducción como $\widehat{D}^k$, el límite de tiempo de trabajo como W^k , y el almacén al que vuelve el vehículo como r^k . Asociado a cada arco $(i, j) \in A$, hay una distancia d_{ij} y una duración de conducción $\widehat{d}_{ij}$. En el modelo presentando en el apartado 5.4.2 el tiempo del arco incluía el tiempo de servicio del cliente i (la variable del modelo anterior, $t_{ij} = \widehat{d}_{ij} + s_i$). Además, cada vehículo $k \in K$, tiene un coste de viaje c_{ij}^k asociado al arco (i, j) .

A continuación, presentamos los parámetros relacionados con las restricciones operativas. Se define Ω que tomará el valor 1 si los vehículos tienen que regresar a un almacén en concreto estipulado con antelación o que valdrá 0 en caso contrario. Del mismo modo, se define β como 1 si se impone la restricción de visita de los puntos de entrega antes que los puntos de recogida de mercancía (VRPB) o como 0 en caso contrario. Además, se define que θ es igual a 1 si las ventanas de tiempo pueden violarse a costa de una penalización Π por unidad de tiempo, y 0 en caso contrario.

Por último, quedan por definir las variables de decisión. Para cada uno de los arcos (i, j) en los que $i \neq j$, $i \neq n+1$, $j \neq 0$ y para cada vehículo k se define $x_{ij}^k = 1$ si y solo si en la solución óptima el camino (i, j) es utilizado por el vehículo k y se define $x_{ij}^k = 0$ en el resto de los casos. La variable y_i^k es igual a 1 si el vehículo k visita y sirve al vértice i , y 0 en caso contrario. La cantidad de mercancía a devolver y la cantidad de mercancía para el reparto transportadas por el vehículo k en el arco (i, j) se define como w_{ij}^k y z_{ij}^k respectivamente. También se define t_i^k como la hora a la que el vehículo k llega al vértice i , y v_i como el tiempo de violación de la ventana de tiempo del vértice i . La formulación para el VRP unificado es entonces [ERDO17]:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V_C} \sum_{k \in K} p_i y_i^k - \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} c_{ij}^k x_{ij}^k - \sum_{j \in V_C} \sum_{k \in K} f^k x_{o^k, j}^k - \Pi \sum_{i \in V} v_i \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1 \quad \forall i \in V_M, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k \leq 1 \quad \forall i \in V_C \setminus V_M, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ij}^k \leq \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k \quad \forall j \in V_C, k \in K, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ij}^k \leq \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k \quad \forall j \in V_C, k \in K, \quad (5)$$

$$\sum_{p \in S, q \in V \setminus S} x_{pq}^k \geq \Omega y_i^k \quad \forall i \in V_C, k \in K, S \subset V : i \in S, r^k \in V \setminus S, \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V_C} x_{ok,j}^k \leq 1 \quad \forall k \in K, \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k \leq 1 - \beta \quad \forall (i, j) \in A : q_i > 0 \text{ and } \hat{q}_j > 0 \quad (8)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} w_{ij}^k - \sum_{j \in V \setminus \{i\}} w_{ji}^k = q_i y_i^k \quad \forall i \in V_C, k \in K, \quad (9)$$

$$\sum_{i \in V_C} w_{i,r^k}^k = \sum_{j \in V_C} q_j y_j^k \quad \forall k \in K, \quad (10)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} z_{ji}^k - \sum_{j \in V \setminus \{i\}} z_{ij}^k = \hat{q}_i y_i^k \quad \forall i \in V_C, k \in K, \quad (11)$$

$$\sum_{i \in V_C} z_{ok,j}^k = \sum_{i \in V_C} \hat{q}_i y_i^k \quad \forall k \in K, \quad (12)$$

$$t_i^k + (\hat{d}_{ij} + s_i) x_{ij}^k - W^k (1 - x_{ij}^k) \leq t_j^k \quad (13)$$

$$\forall (i, j) \in A : j \in V_C, k \in K,$$

$$a_i \leq t_i^k \leq b_i - s_i + v_i \quad \forall i \in V_C, k \in K, \quad (14)$$

$$v_i \leq M \cdot \Theta \quad \forall i \in V_C, \quad (15)$$

$$t_{ok}^k = \tau^k \quad \forall k \in K, \quad (16)$$

$$t_i^k + (s_i + \hat{d}_{ij}) x_{i,r^k}^k \leq b_{r^k} + v_{r^k} + M(1 - \Omega) \quad (17)$$

$$\forall (i, j) \in A : i \in V_C, k \in K,$$

$$w_{ij}^k + z_{ij}^k \leq Q^k x_{ij}^k \quad \forall (i, j) \in A, k \in K, \quad (18)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} d_{ij} x_{ij}^k \leq D^k \quad \forall (i, j) \in A, k \in K, \quad (19)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} \hat{d}_{ij} x_{ij}^k \leq \hat{D}^k \quad \forall (i, j) \in A, k \in K, \quad (20)$$

$$\sum_{i \in V_C} s_i y_i^k + \sum_{(i,j) \in A} \hat{d}_{ij} x_{ij}^k \leq W^k \quad \forall (i, j) \in A, k \in K, \quad (21)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A, k \in K, \quad (22)$$

$$y_i^k \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V_C, k \in K, \quad (23)$$

$$v_i \geq 0 \quad \forall i \in V_C, \quad (24)$$

$$w_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, k \in K, \quad (25)$$

$$z_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, k \in K. \quad (26)$$

La función objetivo (1) maximiza la ganancia de la operativa, al beneficio total recaudado le descuenta el coste de los vehículos por ruta, el coste fijo de usar los vehículos y la penalización por violar los plazos. Primero se definen las restricciones que establecen las reglas de visita de

los repartidores a los clientes de los vehículos. La restricción (3) impone una visita a los clientes que deben ser visitados dentro del conjunto de todos los clientes, y la restricción (2) asegura que cada cliente sea visitado como máximo una vez. El conjunto de desigualdades de la restricción (4) es una forma de representar la conservación del flujo, que obliga a que haya un flujo de entrada si hay un flujo de salida, y acomoda las variantes de VRP en las que el vehículo no tiene que regresar a su depósito. Las restricciones (5) proporcionan la conectividad entre el depósito de origen del vehículo k y los clientes visitados por este vehículo, y las restricciones (6) dicta que el vehículo regrese a su depósito si es necesario. Las restricciones (7) establece que cada vehículo se puede utilizar como máximo una vez, mientras que la restricción de regreso se aplica mediante la restricción (8).

A continuación, se encuentran las restricciones que establecen los requisitos del cliente. La conservación del flujo para el producto de recolección es proporcionada por las restricciones (9) y (10). Del mismo modo, la conservación del flujo para el producto de entrega se proporciona por las restricciones (11) y (12). La restricción (13) representa las ventanas de tiempo. Los límites inferior y superior de la ventana de tiempo para cada cliente, y la variable para dar cuenta de la violación se establecen en las restricciones (14) y (15).

El conjunto final de restricciones establece las restricciones relacionadas con los vehículos. Las restricciones (16) y (17) establecen el inicio del tiempo de trabajo para el vehículo k , y asegura que el vehículo regrese a su depósito a tiempo si es necesario porque se ha alcanzado el límite de tiempo de servicio del vehículo.

La restricción (18) prohíbe la violación de las capacidades del vehículo. Las restricciones (19) - (21) indican la distancia, el tiempo de conducción y los límites de tiempo de trabajo para cada vehículo, respectivamente.

Finalmente, las restricciones (22) - (26) son restricciones de integralidad y no negatividad.

De la literatura se extrae que hasta la fecha, no ha habido ningún intento de formular un VRP con todas las restricciones mencionadas anteriormente. No obstante, de acuerdo con esta formulación el problema solo puede resolverse de manera óptima para poblaciones pequeñas de clientes. Con esta formulación se define el problema VRP con precisión y se demuestra su complejidad.

ANEXO B – Resultados Escenario A (caso absurdo)10.1.1 DC1

Vehicle: V1		Stops:	28	Net profit:		-314,53			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	63,2	
1	0000012149	0,45	0:02	06:02	06:10	0:10	0	62,9	
2	0000054940	4,47	0:12	06:20	06:24	0:24	0	57,5	
3	0000023580	6,87	0:19	06:31	06:38	0:38	0	56,6	
4	0000064028	13,90	0:29	06:48	06:53	0:53	0	56,6	
5	0000052067	45,92	0:58	07:22	07:29	1:29	0	56,4	
6	0000016876	46,77	1:01	07:32	07:42	1:42	0	54,1	
7	0000026026	56,35	1:13	07:54	08:02	2:02	0	52,8	
8	0000003269	58,81	1:22	08:11	08:15	2:15	0	51,7	
9	0000034190	58,86	1:22	08:15	08:25	2:25	0	47,8	
10	0000025139	59,21	1:24	08:27	08:35	2:35	0	45,9	
11	0000006580	62,17	1:33	08:44	08:52	2:52	0	43,5	
12	0000053098	67,03	1:45	09:04	09:13	3:13	0	43	
13	0000016913	67,77	1:47	09:15	09:21	3:21	0	38,9	
14	0000011069	74,83	2:01	09:35	09:40	3:40	0	32,9	
15	0000026750	83,85	2:19	09:58	10:08	4:08	0	31,8	
16	0000017495	112,83	2:59	10:48	10:57	4:57	0	27,4	
17	0000003103	122,71	3:15	11:13	11:17	5:17	0	24,1	
18	0000086730	139,07	3:37	11:39	11:48	5:48	0	22,5	
19	0000017873	156,70	3:56	12:07	12:15	6:15	0	20,5	
20	0000025706	188,31	4:29	12:48	12:54	6:54	0	20,3	
21	0000074866	212,93	5:02	13:27	13:33	7:33	0	13,7	
22	0000021271	214,03	5:06	13:37	13:42	7:42	0	10,2	
23	0000022782	214,84	5:08	13:44	13:48	7:48	0	7,23	
24	0000013737	216,78	5:14	13:54	13:57	7:57	0	5,11	
25	0000014947	226,80	5:26	14:09	14:17	8:17	0	2,21	
26	0000009582	230,10	5:35	14:26	14:30	8:30	0	0,22	
27	0000055184	237,91	5:43	14:38	14:45	8:45	0	0	
28	Depot	241,95	5:47	14:49		8:49	0	0	

Vehicle: V2		Stops:	36	Net profit:		-433,85			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	55,9	
1	0000008286	4,08	0:12	06:12	06:17	0:17	0	54,6	
2	0000024811	6,63	0:21	06:26	06:30	0:30	0	54,3	
3	0000022472	12,05	0:29	06:38	06:42	0:42	0	51,8	
4	0000011825	20,89	0:41	06:54	06:58	0:58	0	49,8	
5	0000004853	21,54	0:44	07:01	07:10	1:10	0	46,7	

6	0000019455	25,03	0:57	07:23	07:28	1:28	0	42,2
7	0000096084	27,06	1:04	07:35	07:42	1:42	0	38,9
8	0000055148	33,55	1:15	07:53	07:59	1:59	0	38,7
9	0000009442	34,79	1:21	08:05	08:13	2:13	0	38,5
10	0000009329	35,81	1:26	08:18	08:27	2:27	0	33,6
11	0000021903	38,11	1:35	08:36	08:44	2:44	0	32,9
12	0000013702	38,98	1:37	08:46	08:50	2:50	0	30,3
13	0000053609	41,74	1:45	08:58	09:04	3:04	0	29,8
14	0000037905	57,77	2:09	09:28	09:35	3:35	0	29,3
15	0000010027	64,99	2:21	09:47	09:55	3:55	0	28,9
16	0000001824	69,00	2:37	10:11	10:17	4:17	0	26,9
17	0000045408	70,93	2:46	10:26	10:30	4:30	0	22,6
18	0000003187	72,47	2:53	10:37	10:42	4:42	0	21,7
19	0000003349	83,24	3:13	11:02	11:09	5:09	0	21,6
20	0000021429	114,43	3:48	11:44	11:51	5:51	0	21,4
21	0000003184	137,97	4:14	12:17	12:24	6:24	0	20,6
22	0000002217	146,83	4:25	12:35	12:40	6:40	0	19,7
23	0000002513	152,63	4:35	12:50	12:55	6:55	0	18,3
24	0000052307	164,59	4:52	13:12	13:20	7:20	0	17,5
25	0000017546	166,31	4:57	13:25	13:33	7:33	0	16,8
26	0000012034	166,62	4:58	13:34	13:41	7:41	0	14,5
27	0000002510	172,99	5:11	13:54	14:00	8:00	0	9,2
28	0000023715	177,79	5:19	14:08	14:12	8:12	0	8,01
29	0000017427	181,92	5:31	14:24	14:28	8:28	0	6,4
30	0000015755	187,71	5:41	14:38	14:42	8:42	0	5,59
31	0000025783	229,89	6:27	15:28	15:35	9:35	0	4,87
32	0000021755	259,40	6:56	16:04	16:07	10:07	0	4,78
33	0000017761	285,55	7:22	16:33	16:40	10:40	0	4,27
34	0000021793	295,54	7:36	16:54	16:58	10:58	0	3,73
35	0000023160	302,80	7:47	17:09	17:17	11:17	0	0
36	Depot	333,73	8:17	17:47		11:47	0	0

Vehicle:	V3	Stops:	55	Net profit:	-114,77			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	115
1	0000018000	6,32	0:13	06:13	06:21	0:21	0	113
2	0000004488	7,74	0:17	06:25	06:33	0:33	0	111
3	0000006158	8,21	0:19	06:35	06:41	0:41	0	108
4	0000010886	9,38	0:24	06:46	06:49	0:49	0	107
5	0000019754	11,46	0:33	06:58	07:06	1:06	0	105
6	0000008368	12,41	0:37	07:10	07:18	1:18	0	104
7	0000024314	12,98	0:39	07:20	07:24	1:24	0	103
8	0000078898	15,73	0:49	07:34	07:43	1:43	0	99,2
9	0000082904	16,93	0:55	07:49	07:55	1:55	0	97,3

