



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

LOGÍSTICA DEL TRASNPORTE: DISEÑO DE RUTAS VEHICULARES. APLICACIÓN A UN PROBLEMA SIMULADO.

Autor: Jesús Osorio Ortega

Grado: Ingeniería de Organización Industrial

Director: José Domingo Jiménez López

Departamento del director: Estadística e Investigación Operativa

Fecha: 25/06/2024

Licencia CC



CREA

Índice

1. Resumen.....	6
2. Abstract.....	7
3. Introducción. Relevancia del transporte en la actividad logística.	8
4. El problema de ruteo de vehículos (VRP)	9
4.1. Variantes del problema VRP	11
5. Formulación del problema.....	13
5.1. Enunciado del problema simulado.....	13
5.2. Justificación de los datos del problema.	13
6. Definición del problema simulado.	17
7. Formulación del problema simulado.	22
7.1. Características del problema CVRP	22
7.2. Modelo de la resolución.....	22
8. Resolución mediante GLPK	25
8.1. Aplicación del método de resolución.	26
8.2. Interpretación de los resultados obtenidos.	28
9. Síntesis de los resultados.	30
9.1. Resultados del Sub-problema 1	31
9.1.1. Rutas para Jaén Sur.	32
9.1.2. Rutas para Jaén Central.	34
9.1.3. Rutas para Jaén Norte.....	36
9.2. Resultados del Sub-problema 2	37
9.2.1. Rutas de la Comarca de Sierra de Segura.	39
9.2.2. Rutas de la Comarca de Sierra de Cazorla.	41
9.2.3. Rutas de la Comarca de Sierra Sur.	42
9.2.4. Rutas de la Comarca de Sierra Mágina.	44
9.2.5. Rutas de la Comarca de La Campiña.	46
9.2.6. Rutas de la Comarca de La Loma y Las Villas.	47
9.2.7. Rutas de la Comarca Norte, de El Condado y Linares.	49
10. Conclusión.....	52
11. Referencias bibliograficas.....	53
12. Anexos.....	56

12.1. Anexo I. Matrices de distancias confeccionadas para cada uno de los sub-problemas.	56
12.1.1. Matrices del sub-problema 1.....	56
12.1.2. Matrices del sub-problema 2.....	57
12.2. Anexo II. Archivos .dat de la resolución.	61
12.2.1. Archivos .dat del sub-problema 1.....	61
12.2.2. Archivos .dat del sub-problema 2.....	64

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Dimensiones de las banastas</i> Fuente: UNE-EN 13199-2	15
Tabla 2 <i>Demandas de los nodos del sub-problema 1.</i>	19
Tabla 3 <i>Demandas de los nodos del sub-problema 2.</i>	21
Tabla 4 <i>Variables de decisión</i>	22
Tabla 5 <i>Parámetros</i>	23
Tabla 6 <i>Conjuntos de valores</i>	23
Tabla 7 <i>Leyenda Mapa de nodos en Jaén capital.</i>	32
Tabla 8 <i>Nodos correspondientes a zona sur de Jaén.</i>	32
Tabla 9 <i>Ruta 1 zona sur de Jaén.</i>	33
Tabla 10 <i>Nodos correspondientes a zona central de Jaén.</i>	34
Tabla 11 <i>Ruta 1 zona central de Jaén.</i>	35
Tabla 12 <i>Nodos correspondientes a zona norte de Jaén.</i>	36
Tabla 13 <i>Ruta 1 zona norte de Jaén.</i>	37
Tabla 14 <i>Nodos Comarca Sierra de Segura.</i>	39
Tabla 15 <i>Ruta 1 Comarca Sierra de Segura.</i>	40
Tabla 16 <i>Ruta 2 Comarca Sierra de Segura.</i>	40
Tabla 17 <i>Nodos Comarca Sierra de Cazorla.</i>	41
Tabla 18 <i>Ruta 1 Comarca Sierra de Cazorla.</i>	42
Tabla 19 <i>Nodos Comarca Sierra Sur.</i>	43
Tabla 20 <i>Ruta 1 Comarca Sierra Sur.</i>	43
Tabla 21 <i>Nodos Comarca Sierra Mágina.</i>	44
Tabla 22 <i>Ruta 1 Comarca Sierra Mágina.</i>	45
Tabla 23 <i>Nodos Comarca La Campiña.</i>	46
Tabla 24 <i>Ruta 1 Comarca de La Campiña.</i>	46
Tabla 25 <i>Nodos Comarca La Loma y Las Villas.</i>	47
Tabla 26 <i>Ruta 1 Comarca La Loma y Las Villas.</i>	48
Tabla 27 <i>Nodos Comarca Norte / El Condado / Linares.</i>	49
Tabla 28 <i>Ruta 1 Comarca Norte / El Condado / Linares.</i>	49
Tabla 29 <i>Ruta 2 Comarca Norte / El Condado / Linares.</i>	51
Tabla 30 <i>Resumen resultados.</i>	52

Índice de figuras

Figura. 1 <i>Diagrama problema VRP</i>	10
Figura. 2 <i>Ilustración provincia</i>	13
Figura. 3 <i>Dimensiones de las banastas</i> . Fuente: UNE-EN 13199-2.....	15
Figura. 4 <i>Formato envase Paracetamol</i>	17
Figura. 5 <i>Programa modelo ejecutado en GUSEK</i>	26
Figura. 6 <i>Ejemplo archivo .dat</i>	27
Figura. 7 <i>Ejemplo archivo .out</i>	28
Figura. 8 <i>Ejemplo Interpretación de resultados</i>	29
Figura. 9 <i>Error del programa GUSEK</i>	30
Figura. 10 <i>Mapas de los nodos sub-problema 1</i>	31
Figura. 11 <i>Ruta 1 C.P. 23001 / 23002 / 23003 / 23004</i>	34
Figura. 12 <i>Ruta 1 C.P. 23005 / 23006 / 23007</i>	36
Figura. 13 <i>Ruta 1 C.P. 23008 / 23009</i>	37
Figura. 14 <i>Mapas de los nodos sub-problema 2</i>	38
Figura. 15 <i>Ruta 1 Comarca Sierra de Segura</i>	40
Figura. 16 <i>Ruta 2 Comarca Sierra de Segura</i>	41
Figura. 17 <i>Ruta 1 Comarca Sierra de Cazorla</i>	42
Figura. 18 <i>Ruta 1 Comarca Sierra Sur</i>	44
Figura. 19 <i>Ruta 1 Comarca Sierra Mágina</i>	45
Figura. 20 <i>Ruta 1 Comarca de La Campiña</i>	47
Figura. 21 <i>Ruta 1 Comarca de La Loma y Las Villas</i>	48
Figura. 22 <i>Ruta 1 Comarca Norte /El Condado /Linares</i>	50
Figura. 23 <i>Ruta 2 Comarca Norte /El Condado /Linares</i>	51

1. Resumen

El presente estudio tiene como objetivo la aplicación del diseño de rutas vehiculares a un problema de logística de transporte. Se comenzará contextualizando la importancia del ruteo de vehículos en la actividad logística de la empresa. El desarrollo de capacidades en esta área de la función logística, puede llegar a suponer una fuente de ventaja competitiva vital para las empresas actuales.

De modo, que se abordará el problema del diseño de rutas vehiculares (VRP), estudiando su aplicación y utilidad, así como sus distintas variantes. Para ello, y con el fin de demostrar la potencia de esta herramienta, se procederá al diseño de un problema logístico.

Una vez establecidos los parámetros del mismo, se aplicará un modelo de resolución a través del software Gusek. Mediante este software de carácter computacional se busca la obtención de rutas óptimas con las que dar solución al problema planteado. Este tendrá como fin último, la obtención de un plan de rutas que cubra la totalidad de la provincia de Jaén.

El presente proyecto llevará a cabo la resolución del problema paso a paso, analizando los problemas surgidos durante su resolución. Tratando de adecuar el proceso de diseño de las rutas, de modo que se ajuste a los parámetros del problema propuesto, y dé como resultado una solución óptima.

2. Abstract

The objective of this study is to apply vehicle route design to a transportation logistics problem. It will begin by contextualizing the importance of vehicle routing in the company's logistics activity. The development of capabilities in the area of logistics function can become a vital source of competitive advantage for today's companies.

Thus, the problem of vehicle route design (VRP) will be addressed, studying its application and utility, as well as its different variants. To demonstrate the power of this tool, a logistical problem will be designed. Once its parameters are established, a resolution model will be applied through the Gusek software. This computational software aims to obtain optimal routes to solve the proposed problem. The ultimate goal will be to obtain a routing plan that covers the entire province of Jaén.

This project will carry out the step-by-step resolution of the problem, analyzing the issues that arise during its resolution. The process of route design will be adapted to fit the parameters of the proposed problem, resulting in an optimal solution.

3. Introducción. Relevancia del transporte en la actividad logística.

La situación de globalización en la que se encuentra actualmente el mercado, genera en las empresas la necesidad de emplear sus recursos de forma más eficiente. La búsqueda por generar ventajas competitivas en el interior de la empresa, ha llevado al análisis de todos los aspectos que envuelven a la cadena de suministro.

Concretamente, el presente estudio se centra en el diseño de rutas vehiculares para la distribución de producto. Por ello se enmarcará la búsqueda, de la mencionada ventaja competitiva, en el flujo de actividades logísticas de la empresa.

La actividad logística se define como el control del flujo de materiales desde la fuente de aprovisionamiento hasta situar el producto en el punto de venta, de acuerdo con los requerimientos del cliente y con dos condicionantes básicos; la máxima rapidez en el flujo de producto y la minimización de los costes operacionales. (Anaya Tejero, 2015)

La cadena logística comienza con la etapa de aprovisionamiento de producto, continuando con las funciones de fabricación, almacenaje, y distribución, hasta llegar al punto de venta.

Para la empresa, alcanzar la excelencia en el desarrollo de las actividades relacionadas con la distribución física de su producto, puede llegar a convertirse en una ventaja competitiva. La distribución de producto engloba distintas actividades, pasando por la recepción, el transporte y el almacenaje. Destacando entre todas ellas, la función de transporte que puede llegar a suponer el 40% de los gastos en distribución de la empresa. (Anaya Tejero, 2015)

Se define la función de transporte como todas aquellas actividades, que de forma directa o indirecta, estén dirigidas al traslado de productos desde un punto de origen hasta su destino. (Anaya Tejero, 2015)

El hecho de que el transporte suponga un porcentaje tan elevado dentro de los costes de distribución, dota de gran importancia su gestión y optimización. Es por ello que será necesario disponer de unos factores definidos con los que evaluar el desempeño de la empresa en este aspecto. Con el fin de valorar el desarrollo de las

actividades, se tendrán en cuenta los costes generados, el nivel de calidad del servicio y la seguridad con la que se lleva a cabo la actividad.

Cuando la empresa dispone de una flota de vehículos con los que llevar a cabo el reparto hasta el cliente final, deberá encontrar el equilibrio entre la calidad del servicio ofrecida y sus costes. En este punto se presenta el problema de planificar las rutas de reparto, deberá buscar la forma óptima de llegar a todos sus clientes cumpliendo con los objetivos marcados.

Este estudio se centrará en la reducción de los costes asociados al transporte, partiendo de la importancia de la planificación de rutas como herramienta para garantizar la eficiencia y la fluidez de la cadena de suministro. El proceso de planificación de rutas busca determinar el conjunto de rutas de reparto que resulte óptimo para la empresa minimizando costes, tiempos de reparto o cantidad de rutas generadas.

4. El problema de ruteo de vehículos (VRP)

El problema de ruteo de vehículos (VRP, Vehicle Routing Problem) persigue como objetivo el diseño de las rutas optimas, que ha de seguir una flota de vehículos para repartir a cada uno de sus clientes, finalizando en el origen. Cumpliendo con todas las restricciones impuestas, y optimizando, entre otros aspectos, los costes.

El problema VRP surge como una variante del Problema del Viajero o TSP (Travelling Salesman Problem) introducido por Flood en 1956. Este trata de determinar la ruta que debe recorrer el vendedor, de forma que visite una cantidad de ciudades en un solo viaje y recorriendo la mínima distancia. Debe, iniciar y terminar en el origen. Desprendido de este planteamiento, en 1959 Dantzing y Ramser plantean modelar el reparto de combustible a través de una flota de camiones a diferentes estaciones de servicio, convirtiéndose en la primera aplicación de un problema VRP a un caso real. En adelante, a medida que avanza la investigación en este campo se irán ampliando las restricciones y variables del problema. (Medina et al., 2011)

La formulación del problema parte de una serie de elementos básicos, necesarios para estructurar el problema. Entre los que se encuentran los clientes, los vehículos usados para el reparto, y el objetivo de optimización que persigue el problema.

Cada uno de los elementos del problema posee características que se deberán tener en cuenta en su resolución. Por un lado, los clientes deben definirse en base a su ubicación, su demanda; además del tiempo que requiera realizar el reparto se deben tener en cuenta necesidades específicas del cliente como el tiempo en el que debe recibir la mercancía. Por otro lado, la flota de vehículos, en base a su capacidad, coste de uso y ubicación podrá afectar en distintos parámetros del problema final.

Es además necesario, definir claramente que aspecto del problema se pretende optimizar, de forma que la función objetivo del problema este orientada a ello. Lo más común es buscar la minimización en costes o tiempo, pero también se puede optar por aspectos como reducir al máximo el número de vehículos que requiere la flota. (Toth & Vigo, 2014)

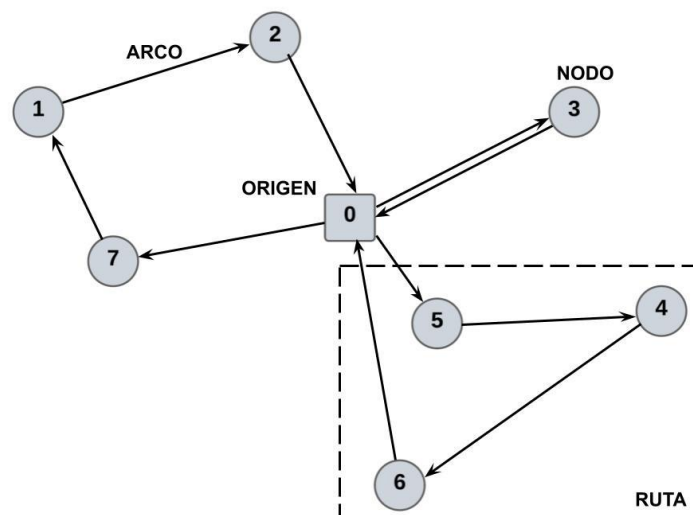


Figura. 1 Diagrama problema VRP

La representación del problema VRP permite ver reflejados los elementos ya mencionados. Los distintos nodos se corresponden con los clientes que se han establecido, y el nodo u origen corresponde al almacén o centro logístico desde el que se realiza el reparto. Las flechas que unen los nodos son los llamados arcos, los cuales llevan asociados el coste tiempo y distancia entre nodos. Finalmente, destacar

que el circuito determinado por una serie de arcos que parten del origen y acaban en él, se denomina ruta. (Toth & Vigo, 2014)

El planteamiento del problema VRP se lleva a cabo mediante programación lineal, para su resolución se puede optar por dos dinámicas distintas, se distingue entre los métodos exactos y métodos aproximados. Por un lado, los métodos exactos se corresponden con la aplicación de algoritmos, dando como resultado la solución óptima, su tiempo de aplicación es elevado. Mientras que los métodos heurísticos aportan una solución aproximada, que no necesariamente tiene porque ser la óptima, poseen un tiempo de ejecución menor. Lo que los vuelve una posibilidad interesante a la hora de enfrentarse a la resolución de este tipo de problemas.

4.1. Variantes del problema VRP

El problema VRP presenta numerosas variantes, en función del aspecto que se quiera estudiar del problema. Partiendo del problema base del modelo VRP se eligen las características específicas que se desean estudiar, se modelan y resuelven las restricciones necesarias. (Toth & Vigo, 2014) Los aspectos, a tener en cuenta para generar las variantes son:

- La estructura de la red de carreteras, en función de las consideraciones que se hagan sobre la estructura y las distancias entre los puntos de reparto.
- Las necesidades del transporte, se tendrá en cuenta el formato en el que se realiza el reparto. Este se puede llevar acabo con distintas dinámicas; un servicio de recogida y devolución, un servicio de planificación de visitas, o recogida y transporte de un punto a otro.
- Las limitaciones de las rutas, en este aspecto se deben tener en cuenta la capacidad de los vehículos, las distancias que deben cubrir, o el uso de varios vehículos a la vez.
- La composición y ubicación de la flota, puede afectar el hecho de que la empresa posea distintos tipos de vehículos, o por el contrario todos sean iguales. Y la ubicación desde la que partan para el reparto, que bien puede ser la misma, o desde distintas.
- El objetivo de la optimización, en este caso, debe decidirse cuál es el aspecto del problema que se quiere minimizar. Este puede ser el coste del reparto,

la distancia que debe cubrir cada ruta, o su duración, entre otros. En definitiva, se elige el criterio bajo el que se generarán las rutas.

Aquellas variantes del problema VRP con mayor interés para el estudio reciben una nomenclatura propia. (Toth, 2002) Se pueden destacar los siguientes:

- Problema de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad (CVRP, Capacited VRP) Presenta una situación en la que se desea llevar a cabo el reparto de una mercancía desde un único almacén, la principal consideración que debe tener en cuenta el problema es la capacidad de los vehículos utilizados.
- Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW, VRP with Time Windows) En este caso, la principal restricción para el problema será la entrega de la mercancía en un intervalo de tiempo; teniéndose entonces que tener en cuenta los tiempos entre nodos y los tiempos de descarga que empleará en cada nodo.
- Problema de ruteo de vehículos con carga de retorno (VRPB, VRP with Backhauls) Para este problema se considerará que el vehículo en su ruta deberá realizar cargas y descargas del mismo producto en los nodos.
- Problema de ruteo de vehículos con entregas y devoluciones (VRPPD, VRP with Pickup and Delivery) En esta variante, a cada cliente se le abastece con una cantidad de producto, y se le recoge otra. Deben tenerse en cuenta ambas cantidades, para no exceder la capacidad de los vehículos.

Queda patente que el planteamiento del problema de ruteo de vehículos puede ir más allá, abordando problemas más complejos y adaptados a la tesitura que se requiera.

5. Formulación del problema.

5.1. Enunciado del problema simulado.

La empresa “Farmacias del Sur” se dedica a la distribución mayorista de medicamentos, actualmente posee un único almacén en la provincia de Jaén. Desde dicho almacén la empresa abastece de producto a todas las farmacias de la provincia. De forma diaria la empresa lleva a cabo el reparto a las farmacias, estos se realizan dos veces al día, de manera que cada ruta se realiza doblemente.



Figura. 2 Ilustración provincia.

Es por ello que, con el objetivo de optimizar sus operaciones logísticas, la empresa desea hacer un estudio de sus rutas de reparto. La empresa pretende con ello determinar las rutas que optimizan la actividad logística, bajo el criterio de la minimización de costes.

5.2. Justificación de los datos del problema.

Se procede a definir todos los datos y parámetros con los que se trabajará el problema propuesto, la dificultad principal que se encuentra a la hora de formular este tipo de problemas es la obtención de datos reales. Debido a la opacidad de las empresas con este tipo de información, no se puede realizar un estudio con datos verídicos. Sin embargo, la importancia de los estudios de este tipo, reside en los métodos de resolución aplicados, lo que permite que la veracidad de los datos no sea un requisito a la hora de su formulación.

No obstante, se tratará de formular el problema con datos que se acerquen lo máximo posible a la situación real de la empresa. A continuación, se proceden a definir los distintos aspectos del problema que son necesarios para su resolución:

- Ubicación del almacén/centro logístico
- Ubicación de los clientes.
- Demanda de cada nodo.
- Capacidad de transporte.

En primer lugar, se definirán tanto la ubicación del centro de almacenaje, desde el que se realizará el reparto de la mercancía; como las ubicaciones de los clientes a los que se les debe hacer llegar la misma. En caso de la ubicación del almacén, se tomará como referencia la ubicación real de la empresa que se dedica a la actividad descrita en el problema, de esta forma se tratará dicha ubicación como un centro logístico con capacidad suficiente para abastecer de forma diaria a todas las ubicaciones de clientes.

De igual forma, para determinar las ubicaciones de los clientes, se tomará como referencia la ubicación real de todas las farmacias de la provincia. La información obtenida a través del colegio de farmacéuticos provincial, indica la existencia de 309 farmacias a lo largo de los municipios del territorio.

Para la determinación de la demanda de cada nodo al que se debe repartir, se tendrán en cuenta los datos considerados en el último informe de *“Prestación Farmacéutica en el Sistema Nacional de Salud”* publicado por el Ministerio de Sanidad en 2023. El mencionado informe afirma que existe en España un consumo medio por habitante de 21,4 envases de medicamento al año. Concretamente en Andalucía el dato asciende hasta los 22,8. Teniendo en cuenta este dato, se multiplicará por la población censada en cada municipio de la provincia. De este modo, se determinará un nivel de demanda anual en número de envases para cada municipio. A su vez, esta cifra se pasará a demanda diaria para cada uno de los nodos.

Una vez estipulada la demanda que se deberá atender en cada farmacia, se establecen las condiciones en las que se realizará el reparto de los productos. Lo más común en esta industria, es que el reparto de los medicamentos se lleve a cabo en

banastas de plástico rígido con tapa. Este tipo de cajas posee unas medidas normalizadas, recogidas en la Norma UNE-EN 13199-2. Para el presente problema se ha estipulado el uso del embalaje con referencia SLC 6432, cuyas medidas son 600x400x320 mm, como se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1 Dimensiones de las banastas Fuente: UNE-EN 13199-2

Dimensiones	Referencia del sistema SLC				
	6432	6422	4322	4312	3212
Dimensiones nominales (mm)	600 × 400 × 320	600 × 400 × 220	400 × 300 × 220	400 × 300 × 120	300 × 200 × 120
Dimensiones exteriores y tolerancias (mm)					
longitud	594 ± 2	594 ± 2	396 ± 1,5	396 ± 1,5	297 ± 1
anchura	396 ± 1,5	396 ± 1,5	297 ± 1	297 ± 1	197 ± 1
altura	314 ± 1	214 ± 1	214 ± 1	114 ± 1	114 ± 1
Dimensiones interiores y tolerancias (mm)					
longitud	560 ± 2	560 ± 2	362 ± 1,5	362 ± 1,5	263 ± 1
anchura	362 ± 1,5	362 ± 1,5	263 ± 1	263 ± 1	163 ± 1
altura total	311 ± 1	211 ± 1	211 ± 1	111 ± 1	111 ± 1
altura útil	294 ± 1	194 ± 1	194 ± 1	94 ± 1	94 ± 1

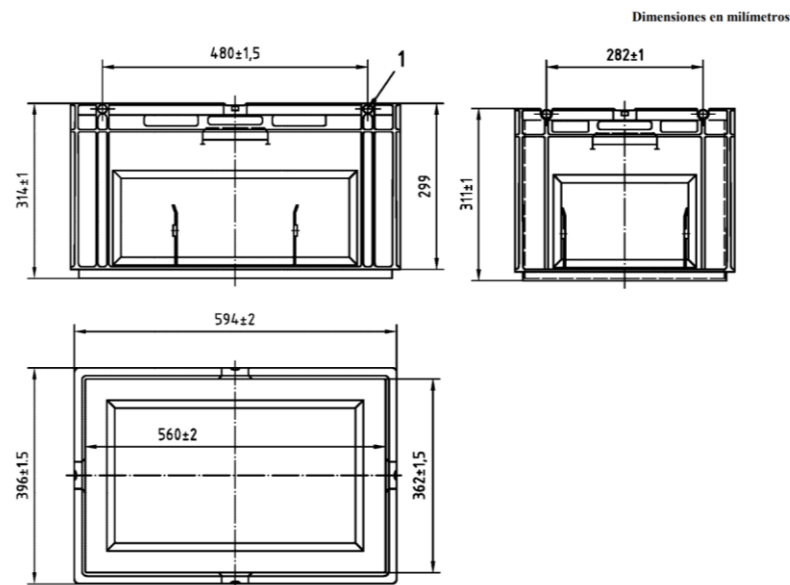


Figura. 3 Dimensiones de las banastas. Fuente: UNE-EN 13199-2

De modo que en adelante se usarán como unidad para determinar la capacidad de reparto de cada furgón; al mismo tiempo, se hará una equivalencia entre la demanda en número de envases y el número de banastas que demandará cada nodo. De esta forma, la banasta actuará como unidad básica del problema.