10	0000019005	18,13	1:01	08:01	08:08	2:08	0	94,2
11	0000011208	19,44	1:05	08:12	08:18	2:18	0	94
12	0000018407	19,62	1:06	08:19	08:27	2:27	0	91,2
13	0000017204	20,69	1:11	08:32	08:37	2:37	0	90,1
14	0000019555	20,84	1:11	08:37	08:45	2:45	0	89,8
15	0000011896	21,11	1:12	08:46	08:53	2:53	0	87,8
16	0000021864	21,59	1:14	08:55	09:01	3:01	0	86,1
17	0000066720	22,97	1:21	09:08	09:15	3:15	0	81,4
18	0000009034	24,03	1:25	09:19	09:27	3:27	0	81,1
19	0000002611	26,34	1:37	09:39	09:48	3:48	0	80,2
20	0000009543	27,25	1:41	09:52	09:56	3:56	0	78
21	0000018546	29,27	1:51	10:06	10:10	4:10	0	76,6
22	0000084860	30,52	1:56	10:15	10:23	4:23	0	72,9
23	0000018104	32,73	2:03	10:30	10:39	4:39	0	72,7
24	0000094610	41,88	2:19	10:55	11:00	5:00	0	70,2
25	0000053119	47,75	2:37	11:18	11:23	5:23	0	68,5
26	0000005625	51,90	2:51	11:37	11:40	5:40	0	64,8
27	0000009091	52,36	2:53	11:42	11:45	5:45	0	63,1
28	0000062290	52,77	2:54	11:46	11:56	5:56	0	59,9
29	0000092120	53,13	2:57	11:59	12:09	6:09	0	59,2
30	0000083995	54,13	3:03	12:15	12:19	6:19	0	57,1
31	0000095350	54,46	3:05	12:21	12:30	6:30	0	53,7
32	0000076600	55,05	3:09	12:34	12:37	6:37	0	50
33	0000003255	56,09	3:13	12:41	12:45	6:45	0	46,9
34	0000023609	56,99	3:17	12:49	12:58	6:58	0	46,8
35	0000030925	57,85	3:20	13:01	13:05	7:05	0	45,5
36	0000019519	59,26	3:25	13:10	13:17	7:17	0	45,2
37	0000012314	59,65	3:27	13:19	13:23	7:23	0	43,2
38	0000011621	61,27	3:34	13:30	13:34	7:34	0	43
39	0000012556	61,77	3:37	13:37	13:45	7:45	0	37,3
40	0000026159	61,84	3:38	13:46	13:55	7:55	0	36,2
41	0000004300	65,92	3:54	14:11	14:20	8:20	0	33
42	0000008021	69,16	4:04	14:30	14:35	8:35	0	32,7
43	0000064048	70,27	4:09	14:40	14:49	8:49	0	32,6
44	0000026160	72,34	4:15	14:55	15:00	9:00	0	31,7
45	0000007967	72,74	4:18	15:03	15:10	9:10	0	30,6
46	0000008776	74,38	4:25	15:17	15:21	9:21	0	24
47	0000019575	76,76	4:34	15:30	15:34	9:34	0	23,8
48	0000009195	78,43	4:41	15:41	15:44	9:44	0	16,3
49	0000017594	79,05	4:45	15:48	15:52	9:52	0	5,54
50	0000017899	79,96	4:51	15:58	16:02	10:02	0	5,48
51	0000014338	80,28	4:53	16:04	16:10	10:10	0	2,73
52	0000087103	81,31	4:56	16:13	16:22	10:22	0	2
53	0000075040	82,74	5:00	16:26	16:33	10:33	0	0,23
54	0000054891	84,23	5:06	16:39	16:42	10:42	0	0

Estudio y optimización de la red de transporte de una empresa de distribución

55	Depot	88,29	5:12	16:48	10:48	0	0
----	-------	-------	------	-------	-------	---	---

Vehicle:	V4	Stops:	41	Net profit:	-71,04			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	80,2
1	0000019682	6,98	0:14	06:14	06:17	0:17	0	80,2
2	0000013307	8,40	0:19	06:22	06:32	0:32	0	79,9
3	0000015687	10,29	0:26	06:39	06:48	0:48	0	76,4
4	0000008704	12,38	0:33	06:55	07:03	1:03	0	75,5
5	0000011177	15,27	0:43	07:13	07:20	1:20	0	73,4
6	0000017236	15,78	0:45	07:22	07:30	1:30	0	72,2
7	0000008829	17,75	0:53	07:38	07:43	1:43	0	71,4
8	0000016646	18,29	0:55	07:45	07:49	1:49	0	69,6
9	0000000683	19,42	0:59	07:53	08:02	2:02	0	67,1
10	0000021796	19,83	1:00	08:03	08:07	2:07	0	63,2
11	0000091850	21,53	1:06	08:13	08:18	2:18	0	61,5
12	0000018116	22,89	1:10	08:22	08:28	2:28	0	60,4
13	0000013565	23,03	1:10	08:28	08:35	2:35	0	58,4
14	0000007300	23,70	1:12	08:37	08:45	2:45	0	48,4
15	0000040400	25,16	1:17	08:50	08:59	2:59	0	45,5
16	0000004440	26,49	1:23	09:05	09:13	3:13	0	42,6
17	0000063910	27,27	1:26	09:16	09:21	3:21	0	42,4
18	0000005645	28,16	1:29	09:24	09:32	3:32	0	37,3
19	0000002216	28,94	1:31	09:34	09:44	3:44	0	35,8
20	0000017130	30,49	1:36	09:49	09:58	3:58	0	35,4
21	0000025351	30,90	1:38	10:00	10:06	4:06	0	35
22	0000009043	32,18	1:43	10:11	10:20	4:20	0	31,1
23	0000085905	33,18	1:47	10:24	10:29	4:29	0	28,4
24	0000053424	33,77	1:50	10:32	10:36	4:36	0	27,7
25	0000017434	34,01	1:51	10:37	10:46	4:46	0	26,8
26	0000016558	34,57	1:54	10:49	10:56	4:56	0	25,2
27	0000021997	35,36	1:57	10:59	11:04	5:04	0	22
28	0000006097	35,76	1:59	11:06	11:10	5:10	0	20,5
29	0000018558	36,83	2:04	11:15	11:22	5:22	0	17,6
30	0000026480	37,43	2:06	11:24	11:32	5:32	0	16,1
31	0000016023	38,45	2:10	11:36	11:41	5:41	0	14,9
32	0000018960	40,39	2:17	11:48	11:58	5:58	0	13,7
33	0000023177	41,37	2:22	12:03	12:07	6:07	0	13
34	0000006342	41,82	2:23	12:08	12:12	6:12	0	11,2
35	0000017371	42,41	2:25	12:14	12:17	6:17	0	8,67
36	0000095901	43,33	2:28	12:20	12:27	6:27	0	6,54
37	0000003625	44,63	2:33	12:32	12:37	6:37	0	4,92
38	0000021405	44,86	2:34	12:38	12:43	6:43	0	3,91
39	0000071211	46,91	2:42	12:51	12:55	6:55	0	1,24

40	0000021946	49,22	2:51	13:04	13:14	7:14	0	0
41	Depot	54,65	2:58	13:21		7:21	0	0

Vehicle: V5		Stops: 45	Net profit: -147,79					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	64,4
1	0000073653	3,91	0:11	06:11	06:19	0:19	0	64,2
2	0000014083	7,40	0:23	06:31	06:37	0:37	0	61,4
3	0000013588	9,53	0:33	06:47	06:51	0:51	0	60
4	0000060854	9,83	0:35	06:53	07:02	1:02	0	59,7
5	0000018252	10,63	0:38	07:05	07:13	1:13	0	59,6
6	0000042775	12,49	0:45	07:20	07:23	1:23	0	59,1
7	0000062392	13,98	0:51	07:29	07:35	1:35	0	54,6
8	0000013632	15,29	0:56	07:40	07:46	1:46	0	53,7
9	0000007289	15,32	0:56	07:46	07:54	1:54	0	51,1
10	0000018065	17,31	1:04	08:02	08:11	2:11	0	49,6
11	0000011028	18,16	1:08	08:15	08:22	2:22	0	49,5
12	0000002121	19,97	1:16	08:30	08:37	2:37	0	46,2
13	0000010452	21,31	1:21	08:42	08:51	2:51	0	42,8
14	0000011752	23,44	1:29	08:59	09:08	3:08	0	39,1
15	0000024250	25,54	1:38	09:17	09:25	3:25	0	38,9
16	0000048005	26,11	1:41	09:28	09:38	3:38	0	38,8
17	0000018180	26,93	1:45	09:42	09:51	3:51	0	35,8
18	0000011147	29,10	1:51	09:57	10:03	4:03	0	35,2
19	0000009951	32,51	2:00	10:12	10:22	4:22	0	35
20	0000002044	34,68	2:07	10:29	10:38	4:38	0	34,9
21	0000009100	37,77	2:19	10:50	10:55	4:55	0	33,6
22	0000021060	38,89	2:25	11:01	11:05	5:05	0	31,9
23	0000019631	40,57	2:31	11:11	11:18	5:18	0	29,5
24	0000025093	44,03	2:43	11:30	11:35	5:35	0	27,5
25	0000012417	45,32	2:47	11:39	11:46	5:46	0	26,5
26	0000023656	58,15	3:09	12:08	12:12	6:12	0	25,7
27	0000005577	73,07	3:32	12:35	12:44	6:44	0	25
28	0000014233	74,65	3:38	12:50	12:58	6:58	0	22,2
29	0000008105	76,91	3:45	13:05	13:14	7:14	0	21,8
30	0000002317	77,29	3:47	13:16	13:26	7:26	0	20,2
31	0000001798	78,43	3:52	13:31	13:37	7:37	0	19,9
32	0000023743	79,14	3:56	13:41	13:45	7:45	0	16,9
33	0000010963	79,85	4:00	13:49	13:53	7:53	0	13,4
34	0000011603	80,07	4:01	13:54	14:00	8:00	0	12,1
35	0000012831	81,17	4:06	14:05	14:09	8:09	0	10,8
36	0000053984	83,14	4:14	14:17	14:25	8:25	0	9,58
37	0000096050	83,87	4:17	14:28	14:34	8:34	0	9,5
38	0000045205	90,05	4:28	14:45	14:54	8:54	0	9,32

39	0000002999	99,98	4:41	15:07	15:12	9:12	0	8,24
40	0000012955	100,55	4:44	15:15	15:23	9:23	0	7,02
41	0000002166	102,66	4:51	15:30	15:40	9:40	0	5,79
42	0000014319	104,53	4:58	15:47	15:55	9:55	0	5,18
43	0000015095	105,25	5:01	15:58	16:07	10:07	0	2,29
44	0000053521	107,14	5:07	16:13	16:19	10:19	0	0
45	Depot	113,69	5:19	16:31		10:31	0	0

10.1.2 DC2

Vehicle:	V1	Stops:	31	Net profit:	-297,98			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	36,9
1	0000091435	9,01	0:13	06:13	06:16	0:16	0	36,3
2	0000018674	17,03	0:27	06:30	06:36	0:36	0	35,3
3	0000016460	23,29	0:40	06:49	06:56	0:56	0	32,8
4	0000003342	27,87	0:54	07:10	07:15	1:15	0	30,3
5	0000003928	28,67	0:56	07:17	07:23	1:23	0	30,1
6	0000091996	51,21	1:20	07:47	07:52	1:52	0	27,5
7	0000013054	53,67	1:29	08:01	08:06	2:06	0	25,1
8	0000020943	59,83	1:42	08:19	08:26	2:26	0	22,6
9	0000014028	66,88	1:55	08:39	08:45	2:45	0	19,7
10	0000021646	83,86	2:19	09:09	09:14	3:14	0	17,7
11	0000024810	84,72	2:21	09:16	09:24	3:24	0	14
12	0000085225	108,08	2:54	09:57	10:04	4:04	0	12,5
13	0000024053	112,88	3:02	10:12	10:20	4:20	0	12
14	0000004718	128,97	3:26	10:44	10:50	4:50	0	10,7
15	0000018039	129,17	3:27	10:51	10:59	4:59	0	9,62
16	0000009090	144,09	3:42	11:14	11:18	5:18	0	9,18
17	0000005394	146,91	3:52	11:28	11:37	5:37	0	8,68
18	0000019681	149,99	4:03	11:48	11:55	5:55	0	8,43
19	0000002697	150,54	4:05	11:57	12:03	6:03	0	8,2
20	0000003042	151,85	4:10	12:08	12:15	6:15	0	8,1
21	0000004017	153,19	4:14	12:19	12:28	6:28	0	5,98
22	0000017351	157,26	4:24	12:38	12:42	6:42	0	5,85
23	0000014207	159,77	4:32	12:50	12:58	6:58	0	4,88
24	0000005908	169,42	4:45	13:11	13:15	7:15	0	4,57
25	0000008285	185,33	5:03	13:33	13:42	7:42	0	2,77
26	0000023518	190,50	5:14	13:53	13:57	7:57	0	1,97
27	0000017389	190,80	5:16	13:59	14:06	8:06	0	1,18
28	0000022980	192,29	5:22	14:12	14:18	8:18	0	1,05
29	0000003765	192,74	5:25	14:21	14:29	8:29	0	0,15
30	0000002975	197,47	5:39	14:43	14:53	8:53	0	0
31	Depot	270,89	6:42	15:56		9:56	0	0

Vehicle: V2		Stops: 56	Net profit: -117,34					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	74,7
1	0000023440	13,49	0:15	06:15	06:19	0:19	0	74
2	0000024073	35,36	0:41	06:45	06:55	0:55	0	72,6
3	0000025679	44,73	0:56	07:10	07:15	1:15	0	72,5
4	0000009726	53,51	1:14	07:33	07:42	1:42	0	70,3
5	0000002452	54,08	1:16	07:44	07:51	1:51	0	68,1
6	0000015688	55,83	1:22	07:57	08:05	2:05	0	68
7	0000011765	60,08	1:29	08:12	08:22	2:22	0	67,2
8	0000062200	61,45	1:33	08:26	08:35	2:35	0	65,7
9	0000017526	62,40	1:35	08:37	08:41	2:41	0	61,5
10	0000018038	63,32	1:38	08:44	08:50	2:50	0	59
11	0000056464	63,54	1:39	08:51	08:59	2:59	0	58,6
12	0000002947	64,50	1:42	09:02	09:11	3:11	0	58,1
13	0000016098	64,85	1:43	09:12	09:16	3:16	0	56,6
14	0000003632	65,88	1:46	09:19	09:29	3:29	0	55,5
15	0000019697	66,86	1:49	09:32	09:35	3:35	0	53,9
16	0000002442	67,60	1:51	09:37	09:42	3:42	0	52,4
17	0000004835	69,61	1:56	09:47	09:55	3:55	0	48,5
18	0000011704	69,85	1:57	09:56	10:00	4:00	0	46,4
19	0000024670	70,67	1:59	10:02	10:09	4:09	0	46,2
20	0000071645	71,30	2:01	10:11	10:15	4:15	0	45,6
21	0000060761	71,77	2:02	10:16	10:22	4:22	0	45,3
22	0000018697	72,57	2:05	10:25	10:29	4:29	0	42,6
23	0000004557	74,84	2:11	10:35	10:39	4:39	0	38,3
24	0000012431	75,59	2:13	10:41	10:46	4:46	0	37,3
25	0000025883	77,71	2:20	10:53	11:00	5:00	0	34,1
26	0000012191	79,54	2:26	11:06	11:11	5:11	0	33,3
27	0000003734	83,02	2:34	11:19	11:27	5:27	0	29,6
28	0000019829	83,48	2:35	11:28	11:37	5:37	0	26,7
29	0000059770	83,74	2:36	11:38	11:42	5:42	0	26,5
30	0000044020	84,19	2:38	11:44	11:53	5:53	0	25,6
31	0000018348	84,41	2:39	11:54	11:59	5:59	0	25,4
32	0000021803	85,70	2:43	12:03	12:12	6:12	0	24,1
33	0000050335	87,47	2:47	12:16	12:22	6:22	0	23,9
34	0000021773	87,83	2:49	12:24	12:28	6:28	0	23,8
35	0000006766	88,09	2:50	12:29	12:38	6:38	0	22,4
36	0000006681	89,68	2:56	12:44	12:48	6:48	0	21,3
37	0000023799	90,23	2:59	12:51	12:58	6:58	0	20,5
38	0000093388	91,39	3:02	13:01	13:08	7:08	0	20,5
39	0000018199	91,59	3:02	13:08	13:12	7:12	0	20,2
40	0000003085	91,99	3:03	13:13	13:20	7:20	0	17,8
41	0000012164	92,54	3:05	13:22	13:30	7:30	0	16,6

Estudio y optimización de la red de transporte de una empresa de distribución

42	0000075550	93,44	3:08	13:33	13:40	7:40	0	15,3
43	0000015183	93,84	3:10	13:42	13:49	7:49	0	15,3
44	0000016417	94,23	3:11	13:50	13:57	7:57	0	12,8
45	0000067887	94,98	3:13	13:59	14:04	8:04	0	10,9
46	0000026157	95,37	3:14	14:05	14:08	8:08	0	8,02
47	0000026152	95,64	3:15	14:09	14:13	8:13	0	7,76
48	0000013289	95,94	3:17	14:15	14:24	8:24	0	6,79
49	0000090360	96,31	3:18	14:25	14:30	8:30	0	6,53
50	0000067933	96,73	3:19	14:31	14:39	8:39	0	6,11
51	0000008020	97,89	3:22	14:42	14:46	8:46	0	5,67
52	0000048250	99,55	3:26	14:50	14:59	8:59	0	4,11
53	0000010911	103,29	3:38	15:11	15:16	9:16	0	3,78
54	0000052535	103,45	3:38	15:16	15:25	9:25	0	3,16
55	0000036480	104,19	3:41	15:28	15:38	9:38	0	0
56	Depot	106,67	3:49	15:46		9:46	0	0

Vehicle: V3		Stops: 34	Net profit: -198,76					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	62,5
1	0000038080	3,32	0:08	06:08	06:11	0:11	0	60,9
2	0000084525	4,06	0:11	06:14	06:20	0:20	0	59,5
3	0000001717	8,65	0:21	06:30	06:37	0:37	0	58,4
4	0000015198	10,02	0:25	06:41	06:46	0:46	0	55,9
5	0000026117	12,70	0:33	06:54	07:01	1:01	0	52
6	0000072003	13,69	0:36	07:04	07:08	1:08	0	49,1
7	0000025152	14,03	0:37	07:09	07:19	1:19	0	49
8	0000017881	15,49	0:43	07:25	07:30	1:30	0	48,2
9	0000017282	16,46	0:46	07:33	07:38	1:38	0	47,7
10	0000010170	17,26	0:50	07:42	07:51	1:51	0	45,9
11	0000012823	31,13	1:06	08:07	08:15	2:15	0	45
12	0000055265	31,13	1:06	08:15	08:25	2:25	0	38,5
13	0000002918	31,49	1:07	08:26	08:31	2:31	0	38,4
14	0000096530	48,99	1:36	09:00	09:08	3:08	0	38,3
15	0000023727	64,58	2:15	09:47	09:57	3:57	0	35,7
16	0000004973	65,59	2:17	09:59	10:06	4:06	0	35,6
17	0000010501	76,27	2:38	10:27	10:35	4:35	0	31,1
18	0000024107	94,19	2:58	10:55	11:04	5:04	0	30,8
19	0000003803	110,84	3:21	11:27	11:35	5:35	0	29,9
20	0000012354	124,98	3:41	11:55	12:01	6:01	0	29,7
21	0000024628	129,69	3:51	12:11	12:20	6:20	0	28,9
22	0000014482	138,34	4:05	12:34	12:38	6:38	0	27,3
23	0000016269	139,17	4:09	12:42	12:46	6:46	0	23,8
24	0000004817	142,90	4:17	12:54	12:58	6:58	0	23,2
25	0000023429	148,94	4:29	13:10	13:19	7:19	0	16,6

26	0000004506	150,76	4:36	13:26	13:36	7:36	0	16,4
27	0000012675	151,52	4:40	13:40	13:47	7:47	0	11,6
28	0000024623	151,85	4:41	13:48	13:53	7:53	0	10,1
29	0000009512	152,11	4:42	13:54	14:04	8:04	0	9,92
30	0000001885	153,12	4:45	14:07	14:14	8:14	0	5,78
31	0000046244	153,98	4:48	14:17	14:23	8:23	0	1,4
32	0000012844	165,94	5:03	14:38	14:47	8:47	0	0,19
33	0000009988	175,65	5:20	15:04	15:12	9:12	0	0
34	Depot	180,69	5:28	15:20		9:20	0	0

Vehicle: V4		Stops: 56	Net profit: -124,90					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	78,1
1	0000002002	4,58	0:12	06:12	06:17	0:17	0	76,6
2	0000046410	6,83	0:18	06:23	06:30	0:30	0	75,6
3	0000009719	7,79	0:21	06:33	06:37	0:37	0	74,8
4	0000009775	8,27	0:22	06:38	06:42	0:42	0	73,3
5	0000016506	8,52	0:23	06:43	06:52	0:52	0	71
6	0000071212	8,73	0:23	06:52	07:00	1:00	0	70,6
7	0000011354	9,89	0:27	07:04	07:12	1:12	0	69,7
8	0000006812	10,58	0:29	07:14	07:21	1:21	0	69,1
9	0000004223	10,77	0:30	07:22	07:31	1:31	0	67,8
10	0000008342	10,99	0:31	07:32	07:39	1:39	0	67,1
11	0000006735	11,40	0:32	07:40	07:43	1:43	0	66,6
12	0000097160	12,15	0:35	07:46	07:53	1:53	0	64,3
13	0000010957	12,61	0:36	07:54	08:00	2:00	0	59,9
14	0000032436	14,13	0:41	08:05	08:14	2:14	0	59,1
15	0000052750	14,66	0:43	08:16	08:19	2:19	0	57,3
16	0000069180	15,42	0:46	08:22	08:32	2:32	0	55,2
17	0000025574	15,91	0:47	08:33	08:37	2:37	0	54,4
18	0000004604	17,41	0:53	08:43	08:48	2:48	0	51,9
19	0000002797	18,27	0:57	08:52	08:59	2:59	0	51,8
20	0000068903	20,50	1:04	09:06	09:12	3:12	0	51,3
21	0000011538	23,32	1:12	09:20	09:27	3:27	0	51,3
22	0000015954	30,19	1:25	09:40	09:46	3:46	0	48,4
23	0000001543	32,72	1:32	09:53	09:56	3:56	0	48
24	0000003066	34,48	1:36	10:00	10:10	4:10	0	45,7
25	0000046453	40,60	1:48	10:22	10:29	4:29	0	45,6
26	0000010892	41,48	1:50	10:31	10:36	4:36	0	42,9
27	0000014098	41,85	1:51	10:37	10:41	4:41	0	41,1
28	0000008857	42,33	1:53	10:43	10:51	4:51	0	40,4
29	0000026315	43,77	1:57	10:55	11:02	5:02	0	40,2
30	0000006545	46,66	2:05	11:10	11:17	5:17	0	39,8
31	0000023325	47,09	2:06	11:18	11:25	5:25	0	39,5

32	0000011041	49,44	2:12	11:31	11:39	5:39	0	37,7
33	0000012346	49,89	2:13	11:40	11:47	5:47	0	37,4
34	0000014246	50,24	2:15	11:49	11:59	5:59	0	36,6
35	0000011463	51,39	2:19	12:03	12:08	6:08	0	36,4
36	0000003234	52,29	2:22	12:11	12:15	6:15	0	34,8
37	0000002125	53,40	2:25	12:18	12:22	6:22	0	33,9
38	0000031935	54,83	2:30	12:27	12:36	6:36	0	33,6
39	0000021166	56,81	2:35	12:41	12:45	6:45	0	31,6
40	0000008935	57,05	2:36	12:46	12:52	6:52	0	27,9
41	0000041654	57,55	2:38	12:54	13:03	7:03	0	24,1
42	0000018085	58,64	2:41	13:06	13:16	7:16	0	21,3
43	0000025272	59,31	2:43	13:18	13:23	7:23	0	18,7
44	0000025615	62,74	2:53	13:33	13:43	7:43	0	16,8
45	0000009715	63,03	2:54	13:44	13:52	7:52	0	14,8
46	0000013193	63,58	2:55	13:53	13:59	7:59	0	11,8
47	0000082897	64,00	2:56	14:00	14:03	8:03	0	11,1
48	0000015931	65,14	2:59	14:06	14:13	8:13	0	11,1
49	0000012481	65,55	3:01	14:15	14:24	8:24	0	7,67
50	0000009630	66,43	3:04	14:27	14:33	8:33	0	5,25
51	0000024538	75,27	3:17	14:46	14:51	8:51	0	4,07
52	0000001983	85,88	3:27	15:01	15:10	9:10	0	1,83
53	0000012355	99,10	3:47	15:30	15:34	9:34	0	1,32
54	0000031502	99,66	3:50	15:37	15:40	9:40	0	0,93
55	0000024633	99,95	3:52	15:42	15:46	9:46	0	0
56	Depot	113,55	4:11	16:05		10:05	0	0

Vehicle:	V5	Stops:	28	Net profit:	-297,32			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	42,7
1	0000009185	6,66	0:12	06:12	06:17	0:17	0	41,8
2	0000000914	13,38	0:25	06:30	06:35	0:35	0	41,4
3	0000025397	18,93	0:38	06:48	06:57	0:57	0	39,9
4	0000006780	40,44	1:08	07:27	07:33	1:33	0	39,1
5	0000006761	47,88	1:23	07:48	07:55	1:55	0	36,4
6	0000002244	68,99	1:52	08:24	08:33	2:33	0	36,2
7	0000017100	78,17	2:05	08:46	08:51	2:51	0	32,1
8	0000004044	88,59	2:18	09:04	09:11	3:11	0	31,8
9	0000021741	104,71	2:38	09:31	09:40	3:40	0	29,1
10	0000014124	148,45	3:28	10:30	10:36	4:36	0	28,4
11	0000019890	162,89	3:48	10:56	11:02	5:02	0	26,4
12	0000005408	187,33	4:15	11:29	11:37	5:37	0	26,1
13	0000017534	209,25	4:37	11:59	12:05	6:05	0	23
14	0000011323	211,03	4:43	12:11	12:18	6:18	0	20,8
15	0000014033	227,16	5:10	12:45	12:51	6:51	0	19,3

16	0000021513	234,98	5:23	13:04	13:10	7:10	0	17,5
17	0000014165	235,71	5:26	13:13	13:20	7:20	0	17,5
18	0000021780	236,31	5:28	13:22	13:31	7:31	0	17
19	0000050552	240,57	5:37	13:40	13:48	7:48	0	16,7
20	0000009920	243,78	5:43	13:54	13:59	7:59	0	12,8
21	0000015315	245,93	5:48	14:04	14:09	8:09	0	10,1
22	0000012177	255,92	6:04	14:25	14:31	8:31	0	8,75
23	0000002987	257,77	6:11	14:38	14:47	8:47	0	8
24	0000017752	258,46	6:14	14:50	14:55	8:55	0	6,98
25	0000061320	260,24	6:19	15:00	15:09	9:09	0	6,15
26	0000011236	261,02	6:22	15:12	15:17	9:17	0	0,52
27	0000076445	262,33	6:25	15:20	15:24	9:24	0	0
28	Depot	270,29	6:36	15:35		9:35	0	0

ANEXO C – Resultados Escenario B (caso estándar)

10.1.3 DC1

Vehicle: V1		Stops:	18	Net profit:		-55,02		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	22,1
1	0000045205	7,63	0:18	06:18	06:27	0:27	0	21,9
2	0000012831	12,98	0:26	06:35	06:38	0:38	0	20,7
3	0000008105	14,67	0:34	06:46	06:56	0:56	0	20,2
4	0000002317	15,04	0:36	06:58	07:08	1:08	0	18,6
5	0000018065	15,89	0:40	07:12	07:21	1:21	0	17,2
6	0000011028	16,74	0:44	07:25	07:32	1:32	0	17
7	0000010452	17,36	0:47	07:35	07:43	1:43	0	13,6
8	0000014233	19,68	0:57	07:53	08:01	2:01	0	10,9
9	0000005577	20,94	1:01	08:05	08:14	2:14	0	10,2
10	0000019631	22,17	1:05	08:18	08:25	2:25	0	7,8
11	0000021060	23,94	1:11	08:31	08:35	2:35	0	6,05
12	0000024250	25,62	1:18	08:42	08:50	2:50	0	5,86
13	0000048005	26,19	1:21	08:53	09:02	3:02	0	5,74
14	0000002044	26,51	1:23	09:04	09:14	3:14	0	5,64
15	0000022472	30,64	1:33	09:24	09:28	3:28	0	3,1
16	0000014083	33,39	1:43	09:38	09:44	3:44	0	0,25
17	0000024811	35,09	1:49	09:50	09:54	3:54	0	0
18	Depot	42,32	1:58	10:03		4:03	0	0