Conocidas las dimensiones de la banasta con la que el reparto será realizado, se procede a estipular el número de ellas que se podrán transportar en un vehículo. La empresa posee un modelo de furgón para el reparto en ciudad, y otro para el reparto entre municipios. El modelo de furgón para el reparto en ciudad se corresponde con los denominados L2H2, por lo que tendrá capacidad para transportar 4 Europalet ISO1. Por otro lado, el reparto entre municipios se realiza con un modelo L3H2, lo que permite el transporte de 6 Europalet ISO1.

Siguiendo lo estipulado en la UNE-EN 13199-2, se traduce en el transporte de 8 banastas por paleta. Lo que sería un total de 32 y 48 banastas por furgón respectivamente.

Finalmente, solo resta disponer la cantidad de medicamentos que pueden ser transportados en el interior de cada una de las cajas. El volumen útil de las banastas consideradas para el problema, en base a sus dimensiones interiores, es de 60 l.

Por otro lado, como referencia para su contenido se tomarán las medidas del envase del medicamento más vendido en España. Remitiendo de nuevo al informe de *“Prestación Farmacéutica en el Sistema Nacional de Salud”* publicado por el Ministerio de Sanidad en el año 2023, se afirma que la fórmula genérica más comercializada en España, es el Paracetamol. De forma que esta será la referencia de volumen para definir la capacidad de las banastas.

El paracetamol se comercializa en distintos formatos, para este caso se va a considerar el formato de “PARACETAMOL KERN PHARMA EFG 1 G, 40 COMPR”, este tipo de envases pueden ser definidos en base a la Norma UNE-EN14054. Se tomará como referencia el modelo de código ECMA 2220, de dimensiones 100x60x45mm

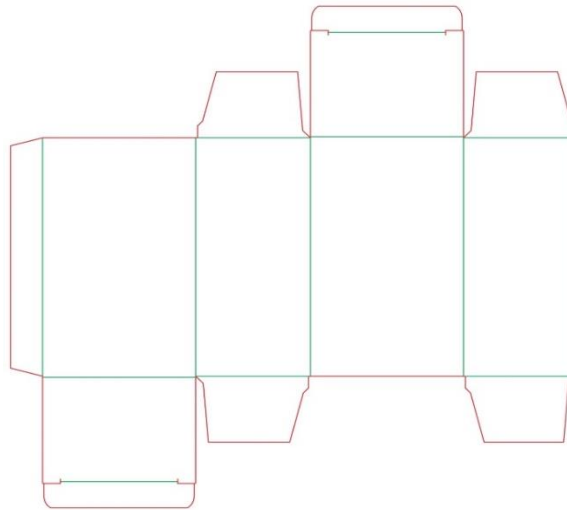


Figura. 4 Formato envase Paracetamol.

Considerando los anteriores datos y las distintas posiciones que podrían adoptar los envases en el interior de las banastas, se calcula que en cada banasta se podrán transportar hasta 180 envases de medicamento.

Sintetizando estos últimos datos, para la resolución del presente problema se estipula que:

- Cada furgón del que disponga la empresa podrá transportar de forma simultanea 32 banastas, para reparto en ciudad, y 48 banastas de medicamentos, para el reparto entre municipios.
- Cada una de las banastas transportadas posee capacidad para un máximo de 180 envases de medicamento.

6. Definición del problema simulado.

Una vez conocidos los datos de los que se dispone para la resolución del problema, se procede a decidir sobre el método de resolución más apropiado para el mismo.

La premisa bajo la que se ha propuesto el problema, es la de obtener un plan de rutas que optimicen el gasto de la empresa en su actividad logística. Actualmente, este reparto abarca toda la provincia de Jaén, es por ello que se subdividirá el problema. Planteándose por un lado el reparto a las farmacias de la capital, y de forma análoga él del resto de la provincia.

El primero de los sub-problemas planteará el reparto a las farmacias en el término municipal de Jaén. La mayor concentración de farmacias en esta área, así como su cercanía al centro logístico desde el que se llevará acabo el reparto, suponen que las condiciones de transporte sean distintas a las del resto de las rutas; de ahí la distinción realizada.

Para este primer sub-problema se han definido un total de 55 nodos a los que se debe repartir, cada uno de ellos con sus respectivas demandas definidas en número de banastas. Los nodos definidos para el reparto en este caso, se corresponden con las farmacias de la ciudad, como se recoge en la Tabla 2. También se ha generado una matriz de distancias, en la que se recogen tanto la distancias desde cada farmacia al centro logístico, como entre ellas.

Conocidos los datos dados acerca del problema, se tratará como un CVRP. Con un solo almacén desde el que realizar el reparto, y una serie de nodos a los que suministrar, la restricción estará en la capacidad de transporte de los vehículos utilizados.

Tabla 2 Demandas de los nodos del sub-problema 1.

Código	Nº Farmacia	Dirección	C.P.	Demanda (Nº envases)	Demanda (Banastas)
J1	66	C/ MARTÍNEZ MOLINA, 35	23004	278	2
J2	67	C/ ÁLAMOS, 8	23004	278	2
J3	68	PASEO DE LA ESTACIÓN, 50	23008	46	1
J4	69	AVDA. DE BARCELONA, 2	23006	48	1
J5	70	POLÍGONO DEL VALLE, LOCAL COMERCIAL 11	23009	65	1
J6	71	AVDA. DE MADRID, 10	23003	156	1
J7	72	PLAZA DE LA AUDIENCIA, 2	23004	278	2
J8	73	C/ PESCADERÍA, 5	23001	79	1
J9	74	C/ DEL RASTRO, 8	23003	156	1
J10	75	PLAZA DE LA CONSTITUCIÓN, 11	23001	79	1
J11	76	C/ SEVILLA, 8	23006	48	1
J12	77	C/ BERNABÉ SORIANO, 5	23001	79	1
J13	78	C/ JUAN MONTILLA, 30	23002	131	1
J14	79	PLAZA DE LOS JARDINILLOS, 2	23004	278	2
J15	80	PASEO DE ESPAÑA, 35	23009	65	1
J16	81	C/ SAN CLEMENTE, 7	23004	278	2
J17	82	PASEO DE LA ESTACIÓN, 11	23007	48	1
J18	182	C/ MILLÁN DE PRIEGO, 45	23007	48	1
J19	189	PLAZA DE LA MAGDALENA, 8	23004	278	2
J20	190	PLAZA DEL CONDE, 2	23002	131	1
J21	193	C/ LAS BERNARDAS, 19	23001	79	1
J22	194	C/ MENÉNDEZ Y PELAYO, 46	23003	156	1
J23	196	C/ ANDÚJAR, 8	23008	46	1
J24	198	C/ BAEZA, 9	23008	46	1
J25	210	AVDA. DE MADRID, 72	23008	46	1
J26	212	AVDA. DE ANDALUCÍA, 81	23005	574	4
J27	213	C/ FRANCISCO COELLO, 7	23002	131	1
J28	214	AVDA. ANDALUCÍA, 32	23006	48	1
J29	220	PLAZA BELÉN, 5	23003	156	1
J30	229	C/ CARRERA DE JESÚS, 51	23002	131	1
J31	235	C/ NAVAS DE TOLOSA, 6	23003	156	1
J32	236	C/ REYES CATÓLICOS, 3	23003	156	1
J33	239	AVDA. DE MADRID, 58	23008	46	1
J34	242	C/ MARTINEZ MONTAÑÉS, 17	23007	48	1
J35	244	PASEO DE LA ESTACIÓN, 37	23007	48	1
J36	245	C/ VALENCIA, 14	23006	48	1
J37	247	C/ FUENTE DE DON DIEGO, 6	23001	79	1
J38	251	AVDA. EJÉRCITO ESPAÑOL, 2	23007	48	1
J39	252	C/ DOCTOR AZPITARTE, 1	23001	79	1
J40	257	C/ CONDESTABLE IRANZO, 23	23005	574	4
J41	261	AVDA. EDUARDO GARCÍA MAROTO, 20	23006	48	1
J42	262	PLAZA PORTILLO SAN JERÓNIMO, 1	23001	79	1
J43	263	C/ DE LA RECONCILIACIÓN, 1	23006	48	1
J44	264	C/ EXTREMADURA, 7	23008	46	1
J45	266	C/ NÚÑEZ DE BALBOA, 2	23007	48	1
J46	267	AVDA. DE ANDALUCÍA, 29	23005	574	4
J47	269	AVDA. DE LA UNIVERSIDAD, 2	23009	65	1
J48	280	AVDA. DE ANDALUCÍA, 70	23006	48	1
J49	293	C/ SANTA MARÍA DEL VALLE, 6	23009	65	1
J50	298	C/ MANUEL CABALLERO VENZALÁ, 18	23009	65	1
J51	304	C/ ARQUITECTO PABLO DEL CASTILLO GARCIA NEGRETE, 1	23003	156	1
J52	309	AVDA. BARCELONA, 18	23006	48	1
J53	313	C/ FUENTE DEL ALAMILLO, 18	23006	48	1
J54	314	C/ PRINCIPADO DE ASTURIAS, 4	23009	65	1
J55	320	PASEO DE ESPAÑA, 36	23009	65	1

Por otro lado, el segundo sub-problema que se plantea es el reparto al resto de farmacias de la provincia. En este caso se han definido 98 nodos. Aunque el tratamiento de las demandas se ha realizado de forma distinta al primero.

En el contexto del reparto a toda la provincia, se ha decidido tratar cada uno de los municipios como un nodo, independientemente de que exista más de una farmacia en él. De modo que se ha definido una demanda total para el municipio, en número de banastas. Y además se ha generado una matriz de distancias con la misma metodología que en el primero de los sub-problemas.

De igual forma que en el anterior, se tratará este sub-problema como un CVRP, la única diferencia será la capacidad de transporte de mercancía en los furgones. Para esta parte del problema serán considerados los vehículos de mayor capacidad, dado que las distancias a cubrir por las rutas son mayores.

Cabe realizar dos apuntes a cerca del planteamiento del problema. En primer lugar, las demandas consideradas para ambos sub-problemas se han supuesto deterministas y estáticas.

Por otro lado, en lo que respecta a las matrices de distancias se ha considerado simétricas, debido a que durante la obtención de los datos no se han apreciado diferencias significativas en las distancias. De este modo se establecen las distancias de ida y vuelta entre nodos como iguales.

Desprendido de esta última consideración, el coste y el tiempo de recorrer la distancia entre dos nodos se considerarán iguales al llevarlo a cabo en ambas direcciones.

Tabla 3 Demandas de los nodos del sub-problema 2.