Vehicle: V2		Stops:	19	Net profit:		-47,72		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	56,4
1	0000018000	6,32	0:13	06:13	06:21	0:21	0	55
2	0000000683	8,02	0:18	06:26	06:35	0:35	0	52,6
3	0000021796	8,43	0:19	06:36	06:40	0:40	0	48,7
4	0000023177	9,85	0:24	06:45	06:49	0:49	0	48
5	0000002216	11,19	0:29	06:54	07:04	1:04	0	46,5
6	0000040400	11,61	0:31	07:06	07:15	1:15	0	43,6
7	0000021864	12,58	0:38	07:22	07:27	1:27	0	41,9
8	0000066720	13,96	0:45	07:34	07:41	1:41	0	37,2
9	0000012556	15,28	0:52	07:48	07:56	1:56	0	31,5
10	0000026159	15,35	0:53	07:57	08:06	2:06	0	30,5
11	0000004300	19,43	1:09	08:22	08:31	2:31	0	27,2
12	0000008021	22,67	1:19	08:41	08:46	2:46	0	26,9
13	0000064048	23,78	1:24	08:51	09:00	3:00	0	26,9

14	0000026160	25,85	1:30	09:06	09:11	3:11	0	25,9
15	0000007967	26,25	1:33	09:14	09:21	3:21	0	24,8
16	0000008776	27,89	1:40	09:28	09:32	3:32	0	18,2
17	0000009195	30,91	1:53	09:45	09:48	3:48	0	10,8
18	0000017594	31,54	1:57	09:52	09:56	3:56	0	0
19	Depot	36,71	2:05	10:04		4:04	0	0

Vehicle: V3		Stops:	20	Net profit:		-49,25		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	41,9
1	0000008368	7,20	0:13	06:13	06:20	0:20	0	40,9
2	0000062392	8,59	0:19	06:26	06:31	0:31	0	36,3
3	0000021997	8,86	0:20	06:32	06:37	0:37	0	33,1
4	0000016558	9,54	0:24	06:41	06:48	0:48	0	31,5
5	0000017434	10,08	0:27	06:51	07:00	1:00	0	30,6
6	0000078898	10,76	0:30	07:03	07:11	1:11	0	27
7	0000082904	11,96	0:36	07:17	07:24	1:24	0	25,1
8	0000084860	14,02	0:44	07:32	07:40	1:40	0	21,4
9	0000018104	16,22	0:51	07:47	07:56	1:56	0	21,3
10	0000009543	18,68	0:59	08:04	08:08	2:08	0	19
11	0000018546	20,69	1:09	08:18	08:22	2:22	0	17,6
12	0000019005	22,74	1:17	08:30	08:37	2:37	0	14,5
13	0000009043	23,99	1:22	08:42	08:51	2:51	0	10,6
14	0000085905	24,99	1:26	08:55	09:00	3:00	0	7,86
15	0000053424	25,57	1:29	09:03	09:07	3:07	0	7,2
16	0000006097	27,32	1:37	09:15	09:19	3:19	0	5,74
17	0000018558	28,38	1:42	09:24	09:31	3:31	0	2,85
18	0000026480	28,98	1:44	09:33	09:41	3:41	0	1,3
19	0000010886	30,26	1:50	09:47	09:50	3:50	0	0
20	Depot	37,89	2:02	10:02		4:02	0	0

Vehicle: V4		Stops:	20	Net profit:		-44,94		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	32,6
1	0000008286	4,08	0:12	06:12	06:17	0:17	0	31,3
2	0000013588	8,39	0:25	06:30	06:33	0:33	0	29,9
3	0000060854	8,69	0:27	06:35	06:45	0:45	0	29,6
4	0000018252	9,49	0:30	06:48	06:55	0:55	0	29,5
5	0000042775	11,35	0:37	07:02	07:06	1:06	0	29
6	0000024314	12,02	0:39	07:08	07:13	1:13	0	28,2
7	0000019754	13,12	0:42	07:16	07:24	1:24	0	26,4
8	0000091850	16,77	0:57	07:39	07:43	1:43	0	24,6
9	0000007300	18,23	1:02	07:48	07:57	1:57	0	14,6

10	0000018116	18,47	1:03	07:58	08:03	2:03	0	13,6
11	0000013565	18,60	1:03	08:03	08:10	2:10	0	11,5
12	0000095901	21,11	1:11	08:18	08:25	2:25	0	9,4
13	0000008829	22,75	1:16	08:30	08:35	2:35	0	8,61
14	0000016646	23,30	1:18	08:37	08:40	2:40	0	6,77
15	0000003625	23,77	1:20	08:42	08:47	2:47	0	5,15
16	0000021405	24,00	1:21	08:48	08:53	2:53	0	4,15
17	0000071211	26,05	1:29	09:01	09:05	3:05	0	1,48
18	0000021946	28,36	1:38	09:14	09:24	3:24	0	0,23
19	0000054891	30,51	1:43	09:29	09:33	3:33	0	0
20	Depot	34,57	1:49	09:39		3:39	0	0

Vehicle:	V5	Stops:	15	Net profit:	-165,19			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	28,2
1	0000019575	7,56	0:18	06:18	06:21	0:21	0	28
2	0000011177	8,74	0:22	06:25	06:32	0:32	0	26
3	0000017236	9,24	0:24	06:34	06:42	0:42	0	24,8
4	0000052067	37,83	0:52	07:10	07:17	1:17	0	24,6
5	0000016876	38,68	0:55	07:20	07:30	1:30	0	22,3
6	0000026026	48,25	1:07	07:42	07:50	1:50	0	21
7	0000025139	50,21	1:13	07:56	08:04	2:04	0	19,1
8	0000003269	50,71	1:15	08:06	08:10	2:10	0	18,1
9	0000034190	50,77	1:15	08:10	08:20	2:20	0	14,1
10	0000006580	54,08	1:26	08:31	08:39	2:39	0	11,7
11	0000053098	58,94	1:38	08:51	08:59	2:59	0	11,2
12	0000016913	59,67	1:40	09:01	09:08	3:08	0	7,05
13	0000011069	66,73	1:54	09:22	09:27	3:27	0	1,14
14	0000026750	75,75	2:12	09:45	09:55	3:55	0	0
15	Depot	127,07	3:03	10:46		4:46	0	0

Vehicle:	V6	Stops:	20	Net profit:	-63,70			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	38,1
1	0000007289	9,60	0:15	06:15	06:22	0:22	0	35,5
2	0000013632	9,62	0:15	06:22	06:28	0:28	0	34,5
3	0000001798	11,27	0:21	06:34	06:41	0:41	0	34,3
4	0000023743	11,98	0:25	06:45	06:49	0:49	0	31,3
5	0000011603	12,47	0:28	06:52	06:58	0:58	0	29,9
6	0000010963	12,69	0:29	06:59	07:03	1:03	0	26,4
7	0000094610	19,79	0:43	07:17	07:21	1:21	0	23,9
8	0000053119	25,66	1:01	07:39	07:44	1:44	0	22,3
9	0000005625	29,81	1:15	07:58	08:02	2:02	0	18,5

10	0000009091	30,27	1:17	08:04	08:07	2:07	0	16,9
11	0000062290	30,68	1:18	08:08	08:17	2:17	0	13,6
12	0000092120	31,04	1:21	08:20	08:30	2:30	0	13
13	0000011621	32,71	1:28	08:37	08:41	2:41	0	12,8
14	0000009034	33,40	1:31	08:44	08:52	2:52	0	12,5
15	0000004440	35,50	1:43	09:04	09:13	3:13	0	9,63
16	0000063910	36,27	1:46	09:16	09:21	3:21	0	9,4
17	0000005645	37,17	1:49	09:24	09:32	3:32	0	4,29
18	0000006342	38,80	1:54	09:37	09:40	3:40	0	2,48
19	0000017371	39,40	1:56	09:42	09:46	3:46	0	0
20	Depot	49,00	2:12	10:02		4:02	0	0

Vehicle:	V7	Stops:	21	Net profit:	-50,53			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	32,1
1	0000004488	7,73	0:16	06:16	06:24	0:24	0	30,1
2	0000017204	11,39	0:29	06:37	06:42	0:42	0	29
3	0000019555	11,54	0:29	06:42	06:50	0:50	0	28,7
4	0000011896	11,81	0:30	06:51	06:59	0:59	0	26,7
5	0000083995	14,83	0:41	07:10	07:14	1:14	0	24,5
6	0000095350	15,16	0:43	07:16	07:25	1:25	0	21,2
7	0000076600	15,75	0:47	07:29	07:32	1:32	0	17,5
8	0000003255	16,79	0:51	07:36	07:40	1:40	0	14,4
9	0000023609	17,69	0:55	07:44	07:53	1:53	0	14,2
10	0000030925	18,55	0:58	07:56	08:00	2:00	0	13
11	0000019519	19,96	1:03	08:05	08:12	2:12	0	12,6
12	0000012314	20,35	1:05	08:14	08:18	2:18	0	10,6
13	0000002611	22,69	1:15	08:28	08:37	2:37	0	9,7
14	0000011208	25,15	1:22	08:44	08:50	2:50	0	9,49
15	0000018407	25,32	1:23	08:51	08:58	2:58	0	6,65
16	0000025351	26,30	1:27	09:02	09:08	3:08	0	6,25
17	0000017130	26,64	1:28	09:09	09:18	3:18	0	5,87
18	0000018960	28,41	1:36	09:26	09:36	3:36	0	4,67
19	0000016023	29,88	1:42	09:42	09:48	3:48	0	3,45
20	0000006158	30,78	1:45	09:51	09:57	3:57	0	0
21	Depot	38,87	1:56	10:08		4:08	0	0

Vehicle:	V8	Stops:	9	Net profit:	-33,09			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	9,9
1	0000012149	0,45	0:02	06:02	06:10	0:10	0	9,54
2	0000053521	5,58	0:13	06:21	06:28	0:28	0	7,25
3	0000015095	7,23	0:19	06:34	06:42	0:42	0	4,36

4	0000014319	7,99	0:23	06:46	06:55	0:55	0	3,75
5	0000002166	10,06	0:31	07:03	07:13	1:13	0	2,52
6	0000012955	12,41	0:38	07:20	07:27	1:27	0	1,3
7	0000002999	13,60	0:42	07:31	07:36	1:36	0	0,22
8	0000055184	21,41	0:54	07:48	07:55	1:55	0	0
9	Depot	25,45	0:58	07:59		1:59	0	0

Vehicle: V9		Stops: 11	Net profit: -236,30					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	14
1	0000021903	25,46	0:30	06:30	06:37	0:37	0	13,4
2	0000013702	26,32	0:32	06:39	06:43	0:43	0	10,7
3	0000003349	38,17	0:48	06:59	07:06	1:06	0	10,6
4	0000021429	69,36	1:23	07:41	07:48	1:48	0	10,3
5	0000003184	92,90	1:49	08:14	08:21	2:21	0	9,58
6	0000002217	101,76	2:00	08:32	08:37	2:37	0	8,65
7	0000002513	107,56	2:10	08:47	08:52	2:52	0	7,33
8	0000052307	119,52	2:27	09:09	09:17	3:17	0	6,48
9	0000023715	123,11	2:36	09:26	09:30	3:30	0	5,29
10	0000002510	127,69	2:44	09:38	09:44	3:44	0	0
11	Depot	181,77	3:26	10:26		4:26	0	0

Vehicle: V10		Stops: 13	Net profit: -131,38					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	17,6
1	0000018180	12,65	0:21	06:21	06:30	0:30	0	14,7
2	0000009442	24,28	0:32	06:41	06:50	0:50	0	14,5
3	0000055148	25,30	0:36	06:54	07:00	1:00	0	14,3
4	0000009329	26,97	0:43	07:07	07:16	1:16	0	9,37
5	0000053609	30,16	0:55	07:28	07:34	1:34	0	8,9
6	0000003187	38,49	1:12	07:51	07:55	1:55	0	8,09
7	0000001824	41,75	1:25	08:08	08:14	2:14	0	6,12
8	0000045408	43,69	1:34	08:23	08:27	2:27	0	1,75
9	0000010027	45,91	1:44	08:37	08:45	2:45	0	1,3
10	0000037905	53,26	1:56	08:57	09:05	3:05	0	0,86
11	0000009951	80,85	2:25	09:34	09:44	3:44	0	0,62
12	0000011147	84,35	2:34	09:53	09:58	3:58	0	0
13	Depot	101,07	2:50	10:14		4:14	0	0

Vehicle: V11		Stops: 12	Net profit: -193,06					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	31,6
1	0000025706	32,82	0:30	06:30	06:36	0:36	0	31,4

2	0000017873	63,95	0:57	07:03	07:10	1:10	0	29,4
3	0000086730	81,85	1:17	07:30	07:40	1:40	0	27,8
4	0000003103	98,00	1:37	08:00	08:04	2:04	0	24,5
5	0000017495	107,84	1:53	08:20	08:29	2:29	0	20,1
6	0000074866	119,49	2:12	08:48	08:53	2:53	0	13,5
7	0000021271	120,59	2:16	08:57	09:02	3:02	0	9,96
8	0000022782	121,40	2:18	09:04	09:09	3:09	0	7,01
9	0000013737	123,34	2:24	09:15	09:18	3:18	0	4,89
10	0000014947	133,37	2:36	09:30	09:38	3:38	0	2
11	0000009582	136,66	2:45	09:47	09:51	3:51	0	0
12	Depot	148,51	2:57	10:03		4:03	0	0

Vehicle:	V12	Stops:	14	Net profit:	-92,42			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	26,5
1	0000073653	3,91	0:11	06:11	06:19	0:19	0	26,3
2	0000011825	18,44	0:30	06:38	06:42	0:42	0	24,3
3	0000004853	19,08	0:33	06:45	06:54	0:54	0	21,3
4	0000019455	22,58	0:46	07:07	07:12	1:12	0	16,7
5	0000096084	24,60	0:53	07:19	07:26	1:26	0	13,4
6	0000023656	33,81	1:12	07:45	07:49	1:49	0	12,6
7	0000012417	46,47	1:32	08:09	08:15	2:15	0	11,6
8	0000025093	48,19	1:38	08:21	08:27	2:27	0	9,59
9	0000009100	52,20	1:50	08:39	08:44	2:44	0	8,35
10	0000011752	54,56	2:01	08:55	09:04	3:04	0	4,59
11	0000002121	57,43	2:11	09:14	09:22	3:22	0	1,31
12	0000053984	60,52	2:22	09:33	09:41	3:41	0	0,08
13	0000096050	61,25	2:25	09:44	09:50	3:50	0	0
14	Depot	71,09	2:33	09:58		3:58	0	0

Vehicle:	V13	Stops:	10	Net profit:	-274,81			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	11
1	0000023160	27,88	0:32	06:32	06:39	0:39	0	7,29
2	0000021793	35,08	0:43	06:50	06:55	0:55	0	6,74
3	0000017761	45,03	0:58	07:10	07:17	1:17	0	6,24
4	0000025783	88,89	1:38	07:57	08:03	2:03	0	5,51
5	0000021755	118,40	2:07	08:32	08:35	2:35	0	5,42
6	0000015755	143,21	2:34	09:02	09:06	3:06	0	4,61
7	0000017427	147,89	2:44	09:16	09:21	3:21	0	3
8	0000017546	150,08	2:51	09:28	09:36	3:36	0	2,32
9	0000012034	150,39	2:52	09:37	09:44	3:44	0	0
10	Depot	211,39	3:38	10:30		4:30	0	0

Vehicle:	V14	Stops:	12	Net profit:	-46,69			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	16,4
1	0000054940	4,47	0:12	06:12	06:15	0:15	0	11
2	0000017899	8,29	0:21	06:24	06:28	0:28	0	10,9
3	0000014338	8,61	0:23	06:30	06:36	0:36	0	8,18
4	0000087103	9,64	0:26	06:39	06:48	0:48	0	7,45
5	0000075040	11,08	0:30	06:52	06:59	0:59	0	5,68
6	0000019682	11,98	0:33	07:02	07:06	1:06	0	5,62
7	0000013307	13,40	0:38	07:11	07:20	1:20	0	5,39
8	0000015687	15,29	0:45	07:27	07:37	1:37	0	1,82
9	0000008704	17,38	0:52	07:44	07:52	1:52	0	0,91
10	0000064028	25,00	1:06	08:06	08:11	2:11	0	0,84
11	0000023580	32,41	1:18	08:23	08:30	2:30	0	0
12	Depot	35,91	1:26	08:38		2:38	0	0

10.1.4 DC2

Vehicle:	V1	Stops:	11	Net profit:	-96,98			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	19,3
1	0000091435	9,01	0:13	06:13	06:16	0:16	0	18,7
2	0000018674	17,03	0:27	06:30	06:36	0:36	0	17,6
3	0000016460	23,29	0:40	06:49	06:56	0:56	0	15,2
4	0000003342	27,87	0:54	07:10	07:15	1:15	0	12,6
5	0000003928	28,67	0:56	07:17	07:23	1:23	0	12,5
6	0000004506	39,84	1:15	07:42	07:52	1:52	0	12,3
7	0000023429	41,39	1:21	07:58	08:07	2:07	0	5,69
8	0000004817	48,07	1:34	08:20	08:24	2:24	0	5,02
9	0000014482	52,07	1:42	08:32	08:36	2:36	0	3,49
10	0000016269	52,91	1:46	08:40	08:43	2:43	0	0
11	Depot	88,16	2:15	09:12		3:12	0	0

Vehicle:	V2	Stops:	10	Net profit:	-230,85			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	11,3
1	0000021646	62,68	0:56	06:56	07:01	1:01	0	9,25
2	0000024810	63,55	0:58	07:03	07:11	1:11	0	5,55
3	0000085225	86,90	1:31	07:44	07:51	1:51	0	4,11
4	0000024053	91,70	1:39	07:59	08:06	2:06	0	3,51
5	0000004718	107,79	2:03	08:30	08:37	2:37	0	2,25
6	0000018039	107,99	2:04	08:38	08:45	2:45	0	1,18

7	0000022980	131,26	2:26	09:07	09:13	3:13	0	1,05
8	0000003765	131,72	2:29	09:16	09:24	3:24	0	0,15
9	0000002975	136,45	2:43	09:38	09:48	3:48	0	0
10	Depot	209,87	3:46	10:51		4:51	0	0

Vehicle: V3		Stops:	13	Net profit:		-234,30		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	8,44
1	0000002697	92,25	1:10	07:10	07:15	1:15	0	8,21
2	0000019681	93,53	1:15	07:20	07:28	1:28	0	7,96
3	0000003042	94,12	1:18	07:31	07:38	1:38	0	7,87
4	0000004017	95,45	1:22	07:42	07:51	1:51	0	5,74
5	0000017351	99,53	1:32	08:01	08:04	2:04	0	5,62
6	0000014207	102,03	1:40	08:12	08:21	2:21	0	4,64
7	0000009090	111,78	1:56	08:37	08:41	2:41	0	4,2
8	0000005394	114,60	2:06	08:51	09:00	3:00	0	3,7
9	0000005908	116,06	2:11	09:05	09:09	3:09	0	3,39
10	0000008285	131,97	2:29	09:27	09:36	3:36	0	1,59
11	0000023518	137,13	2:40	09:47	09:51	3:51	0	0,79
12	0000017389	137,44	2:42	09:53	10:00	4:00	0	0
13	Depot	213,00	3:39	10:57		4:57	0	0

Vehicle: V4		Stops:	23	Net profit:		-49,20		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	31,4
1	0000002002	4,58	0:12	06:12	06:17	0:17	0	29,9
2	0000046410	6,83	0:18	06:23	06:30	0:30	0	28,9
3	0000015198	7,83	0:21	06:33	06:38	0:38	0	26,4
4	0000017881	8,85	0:24	06:41	06:46	0:46	0	25,5
5	0000072003	11,01	0:33	06:55	06:59	0:59	0	22,6
6	0000025152	11,34	0:34	07:00	07:09	1:09	0	22,5
7	0000026117	12,03	0:36	07:11	07:19	1:19	0	18,7
8	0000021803	14,31	0:43	07:26	07:35	1:35	0	17,4
9	0000044020	15,34	0:45	07:37	07:47	1:47	0	16,5
10	0000018348	15,56	0:46	07:48	07:52	1:52	0	16,3
11	0000021773	17,16	0:50	07:56	08:01	2:01	0	16,2
12	0000006766	17,42	0:51	08:02	08:11	2:11	0	14,8
13	0000023799	19,25	0:58	08:18	08:25	2:25	0	14
14	0000012164	19,69	0:59	08:26	08:33	2:33	0	12,7
15	0000006681	20,19	1:01	08:35	08:39	2:39	0	11,7
16	0000008857	26,74	1:11	08:49	08:57	2:57	0	11
17	0000013193	27,16	1:12	08:58	09:04	3:04	0	7,99
18	0000082897	27,59	1:13	09:05	09:08	3:08	0	7,29

19	0000025615	28,44	1:15	09:10	09:20	3:20	0	5,45
20	0000009715	28,74	1:16	09:21	09:29	3:29	0	3,43
21	0000015931	29,81	1:19	09:32	09:39	3:39	0	3,39
22	0000012481	30,22	1:21	09:41	09:50	3:50	0	0
23	Depot	44,73	1:37	10:06		4:06	0	0

Vehicle: V5		Stops: 19	Net profit: -94,56					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	25,6
1	0000023440	13,49	0:15	06:15	06:19	0:19	0	24,9
2	0000024073	35,36	0:41	06:45	06:55	0:55	0	23,5
3	0000025679	44,73	0:56	07:10	07:15	1:15	0	23,4
4	0000009726	53,51	1:14	07:33	07:42	1:42	0	21,3
5	0000002452	54,08	1:16	07:44	07:51	1:51	0	19
6	0000015688	55,83	1:22	07:57	08:05	2:05	0	18,9
7	0000004835	62,93	1:30	08:13	08:20	2:20	0	15
8	0000011704	63,16	1:31	08:21	08:26	2:26	0	12,9
9	0000018697	63,60	1:32	08:27	08:31	2:31	0	10,1
10	0000024670	64,88	1:36	08:35	08:42	2:42	0	9,98
11	0000060761	65,06	1:36	08:42	08:47	2:47	0	9,72
12	0000071645	65,70	1:38	08:49	08:53	2:53	0	9,08
13	0000012191	69,66	1:48	09:03	09:08	3:08	0	8,27
14	0000003734	73,14	1:56	09:16	09:24	3:24	0	4,53
15	0000019829	73,59	1:57	09:25	09:34	3:34	0	1,65
16	0000059770	73,86	1:58	09:35	09:39	3:39	0	1,41
17	0000050335	75,47	2:02	09:43	09:49	3:49	0	1,22
18	0000075550	76,44	2:04	09:51	09:57	3:57	0	0
19	Depot	85,96	2:20	10:13		4:13	0	0

Vehicle: V6		Stops: 22	Net profit: -59,82					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	29,3
1	0000068903	12,79	0:17	06:17	06:23	0:23	0	28,8
2	0000011538	15,60	0:25	06:31	06:38	0:38	0	28,8
3	0000046453	17,59	0:31	06:44	06:51	0:51	0	28,7
4	0000010892	18,47	0:33	06:53	06:58	0:58	0	26
5	0000014098	18,84	0:34	06:59	07:03	1:03	0	24,2
6	0000026315	19,85	0:37	07:06	07:14	1:14	0	24
7	0000006545	22,73	0:45	07:22	07:29	1:29	0	23,5
8	0000023325	23,16	0:46	07:30	07:37	1:37	0	23,3
9	0000011041	25,51	0:52	07:43	07:50	1:50	0	21,5
10	0000012346	25,97	0:53	07:51	07:59	1:59	0	21,1
11	0000014246	26,31	0:55	08:01	08:10	2:10	0	20,4
12	0000011463	27,47	0:59	08:14	08:19	2:19	0	20,1

13	0000003234	28,37	1:02	08:22	08:26	2:26	0	18,5
14	0000002125	29,47	1:05	08:29	08:33	2:33	0	17,6
15	0000031935	30,90	1:10	08:38	08:48	2:48	0	17,4
16	0000021166	32,89	1:15	08:53	08:57	2:57	0	15,4
17	0000008935	33,12	1:16	08:58	09:04	3:04	0	11,6
18	0000041654	33,63	1:18	09:06	09:15	3:15	0	7,9
19	0000018085	34,71	1:21	09:18	09:27	3:27	0	5,06
20	0000025272	35,38	1:23	09:29	09:35	3:35	0	2,42
21	0000009630	39,50	1:33	09:45	09:50	3:50	0	0
22	Depot	54,39	1:50	10:07		4:07	0	0

Vehicle:	V7	Stops:	24	Net profit:	-30,77			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	30,2
1	0000076445	8,75	0:13	06:13	06:17	0:17	0	29,7
2	0000061320	9,94	0:16	06:20	06:29	0:29	0	28,9
3	0000032436	10,66	0:19	06:32	06:41	0:41	0	28,1
4	0000026157	10,98	0:20	06:42	06:46	0:46	0	25,2
5	0000026152	11,25	0:21	06:47	06:51	0:51	0	25
6	0000013289	11,54	0:23	06:53	07:02	1:02	0	24
7	0000016417	12,49	0:26	07:05	07:12	1:12	0	21,5
8	0000015183	13,20	0:28	07:14	07:22	1:22	0	21,4
9	0000067887	13,71	0:29	07:23	07:27	1:27	0	19,5
10	0000090360	14,34	0:31	07:29	07:34	1:34	0	19,3
11	0000067933	14,76	0:32	07:35	07:43	1:43	0	18,8
12	0000006812	14,86	0:32	07:43	07:50	1:50	0	18,2
13	0000004223	15,06	0:33	07:51	08:00	2:00	0	16,9
14	0000008342	15,28	0:34	08:01	08:08	2:08	0	16,2
15	0000006735	15,68	0:35	08:09	08:12	2:12	0	15,7
16	0000097160	16,44	0:38	08:15	08:22	2:22	0	13,4
17	0000010957	16,90	0:39	08:23	08:29	2:29	0	8,99
18	0000011354	17,21	0:40	08:30	08:38	2:38	0	8,17
19	0000008020	18,19	0:43	08:41	08:45	2:45	0	7,72
20	0000048250	19,85	0:47	08:49	08:57	2:57	0	6,16
21	0000036480	24,49	1:02	09:12	09:22	3:22	0	3
22	0000084525	24,89	1:03	09:23	09:29	3:29	0	1,64
23	0000038080	25,52	1:05	09:31	09:34	3:34	0	0
24	Depot	27,98	1:14	09:43		3:43	0	0

Vehicle:	V8	Stops:	10	Net profit:	-159,30			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	17,2
1	0000010501	38,42	0:50	06:50	06:58	0:58	0	12,7

2	0000024107	56,34	1:10	07:18	07:27	1:27	0	12,4
3	0000003803	72,99	1:33	07:50	07:58	1:58	0	11,4
4	0000014028	87,76	1:52	08:17	08:22	2:22	0	8,54
5	0000020943	95,87	2:06	08:36	08:43	2:43	0	6,04
6	0000013054	100,82	2:17	08:54	08:59	2:59	0	3,64
7	0000091996	103,29	2:26	09:08	09:14	3:14	0	1
8	0000012354	106,64	2:36	09:24	09:29	3:29	0	0,81
9	0000024628	111,36	2:46	09:39	09:49	3:49	0	0
10	Depot	144,82	3:19	10:22		4:22	0	0

Vehicle: V9		Stops:	9	Net profit: -82,89				
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	8,11
1	0000025397	16,84	0:22	06:22	06:30	0:30	0	6,54
2	0000006780	38,35	0:52	07:00	07:06	1:06	0	5,78
3	0000006761	45,79	1:07	07:21	07:28	1:28	0	3,08
4	0000031502	58,55	1:27	07:48	07:52	1:52	0	2,7
5	0000012355	59,11	1:30	07:55	07:58	1:58	0	2,18
6	0000024633	59,96	1:34	08:02	08:06	2:06	0	1,25
7	0000000914	61,65	1:38	08:10	08:15	2:15	0	0,87
8	0000009185	68,56	1:51	08:28	08:34	2:34	0	0
9	Depot	75,35	2:04	08:47		2:47	0	0