Código	Localidad	Demanda (Nº envases)	Demanda (Banastas)
F1	ALBANCHEZ DE MÁGINA	60	1
F2	ALCALÁ LA REAL	1350	8
F3	ALCAUDETE	645	4
F4	ALDEAQUEMADA	30	1
F5	ANDÚJAR	2243	13
F6	ARJONA	334	2
F7	ARJONILLA	222	2
F8	ARQUILLOS	106	1
F9	ARROYO DEL OJANCO	140	1
F10	BAEZA	982	6
F11	BAILÉN	1076	6
F12	BAÑOS DE LA ENCINA	160	1
F13	BEAS DE SEGURA	313	2
F14	BEDMAR	163	1
F15	BEGÍJAR	186	2
F16	BÉLMEZ DE LA MORALEDA	96	1
F17	BENATAE	28	1
F18	CABRA DE SANTO CRISTO	106	1
F19	CAMBIL	165	1
F20	CAMPILLO DE ARENAS	107	1
F21	CANENA	112	1
F22	CARBONEROS	38	1
F23	CARCHELEJO	82	1
F24	CAROLINA (LA)	926	6
F25	CASTELLAR	199	2
F26	CASTILLO DE LOCUBÍN	246	2
F27	CAZALILLA	47	1
F28	CAZORLA	441	3
F29	CHICLANA DE SEGURA	57	1
F30	CHILLUEVAR	86	1
F31	ESCAÑUELA	59	1
F32	ESPELÚY	38	1
F33	FRAILES	98	1
F34	FUENSANTO DE MARTOS	190	2
F35	FUERTE DEL REY	85	1
F36	GARCIER	32	1
F37	GÉNAVE	36	1
F38	GUARDIA (LA)	325	2
F39	GUARROMÁN	174	1
F40	HIGUERA DE CALATRAVA	38	1
F41	HINOJARES	23	1
F42	HORNOS DE SEGURA	37	1
F43	HUELMA	347	2
F44	HUESA	153	1
F45	IBROS	172	1
F46	IRUELA (LA)	118	1
F47	IZNATOFAR	57	1
F48	JABALQUINTO	123	1
F49	JAMILENA	208	2

Código	Localidad	Demanda (Nº envases)	Demanda (Banastas)
F50	JIMENA	77	1
F51	JÓDAR	715	4
F52	LA HIGUERA	101	1
F53	LARVA	28	1
F54	LINARES	3444	20
F55	LOPERA	224	2
F56	LUPIÓN	51	1
F57	MANCHA REAL	711	4
F58	MARMOLEJO	413	3
F59	MARTOS	1523	9
F60	MENGÍBAR	629	4
F61	MONTIZÓN	101	1
F62	NAVAS DE SAN JUAN	278	2
F63	NOALEJO	115	1
F64	ORCERA	109	1
F65	PEAL DE BECERRO	333	2
F66	PEGALAJAR	177	1
F67	PONTONES	20	1
F68	PORCUNA	374	3
F69	POZO ALCÓN	289	2
F70	PUENTE DE GÉNAVE	136	1
F71	PUERTA DE SEGURA (LA)	139	1
F72	QUESADA	314	2
F73	RUS	216	2
F74	SABIOTE	239	2
F75	SANTA ELENA	55	1
F76	SANTIAGO DE CALATRAVA	43	1
F77	SANTIAGO DE LA ESPADA	171	1
F78	SANTISTEBAN DEL PUERTO	278	2
F79	SANTO TOMÉ	131	1
F80	SEGURA DE LA SIERRA	60	1
F81	SILES	134	1
F82	SORIHUELA DEL GUADALIMAR	66	1
F83	TORREBLASCO PEDRO	153	1
F84	TORREDEL CAMPO	867	5
F85	TORREDONJIMENO	831	5
F86	TORREPEROGIL	444	3
F87	TORRES	85	1
F88	TORRES DE ALBANCHEZ	47	1
F89	ÚBEDA	2114	12
F90	VALDEPEÑAS DE JAÉN	224	2
F91	VILCHES	266	2
F92	VILLACARRILLO	646	4
F93	VILLANUEVA DE LA REINA	186	2
F94	VILLANUEVA DEL ARZOBISPO	497	3
F95	VILLARDOMPARDO	58	1
F96	VILLARES (LOS)	381	3
F97	VILLARGORDO	268	2
F98	VILLARODRIGO	25	1

7. Formulación del problema simulado.

7.1. Características del problema CVRP

El problema CVRP presenta una situación en la que se desea llevar acabo el reparto de una mercancía desde un único almacén. El reparto se realiza para un número de clientes N , a los que se les debe proporcionar una demanda concreta d . Para ello, se hace uso de una flota homogénea de vehículos, lo que quiere decir que todos tendrán la misma capacidad y coste. De este modo, se desea encontrar un conjunto de K rutas que genere el mínimo coste total, definido como la suma de los costes individuales de recorrer cada arco de la ruta. Dicha tarea se debe llevar acabo respetando las siguientes condiciones:

- Se debe visitar cada uno de los nodos. Además, cada nodo solo puede ser visitado una única vez, por lo que solo se encontrará en una única ruta.
- La suma de la demanda de los nodos visitados en cada ruta no debe exceder la capacidad máxima del vehículo empleado.
- Cada ruta debe comenzar y terminar en el nodo de origen, el almacén.

7.2. Modelo de la resolución.

Una vez definidas todas las características del problema, se procede a analizar el modelo de programación lineal aplicado para su resolución.

Se procede a desarrollar método denominado, "Three- index vehicle flow formulation of SCVRP and ACVRP", propuesto por Toth, P., & Vigo, D. (2002).

En primer lugar, se definen los parámetros con los que trabajará el problema:

Tabla 4 *Variables de decisión*

VARIABLES DE DECISIÓN

x_{ijk}	Variable binaria 1 si el arco pertenece a la ruta k
y_{ik}	Variable binaria
c_{ij}	Coste de viajar del nodo i al j
u_{ik}	Variable auxiliar
u_{jk}	Variable auxiliar

Tabla 5 *Parámetros***PARÁMETROS**

C	Capacidad de cada furgón/furgoneta
d_i	Demanda de cada una de las farmacias

Tabla 6 *Conjuntos de valores***CONJUNTOS DE VALORES**

A	Conjuntos de arcos
N	Conjunto de nodos
K	Conjunto de rutas
B	Conjunto de nodos contenido en N y distintos de cero

En consecuencia, el problema de programación lineal sería el siguiente:

$$F.O. \quad \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} \quad (1)$$

s. a.

$$\sum_{k=1}^K y_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{0k} = K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} = \sum_{j \in N} x_{jik} = y_{ik} \quad \forall i \in N, k = 1, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} d_i y_{ik} \leq C \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$u_{ik} - u_{jk} + Cx_{ijk} \leq C - d_j \quad \forall i, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j, \text{ tal que } d_i + d_j \leq C, \quad k = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$d_i \leq u_{ik} \leq C \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, k = 1, \dots, K \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N, k = 1, \dots, K \quad (9)$$

Cada una de las restricciones cumple una función, tal que:

- Restricción (2) → Define que cada cliente sea visitado una única vez.
- Restricción (3) → Define el número K de rutas que salen del almacén.
- Restricción (4) → Asegura que el número de rutas que salen de un cliente es exactamente el mismo el que entra.
- Restricción (5) → Define que la demanda atendida por un vehículo (suma de d_i) no debe exceder su capacidad C .
- Restricción (6) y (7) → Se corresponden a las restricciones de eliminación de subciclos de Miller-Tucker-Zemlin (Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints, (Miller et al., 1960))
- Restricción (8) → Establece la variable como binaria.
- Restricción (9) → Establece la variable como binaria.

El modelo elegido es adecuado para la obtención de las rutas optimas de cada uno de los sub-problemas. Pero como se ha expuesto anteriormente, estas deben poder completarse dos veces al día debido a la tipología de la empresa. Para asegurar que se pueda llevar acabo, se incluirá una restricción más al modelo, garantizando así la factibilidad de los resultados.

El objetivo de esta nueva restricción será limitar el número de kilómetros que pueden ser recorridos en una ruta, de modo que, el mismo transportista u otro pueda llevarla a cabo una vez por la mañana y de nuevo por la tarde. En primer lugar, se deberá tener en cuenta que la Unión Europea establece un máximo de 9 horas de conducción para los trabajadores de este sector. De manera que no se podrán superar las 56 horas semanales, y el tiempo total de conducción cada dos semanas no puede superar las 90 horas.

Para la simulación de los problemas se supondrán un máximo de 4 horas de conducción netas, esto equivaldría a un poco menos de la mitad de la jornada laboral. Teniendo en cuenta que se deberán descargar las banastas y pueden ocurrir retrasos debidos al tráfico, esto garantizará que las rutas se puedan llevar a cabo en los plazos establecidos.

Por otro lado, se deberán tener en cuenta las limitaciones de velocidad. Para el primero de los sub-problemas se considerará una velocidad media de 30 km/h, ya que el reparto se realizará íntegramente en poblado. Por el contrario, el reparto en el segundo sub-problema se realizará entre municipios, por los que los conductores discurrirán tanto por autovía, como por carretera convencional. Teniendo en cuenta las limitaciones de velocidad impuestas por la DGT para este tipo de vehículos; y que, por ende, no superarán la velocidad máxima establecida para la circulación, se supondrá una velocidad media de 85 km/h para este en estos trayectos.

Como resultado, se limitará la cantidad de kilómetros recorridos en base a los parámetros establecidos. Para el primero de los sub-problemas se limitará en 120 km, mientras que, para el segundo se limitará en 340 km.

$$\text{Restricción adicional : } \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} * x_{ijk} \leq N^{\circ} \text{ max km } \quad \forall k = 1, \dots, K$$

8. Resolución mediante GLPK

Para la resolución del problema enunciado se ha elegido el uso del software GLPK (GNU Linear Programming Kit) este software tiene la capacidad de resolver problemas de programación lineal de gran complejidad, así como problemas de programación entera. (GLPK, s.f.) Para ello GLPK es capaz de aplicar los siguientes métodos de resolución de problemas de programación lineal:

- Método simplex primal y dual
- Método de punto interior primal-dual
- Método de ramificación y acotación

Para poder llevar a cabo la resolución del problema se usará además otro software gratuito GUSEK (GLPK Under Scite Extended Kit) Este se trata de una interfaz para la simplificación del uso de GLPK, a través de su interfaz gráfica se pueden enunciar los problemas de programación lineal y ejecutar su resolución de forma sencilla. (GUSEK, s.f.)

8.1. Aplicación del método de resolución.

El primer paso en la resolución de los problemas planteados será llevar al programa el modelo de programación lineal escogido para desarrollar la simulación. Se comenzará creando un archivo .mod, este servirá como base para simular las distintas problemáticas planteadas. En él se trasladará al lenguaje utilizado por GUSEK el modelo.

Se deberán definir los distintos parámetros que el modelo requerirá para el cálculo de las rutas óptimas, así como, los distintos conjuntos, variables y restricciones con los que evaluar la función objetivo.

A continuación, se adjunta la transcripción a GUSEK del modelo de programación lineal.

```

1  #Modelo de programación lineal para resolución del problema VRP
2
3  #Parámetros
4
5  param n, integer, >=3; #Número de nodos
6  param C; #Capacidad de cada uno de los vehículos
7  param nr; #Número de rutas
8
9  #Conjuntos
10
11 set N:=1..n; #Conjunto de nodos
12 set N0:=2..n; #Conjunto de nodos menos el origen
13 set A:= setof{(i,j) in N cross N} (i,j); # Conjunto de arcos
14 set K:=1..nr; #Conjunto de rutas
15
16 #Parámetros
17
18 param D{(i,j) in A}; #Distancia entre nodos
19   param d{i in N0}; #Demanda de los nodos i
20
21 #Variables
22 var x{(i,j) in A, k in K}, binary;
23 var y{i in N, k in K}, binary;
24 var u{i in N, k in K}, >=0;
25
26 #Función Objetivo
27 minimize FO: sum{(i,j) in A: i!=j} D[i,j]*sum{k in K} x[i,j,k];
28
29 #Restricciones
30
31 subject to R1 {i in N0}: sum{k in K} y[i,k] = 1;
32 subject to R2: sum{k in K} y[1,k] = nr;
33 subject to R3 {i in N, k in K}: sum{j in N: i!=j} x[i,j,k] = sum{j in N: i!=j} x[j,i,k];
34 subject to R4 {i in N, k in K}: sum{j in N: i!=j} x[i,j,k] = y[i,k];
35 subject to R5 {k in K}: sum{i in N0} d[i]*y[i,k]<=C;
36 subject to R6 {i in N0, j in N0, k in K}: d[i]+d[j]<=C: u[i,k]-u[j,k]+C*x[i,j,k]<= C-d[j];
37 subject to R7 {i in N0, k in K}: d[i]<= u[i,k]<= C;
38
39 #Restricción adicional / Limitación de los Km recorridos
40 subject to R8 {k in K}: sum {(i,j) in A: i != j} D[i,j] * x[i,j,k] <= 340;

```

Figura. 5 Programa modelo ejecutado en GUSEK.

El siguiente paso será, para cada uno de las situaciones de las que se quieren obtener las rutas optimas, preparar un archivo .dat, cuya función será aportar al archivo .mod los datos a evaluar en la simulación.

Cada uno de estos archivos contendrá los valores correspondientes para los siguientes parámetros:

- $n \rightarrow$ Número de nodos del problema.
- $nr \rightarrow$ Número de rutas.
- $C \rightarrow$ Capacidad de carga de cada vehículo.
- $d \rightarrow$ Demanda de cada uno de los nodos.
- $D \rightarrow$ Matriz de distancias entre nodos.

El número de rutas será introducido de forma manual mediante los archivos .dat con el fin de agilizar las simulaciones y reducir los tiempos de computación. Para encontrar el óptimo se realizarán distintas simulaciones. Se determinará la simulación óptima en base al resultado obtenido para la función objetivo.

Se adjunta como ejemplo el archivo .dat elaborado para una de las simulaciones. El resto de los archivos se adjuntan en el Anexo II.

```

1  #Datos para resolución Comarca Sierra de Cazorla
2
3  param n:=10;
4  param C:=48;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  →→1  2  3  4  5  6  7  8  9  10:=
9  1 →0  95  102  102  86  96  81  107  87  91
10 2 →95  0  18  45  32  1  13  50  19  17
11 3 →102  18  0  61  48  19  29  66  35  10
12 4 →102  45  61  0  16  47  37  8  27  57
13 5 →86  32  48  16  0  33  24  21  13  43
14 6 →96  1  19  47  33  0  14  51  20  19
15 7 →81  13  29  37  24  14  0  42  11  20
16 8 →107  50  66  8  21  51  42  0  31  61
17 9 →87  19  35  27  13  20  11  31  0  30
18 10 →91  17  10  57  43  19  20  61  30  0
19 ;
20
21
22 param d:=
23 2 →→3
24 3 →→1
25 4 →→1
26 5 →→1
27 6 →→1
28 7 →→2
29 8 →→2
30 9 →→2
31 10 →→1;

```

Figura. 6 Ejemplo archivo .dat.

Una vez recopilados todos los datos en sus archivos se procede a la simulación del modelo de programación lineal, como resultado de esta se obtendrá un fichero .out con los resultados.

8.2. Interpretación de los resultados obtenidos.

Una vez obtenido el archivo .out, se procederá a la interpretación de los resultados. El archivo obtenido posee en siguiente formato:

1 Problem: ModeloCodigoProv

2 Rows: 146

3 Columns: 141 (131 integer, 131 binary)

4 Non-zeros: 872

5 Status: INTEGER OPTIMAL

6 Objective: FO = 163 (MINimum)

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

No.	Row name	Activity	Lower bound	Upper bound
1	FO	163		
2	R1[2]	1	1	=
3	R1[3]	1	1	=
4	R1[4]	1	1	=
5	R1[5]	1	1	=
6	R1[6]	1	1	=
7	R1[7]	1	1	=
8	R1[8]	1	1	=
9	R1[9]	1	1	=
10	R1[10]	1	1	=
11	R1[11]	1	1	=
12	R2	1	1	=
13	R3[1,1]	0	-0	=
14	R3[2,1]	0	-0	=
15	R3[3,1]	0	-0	=
16	R3[4,1]	0	-0	=

Figura. 7 Ejemplo archivo .out

El primero de los datos que se debe observar es el valor resultante de evaluar la función objetivo con el conjunto de arcos obtenido de la simulación. En el caso de los problemas que se evaluarán, la función objetivo trata de minimizar el coste del plan de rutas generado. De esta forma, tras las distintas simulaciones se podrá determinar que la planificación óptima corresponderá con aquella, cuya función objetivo evaluada dé como resultado el menor valor.

A continuación, el fichero contiene el resultado obtenido de evaluar las distintas variables definidas durante la simulación, gracias a las cuales se podrán identificar las mencionadas rutas. El método “Three- index vehicle flow formulation of SCVRP and ACVRP”, propuesto por Toth, P., & Vigo, D. (2002), define dos variables binarias:

- La primera de ellas $y[i, k]$, la cual indicará la pertenencia de cada uno de los nodos i a la ruta k .
- La segunda $x[i, j, k]$, indicará la pertenecía del arco i, j a la ruta k .

Ambas variables aparecerán expuestas en una tabla del fichero .out de la simulación, mostrando todas las posibles combinaciones. En una columna adyacente se podrá observar el resultado de las variables tras la simulación, al ser binarias, el valor 1 será el que indique su pertenencia a la solución óptima.

En base a los resultados observados, se procederá a determinar la pertenencia de cada nodo a su ruta correspondiente. Posteriormente se ordenarán en arcos, en base al resultado de la variable x . De esta forma quedarán definidas las rutas para cada una de las simulaciones que se lleven a cabo.

Como ejemplo tomaremos el resultado de la primera simulación realizada.

No.	Column name	Activity	Lower bound	Upper bound
157				
158				
159	1 x[1,2,1]	*	0	0
160	2 x[1,3,1]	*	0	0
161	3 x[1,4,1]	*	0	0
162	4 x[1,5,1]	*	0	0
163	5 x[1,6,1]	*	0	0
164	6 x[1,7,1]	*	0	0
165	7 x[1,8,1]	*	0	0
166	8 x[1,9,1]	*	1	0
167	9 x[1,10,1]	*	0	0
168	10 x[1,11,1]	*	0	0
169	11 x[2,1,1]	*	0	0
170	12 x[2,3,1]	*	0	0
171	13 x[2,4,1]	*	0	0
172	14 x[2,5,1]	*	1	0
173	15 x[2,6,1]	*	0	0
174	16 x[2,7,1]	*	0	0
175	17 x[2,8,1]	*	0	0
176	18 x[2,9,1]	*	0	0
177	19 x[2,10,1]	*	0	0
178	20 x[2,11,1]	*	0	0
179	21 x[3,1,1]	*	0	0
180	22 x[3,2,1]	*	0	0
181	23 x[3,4,1]	*	1	0
182	24 x[3,5,1]	*	0	0

Figura. 8 Ejemplo Interpretación de resultados.

Como se puede observar en la fila 166, que la variable X posee valor 1. Por lo que se puede afirmar que el arco 1-9 pertenece a la ruta 1. Ocurre de igual forma con las líneas 172 y 181, gracias a las cuales, se obtiene que tanto el arco 2-5, como el arco 3-4 pertenecen a la ruta 1.

Se procederá de igual forma con el resto del archivo .out hasta obtener todos los arcos pertenecientes a las rutas. Una vez identificados, se ordenarán dando lugar a la ruta obtenida como solución del problema.

Se actuará de igual forma en la interpretación de los resultados obtenidos para las respectivas simulaciones de ambos problemas planteados.

9. Síntesis de los resultados.

A la hora de llevar a cabo la resolución de los problemas se han realizado distintas simulaciones, en ambos casos el proceso iterativo seguido ha sido similar. Se comenzó las simulaciones evaluando el número mínimo de rutas posibles, si se aprovechara al máximo la capacidad del furgón. Para determinar el número mínimo de rutas a realizar, se considerará la demanda agregada de todos los nodos de la simulación, de manera que se podrá estimar el número de rutas mínimas a realizar.

A continuación, se ha procedido con la simulación completa del problema. Considerando en una única simulación todos los nodos definidos, el tiempo de simulación ha resultado ser demasiado alto y la capacidad de computación insuficiente.

```
Time used: 43534.5 secs. Memory used: 1637.8 Mb.
+13169569: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130610; 170418)
+13172683: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130639; 170448)
+13176613: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130628; 170487)
+13181030: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130650; 170517)
+13185762: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130678; 170542)
+13190023: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130726; 170570)
+13194371: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130752; 170593)
+13198294: mip = 3.760000000e+02 >= 3.660000000e+02 2.7% (130777; 170620)
glp_alloc: no memory available
Error detected in file ..\src\env\alloc.c at line 91
>Exit code: -1073740791 Time: 43577.185
```

Figura. 9 Error del programa GUSEK.

Se puede observar en la imagen anterior como tras más de doce horas de simulación, el software da un error de memoria y se para la simulación.

El objetivo del estudio y aplicación del problema VRP, es la obtención de las rutas óptimas, pero también será clave el tiempo requerido para obtenerlas. Por lo que se buscará una solución óptima, pero cuyos tiempos de resolución no sean inabarcables.

De este modo, se tratará de dividir los problemas de manera que permitan una búsqueda de las rutas optimas en menor tiempo. Una vez realizada la división se asignará el número mínimo de rutas y se procederá a simular los problemas de nuevo.

Siguiendo este procedimiento se ha llegado a la solución óptima para cada uno de los sub-problemas.

9.1. Resultados del Sub-problema 1

El primero de los sub-problemas trata de obtener las rutas necesarias para realizar el reparto en la capital, lugar de mayor concentración de puntos de reparto. Se ha iniciado tratando de simular el problema completo, pero como se ha indicado anteriormente no ha sido posible. De modo que se ha tratado de agrupar los nodos que componen el problema en distintos sectores.

Para llevar a cabo la agrupación de los nodos, se han tenido en cuenta los códigos postales asociados a su ubicación. Las farmacias han quedado agrupadas como se puede observar en la siguiente imagen.

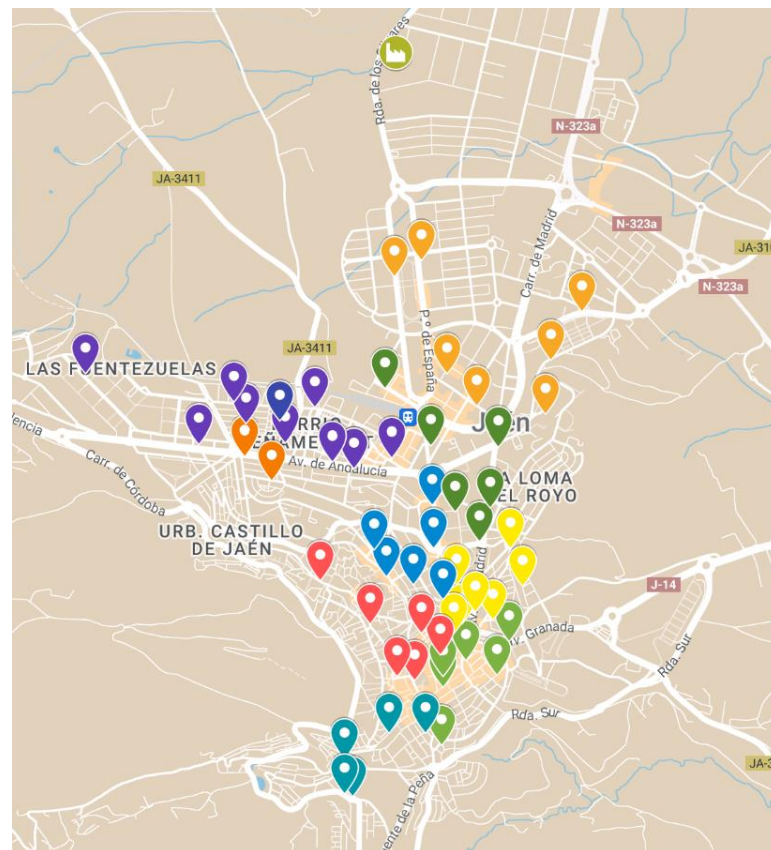


Figura. 10 Mapas de los nodos sub-problema 1

Tabla 7 Leyenda Mapa de nodos en Jaén capital.

Leyenda	
23001	Verde Claro
23002	Gris
23003	Amarillo
23004	Rojo
23005	Naranja
23006	Morado
23007	Azul
23008	Verde Oscuro
23009	Marrón

Con el fin de hallar la solución óptima se han realizado las simulaciones agrupando CCPP adyacentes. De manera que las simulaciones realizadas se han agrupado bajo los siguientes conjuntos:

- Jaén Sur, agrupando los CCPP 23001, 23002, 23003 y 23004.
- Jaén Central, agrupando los CCPP 23005, 23006, y 23007.
- Jaén Norte, agrupando los CCPP 23008 y 23009.

Para cada una de las zonas, se ha confeccionado una matriz de distancias partiendo de la inicial del sub-problema, estas quedan incluidas en el Anexo I. Cabe destacar. que las matrices de distancias han sido confeccionadas haciendo uso de la herramienta Google Maps. Esto quiere decir, que las distancias reflejadas en las matrices tienen en cuenta el recorrido por carretera que se debe llevar a cabo para moverse entre nodos, no solo la distancia que los separa físicamente.

9.1.1. Rutas para Jaén Sur.

La primera de las zonas se ha confeccionado uniendo los CCPP que se encuentran en la zona sur de la capital. De modo que, en este conjunto se han incluido los CCPP 23001, 23002, 23003 y 23004. Que se corresponden con los nodos indicados en la siguiente tabla para el sub-problema 1.

Tabla 8 Nodos correspondientes a zona sur de Jaén.