Vehicle: V10		Stops:	15	Net profit: -96,49				
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	22,3
1	0000024538	14,54	0:19	06:19	06:23	0:23	0	21,1
2	0000001983	25,14	0:29	06:33	06:43	0:43	0	18,8
3	0000002244	28,71	0:37	06:51	06:59	0:59	0	18,6
4	0000017100	37,88	0:50	07:12	07:17	1:17	0	14,5
5	0000014033	49,16	1:07	07:34	07:40	1:40	0	13,1
6	0000021513	56,98	1:20	07:53	08:00	2:00	0	11,3
7	0000014165	57,71	1:23	08:03	08:10	2:10	0	11,2
8	0000021780	58,31	1:25	08:12	08:21	2:21	0	10,8
9	0000050552	62,57	1:34	08:30	08:38	2:38	0	10,5
10	0000009920	65,78	1:40	08:44	08:49	2:49	0	6,56
11	0000015315	67,93	1:45	08:54	08:59	2:59	0	3,88
12	0000002797	77,18	1:59	09:13	09:19	3:19	0	3,8
13	0000004604	78,05	2:03	09:23	09:28	3:28	0	1,35
14	0000012177	79,17	2:08	09:33	09:40	3:40	0	0
15	Depot	87,71	2:21	09:53		3:53	0	0

Vehicle: V11		Stops:	12	Net profit: -92,42				
--------------	--	--------	----	--------------------	--	--	--	--

Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	14,3
1	0000009988	4,93	0:09	06:09	06:17	0:17	0	14,1
2	0000012844	14,59	0:26	06:34	06:43	0:43	0	12,9
3	0000023727	27,79	0:43	07:00	07:09	1:09	0	10,3
4	0000004973	28,79	0:45	07:11	07:18	1:18	0	10,2
5	0000096530	43,27	1:21	07:54	08:02	2:02	0	10,1
6	0000002918	61,27	1:51	08:32	08:37	2:37	0	10
7	0000055265	62,28	1:54	08:40	08:50	2:50	0	3,53
8	0000012823	62,28	1:54	08:50	08:58	2:58	0	2,63
9	0000010170	76,22	2:10	09:14	09:24	3:24	0	0,79
10	0000017282	76,86	2:12	09:26	09:31	3:31	0	0,33
11	0000010911	80,94	2:21	09:40	09:45	3:45	0	0
12	Depot	84,02	2:30	09:54		3:54	0	0

Vehicle:	V12	Stops:	13	Net profit:	-27,64			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	13,1
1	0000052535	4,07	0:10	06:10	06:19	0:19	0	12,5
2	0000009719	7,59	0:18	06:27	06:31	0:31	0	11,7
3	0000009775	8,08	0:19	06:32	06:36	0:36	0	10,2
4	0000016506	8,33	0:20	06:37	06:46	0:46	0	7,91
5	0000071212	8,53	0:20	06:46	06:54	0:54	0	7,44
6	0000069180	11,21	0:28	07:02	07:11	1:11	0	5,3
7	0000093388	11,77	0:30	07:13	07:20	1:20	0	5,27
8	0000018199	11,97	0:30	07:20	07:24	1:24	0	4,91
9	0000003085	12,37	0:31	07:25	07:32	1:32	0	2,57
10	0000025574	13,54	0:34	07:35	07:39	1:39	0	1,77
11	0000002987	15,79	0:44	07:49	07:59	1:59	0	1,03
12	0000017752	16,48	0:47	08:02	08:06	2:06	0	0
13	Depot	25,13	1:00	08:19		2:19	0	0

Vehicle:	V13	Stops:	20	Net profit:	-66,89			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	38
1	0000001717	7,34	0:15	06:15	06:22	0:22	0	37
2	0000025883	19,28	0:38	06:45	06:52	0:52	0	33,8
3	0000012431	21,26	0:44	06:58	07:03	1:03	0	32,8
4	0000004557	22,06	0:46	07:05	07:09	1:09	0	28,5
5	0000002442	24,04	0:50	07:13	07:18	1:18	0	27,1
6	0000019697	24,61	0:52	07:20	07:24	1:24	0	25,5
7	0000018038	25,36	0:54	07:26	07:32	1:32	0	23
8	0000056464	25,57	0:55	07:33	07:41	1:41	0	22,6

9	0000017526	26,10	0:57	07:43	07:47	1:47	0	18,3
10	0000011765	28,47	1:04	07:54	08:04	2:04	0	17,5
11	0000062200	29,85	1:08	08:08	08:17	2:17	0	16
12	0000002947	31,01	1:12	08:21	08:30	2:30	0	15,6
13	0000016098	31,36	1:13	08:31	08:36	2:36	0	14,1
14	0000003632	32,40	1:16	08:39	08:48	2:48	0	13
15	0000001543	39,07	1:26	08:58	09:02	3:02	0	12,6
16	0000003066	40,83	1:30	09:06	09:16	3:16	0	10,3
17	0000015954	44,20	1:38	09:24	09:29	3:29	0	7,4
18	0000052750	51,59	1:52	09:43	09:46	3:46	0	5,63
19	0000011236	52,99	1:57	09:51	09:55	3:55	0	0
20	Depot	60,81	2:09	10:07		4:07	0	0

Vehicle: V14		Stops: 6	Net profit: -57,83					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	15
1	0000046244	24,50	0:24	06:24	06:29	0:29	0	10,6
2	0000001885	25,34	0:27	06:32	06:39	0:39	0	6,45
3	0000012675	26,73	0:33	06:45	06:53	0:53	0	1,63
4	0000024623	27,05	0:34	06:54	06:59	0:59	0	0,14
5	0000009512	27,31	0:35	07:00	07:09	1:09	0	0
6	Depot	52,57	0:58	07:32		1:32	0	0

Vehicle: V15		Stops: 8	Net profit: -221,57					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	11,3
1	0000011323	39,64	0:41	06:41	06:47	0:47	0	9,06
2	0000017534	42,29	0:51	06:57	07:03	1:03	0	6,02
3	0000005408	64,22	1:15	07:27	07:35	1:35	0	5,68
4	0000019890	88,47	1:41	08:01	08:07	2:07	0	3,7
5	0000014124	102,90	2:00	08:26	08:32	2:32	0	3,01
6	0000004044	132,72	2:47	09:19	09:27	3:27	0	2,73
7	0000021741	148,84	3:07	09:47	09:56	3:56	0	0
8	Depot	201,42	3:59	10:48		4:48	0	0

ANEXO D – Resultados Escenario C (clientes Premium)**10.1.5 DC1**

Vehicle:	V1	Stops:	14	Net profit:	-141,56			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	16,8
1	0000075040	7,01	0:13	06:13	06:20	0:20	0	15,1
2	0000013307	8,89	0:19	06:26	06:36	0:36	0	14,9
3	0000008704	10,44	0:25	06:42	06:50	0:50	0	13,9
4	0000015687	12,37	0:31	06:56	07:06	1:06	0	10,4
5	0000017899	15,05	0:40	07:15	07:19	1:19	0	10,3
6	0000019682	15,71	0:42	07:21	07:24	1:24	0	10,2
7	0000016876	43,15	1:05	07:47	08:09	2:09	0	7,91
8	0000003269	54,19	1:21	08:25	08:29	2:29	0	6,86
9	0000034190	54,24	1:21	08:29	08:39	2:39	0	2,92
10	0000025139	54,59	1:23	08:41	08:49	2:49	0	1,05
11	0000052067	65,92	1:33	08:59	09:06	3:06	0	0,91
12	0000064028	97,98	2:02	09:35	09:40	3:40	0	0,84
13	0000023580	105,39	2:14	09:52	09:59	3:59	0	0
14	Depot	108,90	2:21	10:06		4:06	0	0

Vehicle:	V2	Stops:	19	Net profit:	-63,20			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	33,7
1	0000008286	4,08	0:10	06:10	06:15	0:15	0	32,4
2	0000094610	16,85	0:27	06:32	06:36	0:36	0	29,9
3	0000053119	22,72	0:43	06:52	06:57	0:57	0	28,2
4	0000005625	26,87	0:57	07:11	07:15	1:15	0	24,5
5	0000009091	27,33	0:59	07:17	07:20	1:20	0	22,8
6	0000062290	27,74	1:00	07:21	07:31	1:31	0	19,6
7	0000092120	28,10	1:02	07:33	07:42	1:42	0	18,9
8	0000019519	29,39	1:08	07:48	07:55	1:55	0	18,5
9	0000012314	29,78	1:10	07:57	08:01	2:01	0	16,5
10	0000012556	31,64	1:18	08:09	08:17	2:17	0	10,9
11	0000026159	31,71	1:19	08:18	08:28	2:28	0	9,82
12	0000011621	32,18	1:21	08:30	08:33	2:33	0	9,61
13	0000009034	32,87	1:24	08:36	08:45	2:45	0	9,39
14	0000066720	33,75	1:30	08:51	08:58	2:58	0	4,66
15	0000011208	35,74	1:40	09:08	09:14	3:14	0	4,44
16	0000018407	35,92	1:41	09:15	09:22	3:22	0	1,61
17	0000025351	36,89	1:44	09:25	09:31	3:31	0	1,21
18	0000018960	38,53	1:51	09:38	09:48	3:48	0	0
19	Depot	48,61	2:08	10:05		4:05	0	0

Vehicle:	V3	Stops:	19	Net profit:	-49,37			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	34,7
1	0000008368	7,20	0:12	06:12	06:19	0:19	0	33,6
2	0000019754	8,10	0:15	06:22	06:30	0:30	0	31,8
3	0000017130	11,77	0:29	06:44	06:53	0:53	0	31,4
4	0000017204	13,13	0:35	06:59	07:04	1:04	0	30,4
5	0000019555	13,29	0:35	07:04	07:12	1:12	0	30,1
6	0000011896	13,55	0:36	07:13	07:21	1:21	0	28
7	0000021864	14,04	0:38	07:23	07:28	1:28	0	26,4
8	0000004440	15,35	0:45	07:35	07:44	1:44	0	23,5
9	0000004300	19,06	1:01	08:00	08:08	2:08	0	20,2
10	0000064048	22,50	1:11	08:18	08:27	2:27	0	20,1
11	0000008021	23,21	1:14	08:30	08:35	2:35	0	19,8
12	0000063910	24,11	1:18	08:39	08:44	2:44	0	19,6
13	0000007300	25,21	1:22	08:48	08:57	2:57	0	9,57
14	0000023177	26,55	1:26	09:01	09:05	3:05	0	8,88
15	0000006342	27,00	1:27	09:06	09:09	3:09	0	7,08
16	0000017371	27,59	1:29	09:11	09:15	3:15	0	4,6
17	0000095901	28,51	1:32	09:18	09:25	3:25	0	2,46
18	0000000683	29,56	1:36	09:29	09:38	3:38	0	0
19	Depot	37,98	1:50	09:52		3:52	0	0

Vehicle:	V4	Stops:	18	Net profit:	-36,70			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	38,1
1	0000018000	6,32	0:12	06:12	06:20	0:20	0	36,7
2	0000004488	7,74	0:16	06:24	06:32	0:32	0	34,7
3	0000021796	8,48	0:19	06:35	06:40	0:40	0	30,8
4	0000091850	10,18	0:25	06:46	06:50	0:50	0	29,1
5	0000002216	11,64	0:30	06:55	07:05	1:05	0	27,6
6	0000040400	12,06	0:32	07:07	07:16	1:16	0	24,7
7	0000005645	13,25	0:37	07:21	08:07	2:07	0	19,6
8	0000018116	14,26	0:41	08:11	08:17	2:17	0	18,6
9	0000013565	14,40	0:41	08:17	08:24	2:24	0	16,6
10	0000026160	15,60	0:45	08:28	08:33	2:33	0	15,6
11	0000007967	16,00	0:48	08:36	08:43	2:43	0	14,5
12	0000008776	17,64	0:55	08:50	08:54	2:54	0	7,92
13	0000008829	18,86	0:59	08:58	09:03	3:03	0	7,13
14	0000016646	19,41	1:01	09:05	09:08	3:08	0	5,29
15	0000003625	19,88	1:03	09:10	09:15	3:15	0	3,68
16	0000021405	20,11	1:04	09:16	09:21	3:21	0	2,67
17	0000071211	22,16	1:12	09:29	09:33	3:33	0	0

18	Depot	28,23	1:22	09:43	3:43	0	0
----	-------	-------	------	-------	------	---	---

Vehicle: V5		Stops: 11	Net profit: -156,68					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	19,1
1	0000019575	7,56	0:16	06:16	06:19	0:19	0	18,9
2	0000011177	8,74	0:20	06:23	06:30	0:30	0	16,9
3	0000017236	9,24	0:22	06:32	06:40	0:40	0	15,6
4	0000026026	44,94	0:52	07:10	07:18	1:18	0	14,3
5	0000006580	47,53	1:00	07:26	07:35	1:35	0	11,9
6	0000053098	52,39	1:12	07:47	07:55	1:55	0	11,4
7	0000016913	53,12	1:14	07:57	08:04	2:04	0	7,27
8	0000011069	60,19	1:28	08:18	08:23	2:23	0	1,36
9	0000026750	69,20	1:46	08:41	08:50	2:50	0	0,22
10	0000055184	116,48	2:32	09:36	09:43	3:43	0	0
11	Depot	120,52	2:36	09:47		3:47	0	0

Vehicle: V6		Stops: 9	Net profit: -80,62					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	13,4
1	0000012149	0,45	0:02	06:02	06:10	0:10	0	13,1
2	0000023160	27,88	0:32	06:40	08:07	2:07	0	9,32
3	0000002166	48,60	1:03	08:38	08:48	2:48	0	8,1
4	0000014319	50,47	1:10	08:55	09:03	3:03	0	7,49
5	0000015095	51,19	1:14	09:07	09:16	3:16	0	4,6
6	0000012955	53,03	1:21	09:23	09:30	3:30	0	3,38
7	0000002999	54,22	1:27	09:36	09:42	3:42	0	2,29
8	0000053521	55,47	1:31	09:46	09:52	3:52	0	0
9	Depot	62,02	1:43	10:04		4:04	0	0