Nodos Zona Jaén Sur		
J1	C/ MARTÍNEZ MOLINA, 35	23004
J2	C/ ÁLAMOS, 8	23004
J6	AVDA. DE MADRID, 10	23003
J7	PLAZA DE LA AUDIENCIA, 2	23004

J8	C/ PESCADERÍA, 5	23001
J9	C/ DEL RASTRO, 8	23003
J10	PLAZA DE LA CONSTITUCIÓN, 11	23001
J12	C/ BERNABÉ SORIANO, 5	23001
J13	C/ JUAN MONTILLA, 30	23002
J14	PLAZA DE LOS JARDINILLOS, 2	23004
J16	C/ SAN CLEMENTE, 7	23004
J19	PLAZA DE LA MAGDALENA, 8	23004
J20	PLAZA DEL CONDE, 2	23002
J21	C/ LAS BERNARDAS, 19	23001
J22	C/ MENÉNDEZ Y PELAYO, 46	23003
J27	C/ FRANCISCO COELLO, 7	23002
J29	PLAZA BELÉN, 5	23003
J30	C/ CARRERA DE JESÚS, 51	23002
J31	C/ NAVAS DE TOLOSA, 6	23003
J32	C/ REYES CATÓLICOS, 3	23003
J37	C/ FUENTE DE DON DIEGO, 6	23001
J39	C/ DOCTOR AZPITARTE, 1	23001
J42	PLAZA PORTILLO SAN JERÓNIMO, 1	23001
J51	C/ ARQUITECTO PABLO DEL CASTILLO GARCIA NEGRETE, 1	23003

La demanda agregada de los nodos asciende a un total de 30 banastas, por lo que las simulaciones se iniciarán considerando una única ruta, aumentando este valor hasta hallar el óptimo. Tras evaluar el problema con distintos números de rutas, cada vez mayores, queda patente que la solución óptima, será aquella con menor número de rutas. En este caso el software ha precisado de 164,88 segundos para obtener la solución, lo que supone menos de tres minutos, y dando lugar a una única ruta de 20,36 km.

Tabla 9 Ruta 1 zona sur de Jaén.

Ruta 1	1 – 4 – 20 – 8 – 3 – 9 – 6 – 5 – 13 – 2 – 14 – 10 – 23 – 19 – 22 – 17 – 12 – 11 – 7 – 15 – 24 – 21 – 18 – 25 – 16 – 1	20,36 km
	Al – J6 – J31 – J10 – J2 – J12 – J8 – J7 – J19 – J1 – J20 – J13 – J39 – J30 – J37 – J27 – J16 – J14 – J9 – J21 – J42 – J32 – J29 – J51 – J22 – Al	

Lo lógico sería que por cercanía se recorrieran los nodos de cada uno de los CCPP de forma secuencial, pero se puede observar como estos no ocurre así, por la forma en que se han construido las matrices de distancias. El recorrido trazado visita los nodos, recorriendo en primer lugar, aquellos que se encuentran en su camino hasta llegar a la zona más al sur de la capital. El resto son visitados a medida que la ruta se acerca de nuevo al almacén.

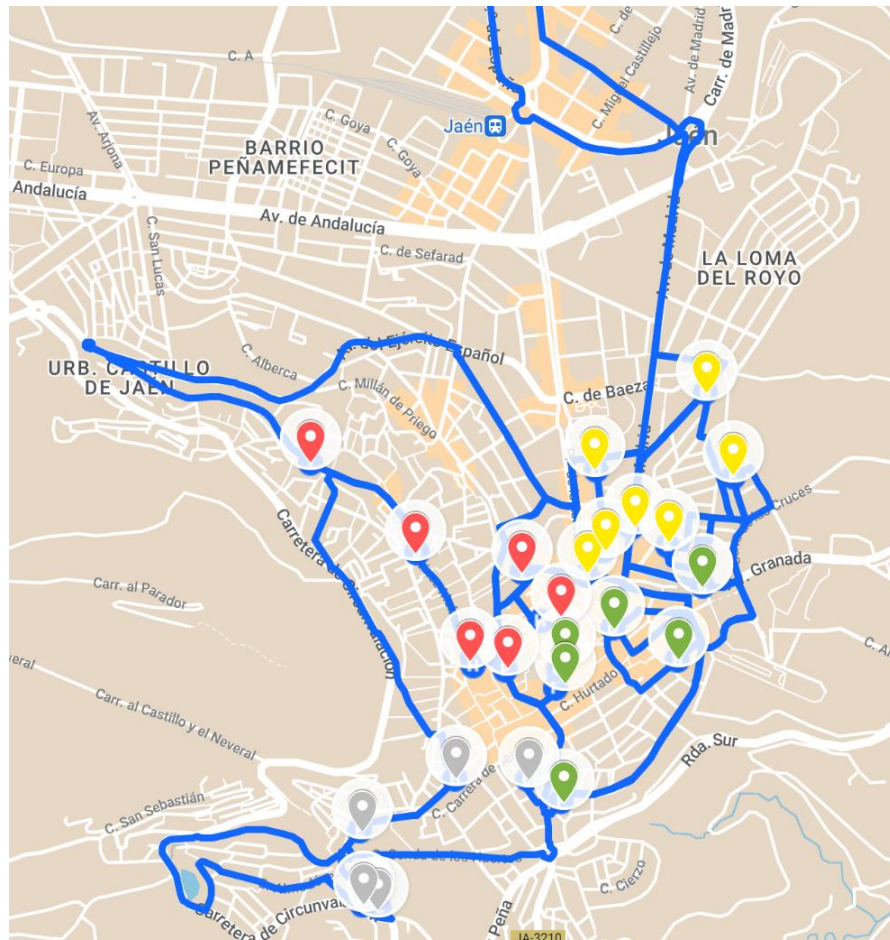


Figura. 11 Ruta 1 C.P. 23001 / 23002 / 23003 / 23004

9.1.2. Rutas para Jaén Central.

Continuando con la agrupación de los nodos, se ha tratado de agrupar aquellas zonas con mayor concentración de los mismos. Tras simular distintas combinaciones, se ha decidido agrupar los nodos correspondientes a los CCPP 23005, 23006 y 23007.

Tabla 10 Nodos correspondientes a zona central de Jaén.

Nodos Zona Jaén Central		
J4	AVDA. DE BARCELONA, 2	23006
J11	C/ SEVILLA, 8	23006
J17	PASEO DE LA ESTACIÓN, 11	23007
J18	C/ MILLÁN DE PRIEGO, 45	23007
J26	AVDA. DE ANDALUCÍA, 81	23005
J28	AVDA. ANDALUCÍA, 32	23006
J34	C/ MARTINEZ MONTAÑÉS, 17	23007
J35	PASEO DE LA ESTACIÓN, 37	23007
J36	C/ VALENCIA, 14	23006
J38	AVDA. EJÉRCITO ESPAÑOL, 2	23007
J40	C/ CONDESTABLE IRANZO, 23	23005

J41	AVDA. EDUARDO GARCÍA MAROTO, 20	23006
J43	C/ DE LA RECONCILIACIÓN, 1	23006
J45	C/ NÚÑEZ DE BALBOA, 2	23007
J46	AVDA. DE ANDALUCÍA, 29	23005
J48	AVDA. DE ANDALUCÍA, 70	23006
J52	AVDA. BARCELONA, 18	23006
J53	C/ FUENTE DEL ALAMILLO, 18	23006

La demanda total definida para esta zona asciende a 27 banastas, por lo que, en base a los resultados anteriores, la solución óptima debería corresponder con la obtenida para una única ruta.

Tras realizar distintas simulaciones, el resultado obtenido para una única ruta ha sido el óptimo, minimizando la función objetivo con un valor de 17,5 km. Para ello se han llevado a cabo distintas simulaciones, estas han tomado un tiempo de ejecución cercano a los 10 segundos, concretamente 8,37 segundos para la obtención del resultado en el planteamiento para una ruta.

Tabla 11 Ruta 1 zona central de Jaén.

Ruta 1	1 – 13 – 2 – 18 – 14 – 12 – 19 – 17 – 7 – 10 – 3 – 6 – 9 – 11	17,5 km
	– 5 – 4 – 8 – 15 – 16 – 1	
	Al – J41 – J4 – J52 – J43 – J40 – J53 – J48 – J28 – J36 – J11 – J26 – J35 – J38 – J18 – J17 – J34 – J45 – J46 – Al	

Se puede observar una vez trazada la ruta, esta comenzará repartiendo los nodos correspondientes al C.P. 23006, siendo estos los más cercanos al almacén. Y está terminara visitando los nodos correspondientes al C.P.23007. Los nodos correspondientes al C.P. 23005 son visitados de forma intercalada con los ya mencionados en base a la cercanía.

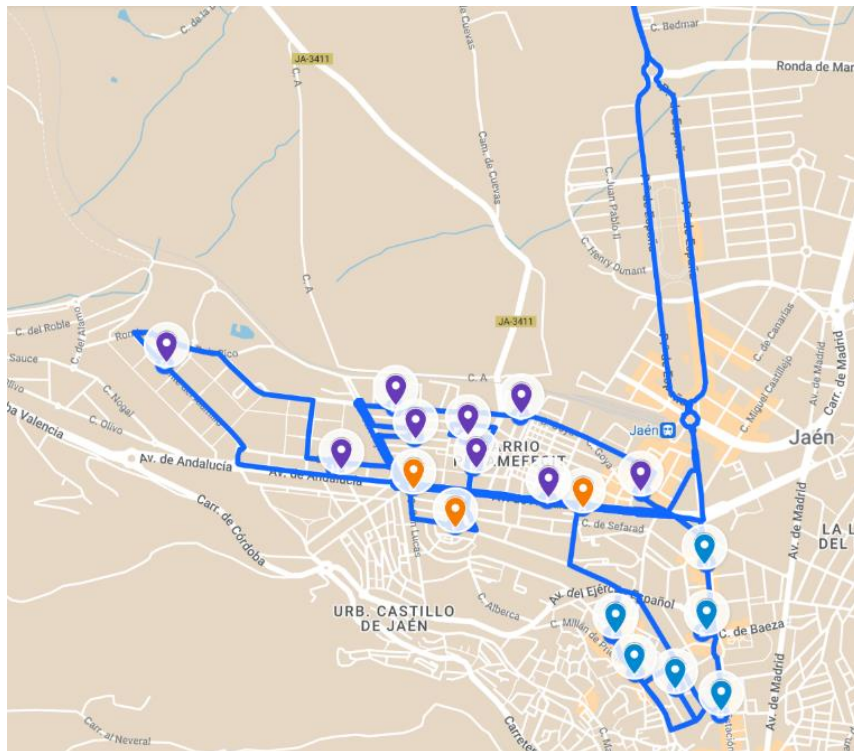


Figura. 12 Ruta 1 C.P. 23005 / 23006 / 23007

9.1.3. Rutas para Jaén Norte.

Finalmente se han agrupado los CCPP restantes, conformando la zona norte de la ciudad. Esta simulación ha sido la más rápida de llevar a cabo, debido en parte al bajo número de nodos.

Tabla 12 Nodos correspondientes a zona norte de Jaén.

Nodos Zona Jaén Norte		
J3	PASEO DE LA ESTACIÓN, 50	23008
J5	POLÍGONO DEL VALLE, LOCAL COMERCIAL 11	23009
J15	PASEO DE ESPAÑA, 35	23009
J23	C/ ANDÚJAR, 8	23008
J24	C/ BAEZA, 9	23008
J25	AVDA. DE MADRID, 72	23008
J33	AVDA. DE MADRID, 58	23008
J44	C/ EXTREMADURA, 7	23008
J47	AVDA. DE LA UNIVERSIDAD, 2	23009
J49	C/ SANTA MARÍA DEL VALLE, 6	23009
J50	C/ MANUEL CABALLERO VENZALÁ, 18	23009
J54	C/ PRINCIPADO DE ASTURIAS, 4	23009
J55	PASEO DE ESPAÑA, 36	23009

El programa ha necesitado únicamente 1,37 segundos para hallar la solución óptima, dando lugar a una ruta de tan solo 10,96 km. El resultado óptimo se corresponde con la simulación para una única ruta, debido a que la demanda conjunta de los puntos de reparto no supera de capacidad de carga del furgón, siendo únicamente de 13 banastas.

Tabla 13 Ruta 1 zona norte de Jaén.