Vehicle: V7		Stops: 13	Net profit: -117,66					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	17
1	0000024811	5,63	0:13	06:13	06:17	0:17	0	16,8
2	0000011147	14,80	0:26	06:30	06:35	0:35	0	16,2
3	0000010027	38,88	0:48	06:57	07:05	1:05	0	15,7
4	0000001824	42,89	1:04	07:21	07:27	1:27	0	13,7
5	0000045408	44,83	1:13	07:36	07:41	1:41	0	9,36
6	0000003187	46,36	1:20	07:48	07:52	1:52	0	8,55
7	0000053609	55,39	1:38	08:10	08:16	2:16	0	8,08
8	0000009329	58,63	1:52	08:30	08:39	2:39	0	3,18
9	0000009442	59,71	1:57	08:44	08:53	2:53	0	2,98
10	0000055148	60,73	2:01	08:57	09:02	3:02	0	2,78

Estudio y optimización de la red de transporte de una empresa de distribución

11	0000009951	73,92	2:21	09:22	09:32	3:32	0	2,54
12	0000022472	78,42	2:30	09:41	09:45	3:45	0	0
13	Depot	90,50	2:43	09:58		3:58	0	0

Vehicle: V8		Stops: 17	Net profit: -59,06					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	24
1	0000045205	7,63	0:16	06:16	06:25	0:25	0	23,8
2	0000002121	13,86	0:26	06:35	06:42	0:42	0	20,5
3	0000018180	16,86	0:36	06:52	07:02	1:02	0	17,6
4	0000002044	17,46	0:38	07:04	07:14	1:14	0	17,5
5	0000048005	17,79	0:40	07:16	07:25	1:25	0	17,4
6	0000021060	20,15	0:47	07:32	07:36	1:36	0	15,6
7	0000005577	22,57	0:55	07:44	07:53	1:53	0	14,9
8	0000019631	23,80	0:59	07:57	08:06	2:06	0	12,5
9	0000009100	25,94	1:08	08:15	08:20	2:20	0	11,3
10	0000011752	28,31	1:19	08:31	08:40	2:40	0	7,55
11	0000010452	30,16	1:27	08:48	08:57	2:57	0	4,16
12	0000011028	30,65	1:29	08:59	09:06	3:06	0	4,04
13	0000018065	31,88	1:34	09:11	09:20	3:20	0	2,58
14	0000012831	32,89	1:39	09:25	09:29	3:29	0	1,31
15	0000053984	34,86	1:48	09:38	09:46	3:46	0	0,08
16	0000096050	35,59	1:51	09:49	09:55	3:55	0	0
17	Depot	45,43	2:00	10:04		4:04	0	0

Vehicle: V9		Stops: 20	Net profit: -58,06					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	41
1	0000013632	9,62	0:14	06:14	06:20	0:20	0	40,1
2	0000007289	9,65	0:14	06:20	06:27	0:27	0	37,5
3	0000023743	11,45	0:22	06:35	06:39	0:39	0	34,5
4	0000082904	13,01	0:31	06:48	06:54	0:54	0	32,6
5	0000084860	15,07	0:39	07:02	07:11	1:11	0	28,9
6	0000018546	15,88	0:42	07:14	07:18	1:18	0	27,5
7	0000002611	17,55	0:47	07:23	07:32	1:32	0	26,6
8	0000083995	19,17	0:53	07:38	07:42	1:42	0	24,4
9	0000095350	19,49	0:55	07:44	07:53	1:53	0	21,1
10	0000076600	20,08	0:57	07:55	07:58	1:58	0	17,4
11	0000030925	20,87	1:01	08:02	08:07	2:07	0	16,2
12	0000023609	21,82	1:07	08:13	08:22	2:22	0	16
13	0000003255	22,69	1:11	08:26	08:29	2:29	0	12,9
14	0000018104	25,83	1:21	08:39	08:48	2:48	0	12,7
15	0000009543	28,29	1:29	08:56	09:00	3:00	0	10,5

16	0000019005	31,37	1:38	09:09	09:16	3:16	0	7,36
17	0000085905	33,07	1:47	09:25	09:30	3:30	0	4,67
18	0000016023	35,68	1:56	09:39	09:45	3:45	0	3,45
19	0000006158	36,58	2:00	09:49	09:55	3:55	0	0
20	Depot	44,66	2:12	10:07		4:07	0	0

Vehicle: V10		Stops:	8	Net profit:		-25,33		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	28,6
1	0000054940	4,47	0:12	06:12	06:15	0:15	0	23,2
2	0000054891	7,64	0:20	06:23	06:26	0:26	0	23
3	0000021946	8,96	0:24	06:30	06:40	0:40	0	21,7
4	0000009195	12,13	0:34	06:50	08:03	2:03	0	14,3
5	0000017594	12,76	0:38	08:07	08:11	2:11	0	3,48
6	0000014338	13,36	0:41	08:14	08:19	2:19	0	0,73
7	0000087103	14,39	0:44	08:22	08:31	2:31	0	0
8	Depot	19,49	0:52	08:39		2:39	0	0

Vehicle: V11		Stops:	10	Net profit:		-243,74		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	8
1	0000021903	25,46	0:29	06:29	06:36	0:36	0	7,35
2	0000013702	26,32	0:31	06:38	06:42	0:42	0	4,69
3	0000003349	38,17	0:47	06:58	07:05	1:05	0	4,54
4	0000021429	69,36	1:23	07:41	07:48	1:48	0	4,31
5	0000003184	92,90	1:49	08:14	08:21	2:21	0	3,54
6	0000002217	101,76	2:00	08:32	08:37	2:37	0	2,61
7	0000002513	107,56	2:10	08:47	08:52	2:52	0	1,29
8	0000052307	119,52	2:26	09:08	09:16	3:16	0	0,44
9	0000037905	145,27	2:55	09:45	09:52	3:52	0	0
10	Depot	187,49	3:32	10:29		4:29	0	0

Vehicle: V12		Stops:	3	Net profit:		-40,62		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	4,89
1	0000014947	16,10	0:20	06:20	08:08	2:08	0	2
2	0000009582	19,39	0:29	08:17	08:20	2:20	0	0
3	Depot	31,24	0:42	08:33		2:33	0	0

Vehicle:	V13	Stops:	10	Net profit:	-188,21			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	26,7
1	0000025706	32,82	0:30	06:30	06:36	0:36	0	26,5
2	0000017873	63,95	0:58	07:04	07:11	1:11	0	24,5
3	0000086730	81,85	1:20	07:33	07:43	1:43	0	22,9
4	0000003103	98,00	1:40	08:03	08:07	2:07	0	19,6
5	0000017495	107,84	1:56	08:23	08:32	2:32	0	15,2
6	0000074866	119,49	2:15	08:51	08:56	2:56	0	8,64
7	0000021271	120,59	2:19	09:00	09:05	3:05	0	5,06
8	0000022782	121,40	2:21	09:07	09:12	3:12	0	2,12
9	0000013737	123,34	2:27	09:18	09:21	3:21	0	0
10	Depot	144,77	2:45	09:39		3:39	0	0

Vehicle:	V14	Stops:	15	Net profit:	-96,74			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	26,8
1	0000011603	10,50	0:17	06:17	06:23	0:23	0	25,5
2	0000010963	10,72	0:18	06:24	06:28	0:28	0	22
3	0000014233	14,08	0:28	06:38	06:46	0:46	0	19,2
4	0000025093	18,13	0:41	06:59	07:04	1:04	0	17,2
5	0000012417	19,41	0:45	07:08	07:15	1:15	0	16,2
6	0000023656	32,25	1:07	07:37	07:41	1:41	0	15,4
7	0000096084	44,98	1:24	07:58	08:05	2:05	0	12,1
8	0000019455	47,06	1:32	08:13	08:18	2:18	0	7,53
9	0000011825	50,58	1:43	08:29	08:33	2:33	0	5,52
10	0000004853	51,23	1:46	08:36	08:45	2:45	0	2,48
11	0000024250	56,55	2:00	08:59	09:07	3:07	0	2,29
12	0000008105	60,41	2:15	09:22	09:31	3:31	0	1,86
13	0000002317	60,78	2:17	09:33	09:43	3:43	0	0,24
14	0000001798	61,92	2:22	09:48	09:54	3:54	0	0
15	Depot	74,42	2:36	10:08		4:08	0	0

Vehicle:	V15	Stops:	11	Net profit:	-270,05			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	13,8
1	0000021793	31,25	0:34	06:34	06:38	0:38	0	13,2
2	0000017761	41,20	0:48	06:52	06:59	0:59	0	12,7
3	0000021755	67,36	1:14	07:25	07:28	1:28	0	12,6
4	0000025783	96,81	1:43	07:57	08:04	2:04	0	11,9

5	0000015755	139,18	2:29	08:50	08:54	2:54	0	11,1
6	0000017427	143,86	2:39	09:04	09:08	3:08	0	9,48
7	0000017546	146,05	2:46	09:15	09:24	3:24	0	8,8
8	0000012034	146,36	2:47	09:25	09:31	3:31	0	6,48
9	0000023715	149,07	2:55	09:39	09:43	3:43	0	5,29
10	0000002510	153,65	3:03	09:51	09:57	3:57	0	0
11	Depot	207,73	3:45	10:39		4:39	0	0

Vehicle: V16		Stops: 19	Net profit: -41,50					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	31,7
1	0000073653	3,91	0:12	06:12	06:20	0:20	0	31,6
2	0000014083	7,40	0:23	06:31	06:37	0:37	0	28,7
3	0000013588	9,53	0:32	06:46	06:50	0:50	0	27,3
4	0000060854	9,83	0:34	06:52	07:01	1:01	0	27,1
5	0000018252	10,63	0:37	07:04	07:12	1:12	0	27
6	0000042775	12,49	0:44	07:19	07:22	1:22	0	26,5
7	0000024314	13,15	0:46	07:24	07:29	1:29	0	25,7
8	0000062392	14,55	0:50	07:33	07:38	1:38	0	21,1
9	0000021997	14,82	0:51	07:39	08:05	2:05	0	17,9
10	0000009043	17,34	1:03	08:17	08:26	2:26	0	14
11	0000053424	18,69	1:09	08:32	08:35	2:35	0	13,3
12	0000017434	18,94	1:10	08:36	08:46	2:46	0	12,4
13	0000078898	19,61	1:13	08:49	08:57	2:57	0	8,82
14	0000016558	20,35	1:18	09:02	09:09	3:09	0	7,2
15	0000006097	21,35	1:22	09:13	09:17	3:17	0	5,74
16	0000018558	22,41	1:26	09:21	09:28	3:28	0	2,85
17	0000026480	23,02	1:28	09:30	09:37	3:37	0	1,3
18	0000010886	24,29	1:34	09:43	09:47	3:47	0	0
19	Depot	31,92	1:47	10:00		4:00	0	0

10.1.6 DC2

Vehicle: V1		Stops: 12	Net profit: -128,57					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	16
1	0000023440	13,49	0:14	06:14	06:18	0:18	0	15,3
2	0000012823	28,59	0:32	06:36	06:44	0:44	0	14,4

3	0000055265	28,60	0:32	06:44	06:54	0:54	0	7,91
4	0000002918	28,95	0:33	06:55	07:00	1:00	0	7,83
5	0000096530	46,45	1:00	07:27	07:35	1:35	0	7,72
6	0000024073	69,97	1:36	08:11	08:21	2:21	0	6,35
7	0000025679	79,34	1:50	08:35	08:41	2:41	0	6,27
8	0000009726	88,12	2:08	08:59	09:08	3:08	0	4,09
9	0000002452	88,69	2:10	09:10	09:16	3:16	0	1,84
10	0000015688	90,44	2:16	09:22	09:30	3:30	0	1,77
11	0000052750	108,18	2:36	09:50	09:54	3:54	0	0
12	Depot	116,89	2:50	10:08		4:08	0	0

Vehicle: V2		Stops: 21	Net profit: -65,35					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	29,7
1	0000068903	12,79	0:17	06:17	06:23	0:23	0	29,2
2	0000011538	15,60	0:25	06:31	06:38	0:38	0	29,2
3	0000002442	25,42	0:36	06:49	06:54	0:54	0	27,7
4	0000018038	26,29	0:39	06:57	07:03	1:03	0	25,3
5	0000056464	26,51	0:40	07:04	07:12	1:12	0	24,8
6	0000002947	27,46	0:43	07:15	07:24	1:24	0	24,3
7	0000016098	27,82	0:44	07:25	07:29	1:29	0	22,9
8	0000011765	30,77	0:52	07:37	07:47	1:47	0	22
9	0000062200	32,14	0:56	07:51	08:01	2:01	0	20,6
10	0000017526	33,09	0:58	08:03	08:07	2:07	0	16,3
11	0000019697	33,94	1:00	08:09	08:13	2:13	0	14,8
12	0000003632	34,75	1:02	08:15	08:24	2:24	0	13,6
13	0000004835	36,57	1:07	08:29	08:36	2:36	0	9,68
14	0000011704	36,80	1:08	08:37	08:42	2:42	0	7,55
15	0000018697	37,24	1:09	08:43	08:47	2:47	0	4,81
16	0000017881	50,62	1:29	09:07	09:12	3:12	0	3,96
17	0000017282	51,59	1:32	09:15	09:20	3:20	0	3,5
18	0000015198	52,65	1:35	09:23	09:27	3:27	0	0,95
19	0000010911	56,33	1:44	09:36	09:42	3:42	0	0,61
20	0000052535	56,49	1:44	09:42	09:51	3:51	0	0
21	Depot	59,41	1:53	10:00		4:00	0	0

Vehicle: V3		Stops: 20	Net profit: -36,34					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	29,7
1	0000076445	8,75	0:13	06:13	06:17	0:17	0	29,1
2	0000032436	10,44	0:19	06:23	06:32	0:32	0	28,3
3	0000026157	10,76	0:20	06:33	06:36	0:36	0	25,4
4	0000026152	11,03	0:21	06:37	06:41	0:41	0	25,2

5	0000013289	11,33	0:23	06:43	06:53	0:53	0	24,2
6	0000090360	11,70	0:24	06:54	06:58	0:58	0	24
7	0000072003	12,34	0:26	07:00	07:04	1:04	0	21
8	0000025152	12,67	0:27	07:05	07:15	1:15	0	21
9	0000026117	13,36	0:29	07:17	07:24	1:24	0	17,1
10	0000021803	15,64	0:36	07:31	07:41	1:41	0	15,8
11	0000044020	16,67	0:38	07:43	07:52	1:52	0	15
12	0000018348	16,89	0:39	07:53	07:58	1:58	0	14,8
13	0000019829	17,36	0:41	08:00	08:08	2:08	0	11,9
14	0000059770	17,62	0:42	08:09	08:13	2:13	0	11,7
15	0000016417	20,74	0:51	08:22	08:29	2:29	0	9,14
16	0000011236	22,68	0:57	08:35	08:40	2:40	0	3,51
17	0000008020	24,08	1:01	08:44	08:48	2:48	0	3,07
18	0000048250	25,74	1:05	08:52	09:00	3:00	0	1,51
19	0000002002	29,33	1:17	09:12	09:18	3:18	0	0
20	Depot	33,04	1:28	09:29		3:29	0	0