Ruta 1	1 – 13 – 12 – 3 – 11 – 10 – 7 – 8 – 6 – 5 – 2 – 9 – 4 – 14 – 1	10,96 km
	AI – J54 – J50 – J5 – J49 – J47 – J25 – J33 – J24 – J23 – J3 – J44 – J15 – J55 – AI	

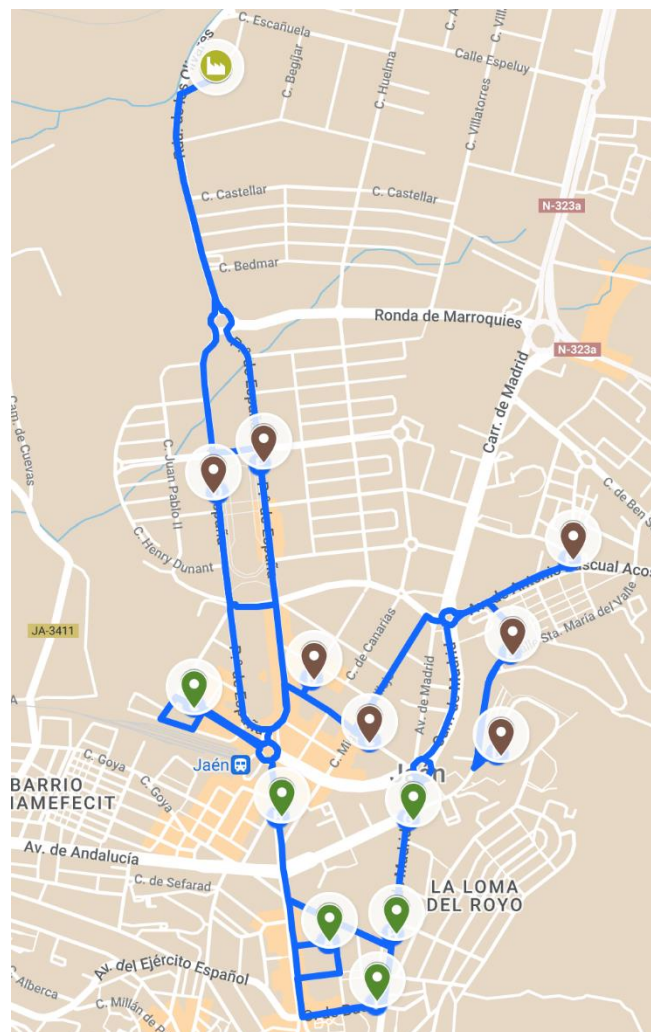


Figura. 13 Ruta 1 C.P. 23008 / 23009

De forma similar a las rutas anteriores, la ruta generada en este caso visita los nodos más alejados en primer lugar. Inicia con las farmacias correspondientes al C.P. 23009 más alejadas, a medida que avanza hacia el sur, hasta llegar a los

correspondientes al C.P. 23008. Y finalmente regresar hacia el almacén recorriendo los nodos restantes.

9.2. Resultados del Sub-problema 2

La resolución del segundo de los sub-problemas se ha iniciado de forma idéntica al anterior, inicialmente se ha simulado la totalidad de los nodos que lo componen, pero la memoria del programa ha sido insuficiente para llegar a una solución óptima.

Para facilitar su resolución, se ha tomado la decisión de dividir el problema en distintas áreas que agrupen los nodos. Al estar todos los nodos comprendidos en la provincia de Jaén, lo más natural será tomar como división las distintas comarcas que la componen. De esta manera los distintos puntos han quedado divididos tal y como se muestra en la siguiente imagen.

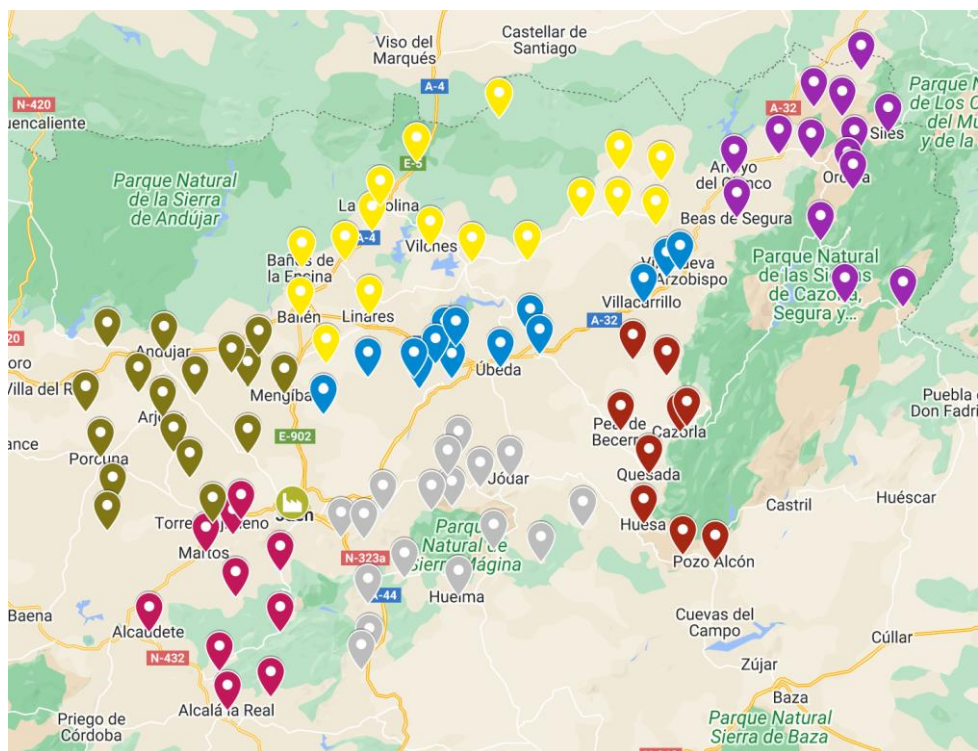


Figura. 14 Mapas de los nodos sub-problema 2.

Se han tomado como división las siguientes comarcas:

- Comarca de la Sierra de Segura (Morado)
- Comarca de la Sierra de Cazorla (Rojo)
- Comarca de Sierra Sur (Rosa)

- Comarca de Sierra Magina (Gris)
- Comarca de La Campiña (Verde)
- Comarca Norte / El Condado / Linares (Amarillo)
- Comarca de La Loma y Las Villas (Azul)

Para cada una de ella se ha confeccionado una matriz de distancias partiendo de la inicial del sub-problema, estas quedan incluidas en el Anexo I. A continuación, se procede al análisis y exposición de los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

9.2.1. *Rutas de la Comarca de Sierra de Segura.*

La comarca de la Sierra de Segura comprende los siguientes puntos de los planteados para el problema.

Tabla 14 Nodos Comarca Sierra de Segura.

Comarca Sierra de Segura	
F9	ARROYO DEL OJANCO
F13	BEAS DE SEGURA
F17	BENATAE
F37	GÉNAVE
F42	HORNOS DE SEGURA
F64	ORCERA
F67	PONTONES
F70	PUENTE DE GÉNAVE
F71	PUERTA DE SEGURA (LA)
F77	SANTIAGO DE LA ESPADA
F80	SEGURA DE LA SIERRA
F81	SILES
F88	TORRES DE ALBANCHEZ
F98	VILLARODRIGO

En esta área la demanda agregada de los nodos asciende a 15 banastas, por lo que una ruta debería bastar para encontrar el óptimo. Sin embargo, tras la simulación el problema resulta infactible, esto debido esencialmente a restricción incluida para limitar el número de km recorridos por ruta. Era de esperar que ocurriera en esta simulación dado que se tratan de los nodos más alejados del almacén.

El problema ha sido simulado para dos rutas y valores superiores, siendo el valor óptimo la solución con dos rutas. Para la resolución del programa el software ha requerido de 6471,315 segundos, aproximadamente unas dos horas. A continuación,

se exponen las rutas resultantes de 313 km y 330 km respectivamente, por lo que el resultado de la función objetivo asciende a 643 km.

Tabla 15 Ruta 1 Comarca Sierra de Segura.

Ruta 1	1 – 10 – 4 – 7 – 12 – 3 – 1	313 km
	Al – F71 – F17 – F64 – F80 – F13 – Al	
	Almacén – Puerta de Segura – Benatae – Orcera – Segura de la Sierra – Beas de Segura – Almacén	

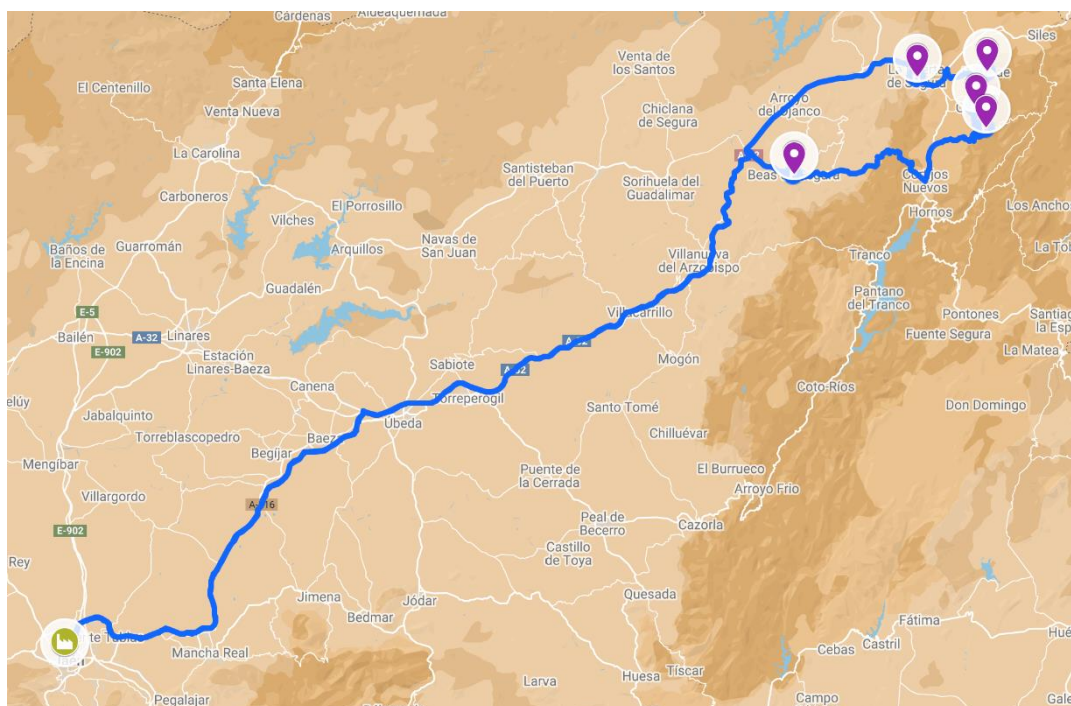


Figura. 15 Ruta 1 Comarca Sierra de Segura.

Gracias a las figuras adjuntas se puede observar como las rutas trazadas, siguen un patrón similar. Ambas discurren hasta la zona comarcal, punto en el que trazan una ruta circular en la que visitan los nodos correspondientes a cada una de ellas.

Tabla 16 Ruta 2 Comarca Sierra de Segura.