Vehicle: V4		Stops: 21	Net profit: -48,46					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	29,7
1	0000069180	9,34	0:16	06:16	06:25	0:25	0	27,6
2	0000093388	9,89	0:18	06:27	06:34	0:34	0	27,6
3	0000018199	10,09	0:19	06:35	06:39	0:39	0	27,2
4	0000003085	10,49	0:20	06:40	06:47	0:47	0	24,9
5	0000012164	11,03	0:22	06:49	06:57	0:57	0	23,6
6	0000006681	11,53	0:24	06:59	07:03	1:03	0	22,6
7	0000008857	18,08	0:34	07:13	07:20	1:20	0	21,8
8	0000013193	18,50	0:35	07:21	07:27	1:27	0	18,8
9	0000082897	18,93	0:36	07:28	07:32	1:32	0	18,1
10	0000025615	19,78	0:38	07:34	08:09	2:09	0	16,3
11	0000009715	20,08	0:39	08:10	08:18	2:18	0	14,3
12	0000046453	21,20	0:42	08:21	08:28	2:28	0	14,1
13	0000010892	22,08	0:44	08:30	08:35	2:35	0	11,5
14	0000012481	23,40	0:49	08:40	08:49	2:49	0	8,06
15	0000009630	24,28	0:52	08:52	08:58	2:58	0	5,65
16	0000002797	30,88	1:03	09:09	09:15	3:15	0	5,57
17	0000004604	31,75	1:07	09:19	09:25	3:25	0	3,12
18	0000012177	32,86	1:12	09:30	09:36	3:36	0	1,77
19	0000002987	34,71	1:19	09:43	09:52	3:52	0	1,03
20	0000017752	35,41	1:22	09:55	10:00	4:00	0	0
21	Depot	44,06	1:36	10:14		4:14	0	0

Vehicle: V5 Stops: 12 Net profit: -231,16

Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	16,6
1	0000014028	46,40	0:39	06:39	06:44	0:44	0	13,7
2	0000021646	63,38	1:03	07:08	07:13	1:13	0	11,7
3	0000024810	64,24	1:05	07:15	07:23	1:23	0	8
4	0000085225	87,60	1:38	07:56	08:03	2:03	0	6,55
5	0000024053	92,40	1:46	08:11	08:19	2:19	0	5,96
6	0000004718	108,48	2:10	08:43	08:49	2:49	0	4,7
7	0000018039	108,68	2:11	08:50	08:58	2:58	0	3,63
8	0000008285	128,44	2:30	09:17	09:25	3:25	0	1,83
9	0000023518	133,61	2:41	09:36	09:40	3:40	0	1,03
10	0000003765	134,55	2:45	09:44	09:52	3:52	0	0,13
11	0000022980	135,00	2:47	09:54	10:00	4:00	0	0
12	Depot	210,14	3:45	10:58		4:58	0	0

Vehicle:	V6	Stops:	12	Net profit:	-234,92			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	5,99
1	0000002697	92,25	1:10	07:10	07:15	1:15	0	5,76
2	0000019681	93,53	1:15	07:20	07:28	1:28	0	5,52
3	0000003042	94,12	1:18	07:31	07:38	1:38	0	5,42
4	0000004017	95,45	1:22	07:42	07:51	1:51	0	3,3
5	0000017351	99,53	1:31	08:00	08:03	2:03	0	3,17
6	0000014207	102,03	1:39	08:11	08:20	2:20	0	2,19
7	0000009090	111,78	1:55	08:36	08:40	2:40	0	1,75
8	0000005394	114,60	2:06	08:51	09:00	3:00	0	1,25
9	0000005908	116,06	2:11	09:05	09:09	3:09	0	0,94
10	0000017389	135,04	2:31	09:29	09:36	3:36	0	0,15
11	0000002975	140,14	2:43	09:48	09:58	3:58	0	0
12	Depot	213,56	3:45	11:00		5:00	0	0

Vehicle:	V7	Stops:	17	Net profit:	-22,08			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	23,3
1	0000046410	6,34	0:15	06:15	06:21	0:21	0	22,3
2	0000016506	7,34	0:18	06:24	06:33	0:33	0	20,1
3	0000071212	7,54	0:18	06:33	06:41	0:41	0	19,6
4	0000010957	8,40	0:21	06:44	06:50	0:50	0	15,2
5	0000011354	8,71	0:22	06:51	06:58	0:58	0	14,4
6	0000067933	9,28	0:24	07:00	07:08	1:08	0	14
7	0000006812	9,39	0:24	07:08	07:16	1:16	0	13,3
8	0000004223	9,58	0:25	07:17	07:25	1:25	0	12
9	0000008342	9,81	0:26	07:26	07:34	1:34	0	11,4

10	0000006735	10,21	0:27	07:35	07:38	1:38	0	10,8
11	0000097160	10,97	0:30	07:41	07:48	1:48	0	8,5
12	0000009775	11,71	0:32	07:50	07:55	1:55	0	6,97
13	0000009719	12,50	0:34	07:57	08:00	2:00	0	6,16
14	0000036480	16,58	0:46	08:12	08:22	2:22	0	3
15	0000084525	16,98	0:47	08:23	08:29	2:29	0	1,64
16	0000038080	17,61	0:49	08:31	08:34	2:34	0	0
17	Depot	20,07	0:57	08:42		2:42	0	0

Vehicle: V8		Stops:	10	Net profit: -160,61				
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	18,9
1	0000006780	33,53	0:36	06:36	06:42	0:42	0	18,2
2	0000006761	40,98	0:51	06:57	07:04	1:04	0	15,5
3	0000021741	72,75	1:35	07:48	07:57	1:57	0	12,7
4	0000004044	89,08	1:56	08:18	08:25	2:25	0	12,5
5	0000017100	99,75	2:10	08:39	08:44	2:44	0	8,35
6	0000014033	111,03	2:26	09:00	09:06	3:06	0	6,92
7	0000050552	123,12	2:46	09:26	09:35	3:35	0	6,6
8	0000009920	126,33	2:53	09:42	09:47	3:47	0	2,69
9	0000015315	128,48	2:58	09:52	09:56	3:56	0	0
10	Depot	146,01	3:18	10:16		4:16	0	0

Vehicle: V9		Stops:	12	Net profit: -75,58				
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	23
1	0000091435	9,01	0:13	06:13	06:16	0:16	0	22,4
2	0000018674	17,03	0:27	06:30	06:36	0:36	0	21,4
3	0000016460	23,29	0:39	06:48	06:55	0:55	0	18,9
4	0000003342	27,87	0:52	07:08	07:13	1:13	0	16,4
5	0000003928	28,67	0:54	07:15	07:21	1:21	0	16,2
6	0000001885	39,45	1:07	07:34	07:41	1:41	0	12,1
7	0000012675	40,83	1:13	07:47	08:07	2:07	0	7,28
8	0000024623	41,16	1:14	08:08	08:13	2:13	0	5,78
9	0000046244	42,00	1:17	08:16	08:22	2:22	0	1,4
10	0000012844	53,96	1:31	08:36	08:45	2:45	0	0,19
11	0000009988	63,67	1:48	09:02	09:10	3:10	0	0
12	Depot	68,71	1:56	09:18		3:18	0	0

Vehicle: V10		Stops:	10	Net profit: -76,56				
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	8,28
1	0000009185	6,66	0:12	06:12	06:17	0:17	0	7,41

2	0000000914	13,38	0:26	06:31	06:36	0:36	0	7,03
3	0000025397	18,93	0:40	06:50	06:59	0:59	0	5,46
4	0000024633	26,21	0:56	07:15	07:19	1:19	0	4,53
5	0000031502	26,50	0:57	07:20	07:24	1:24	0	4,14
6	0000012355	27,06	1:00	07:27	07:30	1:30	0	3,63
7	0000002244	41,53	1:23	07:53	08:02	2:02	0	3,43
8	0000001983	45,15	1:32	08:11	08:20	2:20	0	1,19
9	0000024538	55,89	1:43	08:31	08:36	2:36	0	0
10	Depot	69,60	2:00	08:53		2:53	0	0

Vehicle: V11		Stops: 9	Net profit: -187,09					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	10,6
1	0000014124	65,05	1:16	07:16	07:22	1:22	0	9,95
2	0000019890	79,48	1:37	07:43	07:49	1:49	0	7,98
3	0000005408	103,92	2:05	08:17	08:25	2:25	0	7,63
4	0000017534	125,84	2:28	08:48	08:53	2:53	0	4,59
5	0000011323	127,62	2:34	08:59	09:06	3:06	0	2,31
6	0000014165	141,45	2:53	09:25	09:32	3:32	0	2,27
7	0000021780	142,04	2:55	09:34	09:43	3:43	0	1,82
8	0000021513	142,44	2:56	09:44	09:50	3:50	0	0
9	Depot	170,08	3:23	10:17		4:17	0	0

Vehicle: V12		Stops: 21	Net profit: -59,94					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	28,3
1	0000001717	7,34	0:15	06:15	06:22	0:22	0	27,2
2	0000010170	9,13	0:22	06:29	06:38	0:38	0	25,4
3	0000015954	17,46	0:37	06:53	06:58	0:58	0	22,4
4	0000003066	20,48	0:43	07:04	07:14	1:14	0	20,2
5	0000001543	22,15	0:48	07:19	07:23	1:23	0	19,8
6	0000024670	28,84	0:59	07:34	07:41	1:41	0	19,7
7	0000060761	29,02	0:59	07:41	07:47	1:47	0	19,4
8	0000071645	29,66	1:01	07:49	07:53	1:53	0	18,8
9	0000004557	32,22	1:08	08:00	08:04	2:04	0	14,5
10	0000012431	32,98	1:10	08:06	08:11	2:11	0	13,5
11	0000025883	35,10	1:18	08:19	08:26	2:26	0	10,3
12	0000012191	36,93	1:25	08:33	08:37	2:37	0	9,5
13	0000003734	40,41	1:34	08:46	08:55	2:55	0	5,76
14	0000021773	42,34	1:38	08:59	09:03	3:03	0	5,58
15	0000006766	42,60	1:39	09:04	09:13	3:13	0	4,17
16	0000050335	43,37	1:41	09:15	09:21	3:21	0	3,99
17	0000075550	44,34	1:44	09:24	09:31	3:31	0	2,76

18	0000015183	44,74	1:46	09:33	09:40	3:40	0	2,71
19	0000067887	45,25	1:47	09:41	09:46	3:46	0	0,82
20	0000061320	46,87	1:52	09:51	10:00	4:00	0	0
21	Depot	54,49	2:03	10:11		4:11	0	0

Vehicle: V13		Stops: 20	Net profit: -57,90					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	25,1
1	0000014098	15,83	0:19	06:19	06:22	0:22	0	23,3
2	0000026315	16,84	0:22	06:25	06:33	0:33	0	23,2
3	0000006545	19,72	0:30	06:41	06:48	0:48	0	22,7
4	0000023325	20,15	0:31	06:49	06:56	0:56	0	22,4
5	0000012346	22,96	0:38	07:03	07:10	1:10	0	22,1
6	0000014246	23,30	0:40	07:12	07:22	1:22	0	21,3
7	0000011463	24,46	0:44	07:26	07:31	1:31	0	21,1
8	0000003234	25,36	0:47	07:34	07:38	1:38	0	19,5
9	0000002125	26,46	0:50	07:41	07:45	1:45	0	18,6
10	0000031935	27,89	0:55	07:50	07:59	1:59	0	18,4
11	0000011041	29,64	0:59	08:03	08:11	2:11	0	16,6
12	0000021166	29,88	1:00	08:12	08:16	2:16	0	14,6
13	0000008935	30,11	1:01	08:17	08:23	2:23	0	10,8
14	0000041654	30,62	1:03	08:25	08:34	2:34	0	7,08
15	0000018085	31,70	1:06	08:37	08:47	2:47	0	4,24
16	0000025272	32,37	1:08	08:49	08:54	2:54	0	1,59
17	0000015931	36,08	1:18	09:04	09:11	3:11	0	1,56
18	0000023799	42,40	1:28	09:21	09:28	3:28	0	0,8
19	0000025574	43,57	1:31	09:31	09:35	3:35	0	0
20	Depot	52,64	1:47	09:51		3:51	0	0

Vehicle: V14		Stops: 7	Net profit: -81,61					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	12,6
1	0000016269	35,31	0:31	06:31	08:03	2:03	0	9,14
2	0000014482	35,95	0:33	08:05	08:09	2:09	0	7,61
3	0000004817	40,57	0:40	08:16	08:20	2:20	0	6,94
4	0000023429	46,62	0:51	08:31	08:40	2:40	0	0,32
5	0000004506	48,43	0:58	08:47	08:57	2:57	0	0,14
6	0000009512	48,93	1:00	08:59	09:09	3:09	0	0
7	Depot	74,19	1:22	09:31		3:31	0	0

Vehicle: V15		Stops: 11	Net profit: -151,33					
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		06:00	0:00	0	17

1	0000023727	27,06	0:32	06:32	06:41	0:41	0	14,4
2	0000004973	28,07	0:34	06:43	06:50	0:50	0	14,3
3	0000010501	38,75	0:55	07:11	07:19	1:19	0	9,8
4	0000024107	56,67	1:15	07:39	07:48	1:48	0	9,47
5	0000003803	73,32	1:38	08:11	08:19	2:19	0	8,54
6	0000020943	88,62	2:03	08:44	08:51	2:51	0	6,04
7	0000013054	93,58	2:13	09:01	09:06	3:06	0	3,64
8	0000091996	96,04	2:22	09:15	09:20	3:20	0	1
9	0000012354	99,40	2:31	09:29	09:35	3:35	0	0,81
10	0000024628	104,11	2:41	09:45	09:55	3:55	0	0
11	Depot	137,58	3:13	10:27		4:27	0	0