Ruta 2	1 – 2 – 9 – 5 – 15 – 14 – 13 – 11 – 8 – 6 – 1	330 km
	Al – F9 – F70 – F37 – F98 – F88 – F81 – F77 – F67 – F42 – Al	
	Almacén – Arroyo del Ojanco – Puente de Génave – Génave – Villarodrigo – Torres de Albánchez – Siles – Santiago de la Espada – Pontones – Hornos de Segura – Almacén	

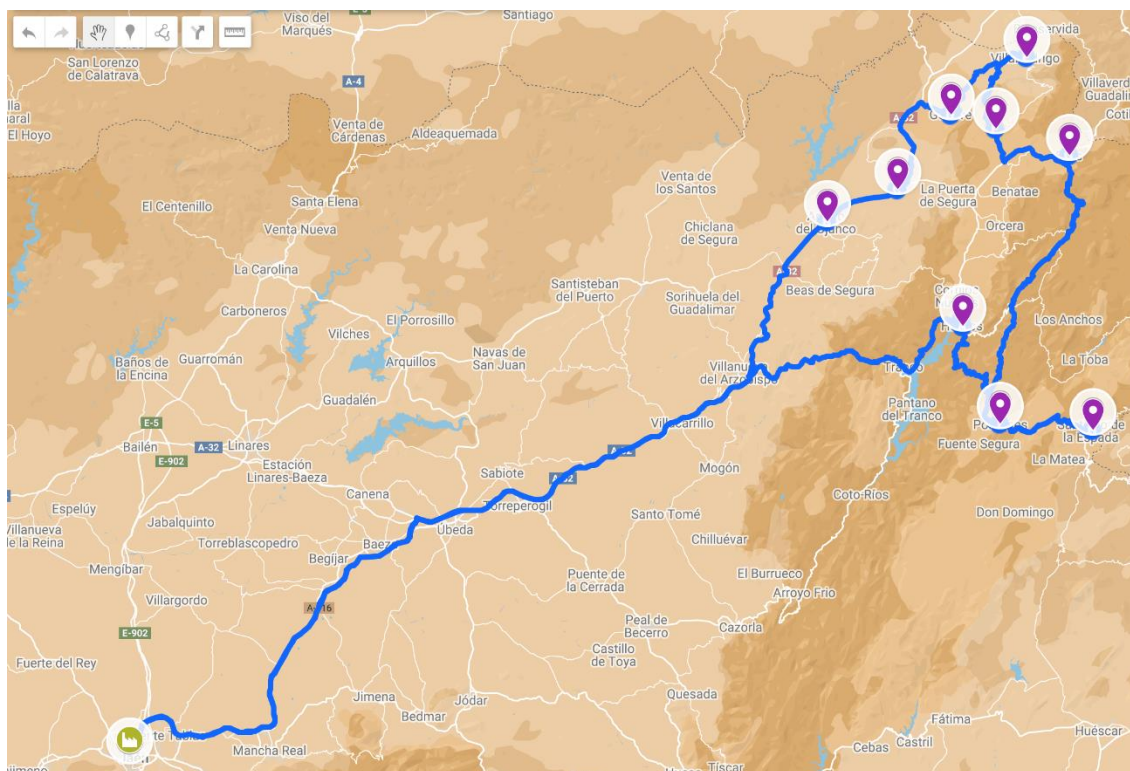


Figura. 16 Ruta 2 Comarca Sierra de Segura.

9.2.2. *Rutas de la Comarca de Sierra de Cazorla.*

Inicialmente esta región ha tratado de ser evaluada junto al área de Sierra Mágina, pero la suma de ambas continuaba proporcionando un elevado número de nodos. Al tratar de simular los datos, el programa alcanzó un punto en el que la memoria era insuficiente, igual que ocurrió al simular el problema completo. Por lo que se optó por realizar las simulaciones separadas. La Sierra de Cazorla comprende los nodos reflejados en la siguiente tabla.

Tabla 17 Nodos Comarca Sierra de Cazorla.

Comarca Sierra de Cazorla	
F28	CAZORLA
F30	CHILLUEVAR
F41	HINOJARES
F44	HUESA
F46	IRUELA (LA)
F65	PEAL DE BECERRO
F69	POZO ALCÓN
F72	QUESADA
F79	SANTO TOMÉ

La demanda total definida para esta área es de 14 banastas, por lo que se ha comenzado a simular considerando una única ruta. Tras obtener los resultados de esta simulación, y comprobar su optimalidad comparándolos con los valores simulados para un mayor número de rutas. Se ha determinado que en efecto la solución con una única ruta es la óptima. El tiempo requerido para calcular la solución ha sido de 0,485 segundos.

Tabla 18 Ruta 1 Comarca Sierra de Cazorla.

Ruta 1	1 – 5 – 4 – 8 – 9 – 7 – 2 – 6 – 3 – 10 – 1	286 km
	Al – F44 – F41 – F69 – F72 – F65 – F28 – F46 – F30 – F79 – Al	
	Almacén – Huesa – Hinojares – Pozo Alcón – Quesada – Peal del Becerro – Cazorla – La Iruela – Chilluevar – Santo Tomé – Almacén	

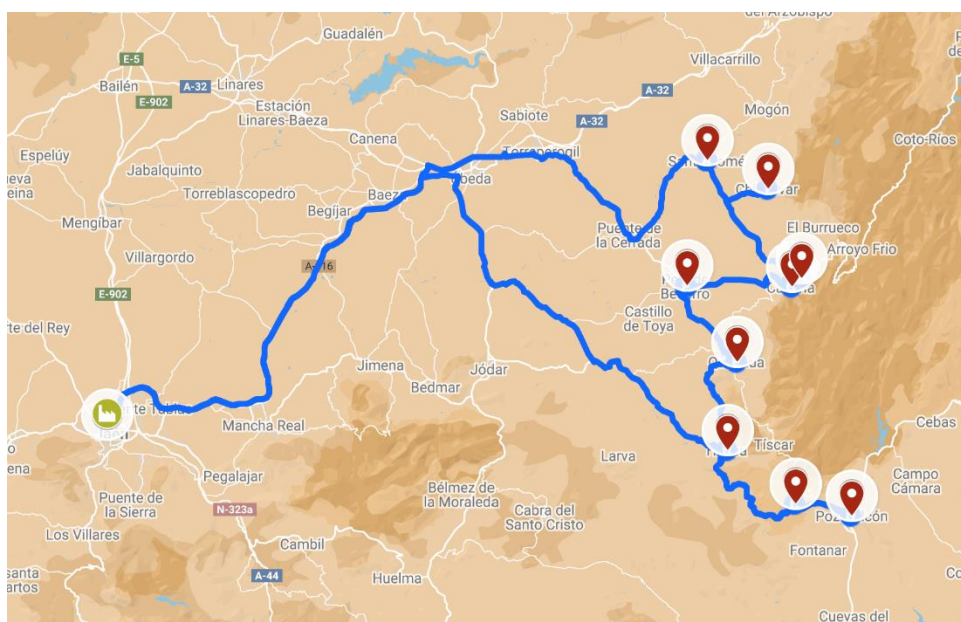


Figura. 17 Ruta 1 Comarca Sierra de Cazorla.

Se puede observar en la Figura 17, como se sigue un patrón similar a las rutas trazadas anteriormente. De manera que el recorrido llevado a cabo, recorre los distintos municipios de forma circular, en base a su cercanía. En adelante, se constatará que este patrón se repite.

9.2.3. Rutas de la Comarca de Sierra Sur.

Los datos tratados a continuación se corresponden con los nodos de la comarca de la Sierra Sur de Jaén. En este caso la demanda agregada de los nodos asciende a 38 banastas, por lo que se iniciará la simulación con una única ruta.

Tabla 19 Nodos Comarca Sierra Sur.

Comarca Sierra Sur	
F2	ALCALÁ LA REAL
F3	ALCAUDETE
F26	CASTILLO DE LOCUBÍN
F33	FRAILES
F34	FUENSANTO DE MARTOS
F49	JAMILENA
F59	MARTOS
F84	TORREDELCAMPO
F90	VALDEPEÑAS DE JAÉN
F96	VILLARES (LOS)

Tras varias simulaciones, se puede comprobar que de nuevo la solución óptima es llevar a cabo una única ruta, la cual evalúa la función objetivo en 163km. Para llevar a cabo esta operación el programa ha necesitado 0,412 segundos. Esta simulación junto con la llevada a cabo para la Sierra de Cazorla han sido las más rápidas, obteniendo un resultado casi instantáneo. Debido en parte al reducido número de nodos en ambas simulaciones.

Tabla 20 Ruta 1 Comarca Sierra Sur.

Ruta 1	1 – 9 – 7 – 8 – 3 – 4 – 2 – 5 – 10 – 6 – 11 – 1	163 km
	Al – F84 – F49 – F59 – F3 – F26 – F2 – F33 – F90 – F34 – F96 – Al	
	Almacén – Torredelcampo – Jamilena – Martos – Alcaudete – Castillo de Locubín – Alacalá la Real – Frailes – Valdepeñas de Jaén – Fuensanto de Martos – Los Villares – Almacén	

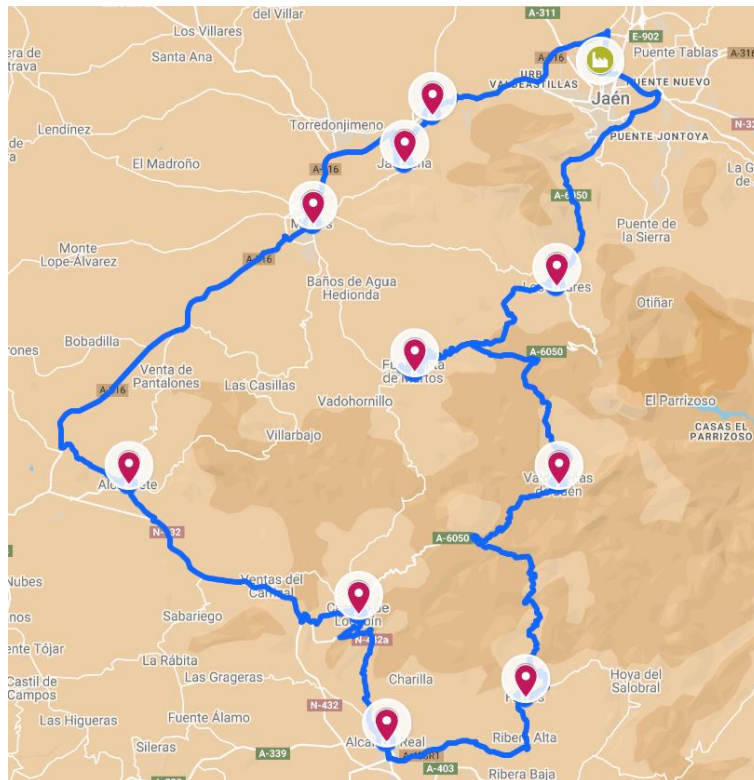


Figura. 18 Ruta 1 Comarca Sierra Sur.

9.2.4. Rutas de la Comarca de Sierra Mágina.

Para la zona de Sierra Mágina la demanda total ha sido establecida en 25 banastas, de nuevo no se supera la capacidad del furgón, por lo que una única ruta debería bastar.

Tabla 21 Nodos Comarca Sierra Mágina.

Comarca Sierra Mágina	
F1	ALBANCHEZ DE MÁGINA
F14	BEDMAR
F16	BÉLMEZ DE LA MORALEDA
F18	CABRA DE SANTO CRISTO
F19	CAMBIL
F20	CAMPILLO DE ARENAS
F23	CARCHELEJO
F36	GARCIER
F38	GUARDIA (LA)
F43	HUELMA
F50	JIMENA
F51	JÓDAR
F53	LARVA
F57	MANCHA REAL
F63	NOALEJO

F66	PEGALAJAR
F87	TORRES

Se ha llevado a cabo la simulación tanto para una ruta como para valores superiores, concluyendo, que lo óptimo es llevar a cabo una única ruta de 291 km. Para llevar a cabo los cálculos, el programa ha requerido en este caso 6,862 segundos.

Tabla 22 Ruta 1 Comarca Sierra Mágina.

Ruta 1	1 – 10 – 16 – 7 – 8 – 6 – 11 – 4 – 5 – 14 – 13 – 3 – 9 – 12 – 2 – 18 – 15 – 17 – 1	291 km
	Al – F38 – F63 – F20 – F23 – F19 – F43 – F16 – F18 – F53 – F51 – F14 – F36 – F50 – F1 – F87 – F57 – F66 – Al	
	Almacén – La Guardia – Noalejo – Campillo de Arenas – Carchelejo – Cambil – Huelma – Bélmez de la Moraleda – Cabra de Santo Cristo – Larva – Jódar – Bedmar – Garcier – Jimena – Albánchez de Mágina – Torres – Mancha Real – Pegalajar – Almacén	



Figura. 19 Ruta 1 Comarca Sierra Mágina.

9.2.5. Rutas de la Comarca de La Campiña.

La decisión inicial con esta comarca fue evaluarla de forma individual. Pese al elevado número de nodos, que en otras ocasiones ha precisado de mayores tiempos de ejecución, las simulaciones de este caso se han querido una media de 10 segundos. Con una demanda agregada de 44 banastas, la solución óptima se ha hallado con una única ruta de 213 km.

Tabla 23 Nodos Comarca La Campiña.

Comarca de La Campiña	
F5	ANDÚJAR
F6	ARJONA
F7	ARJONILLA
F27	CAZALILLA
F31	ESCAÑUELA
F32	ESPELÚY
F35	FUERTE DEL REY
F40	HIGUERA DE CALATRAVA
F52	LA HIGUERA
F55	LOPERA
F58	MARMOLEJO
F60	MENGÍBAR
F68	PORCUNA
F76	SANTIAGO DE CALATRAVA
F85	TORREDONJIMENO
F93	VILLANUEVA DE LA REINA
F95	VILLARDOMPARDO

Tabla 24 Ruta 1 Comarca de La Campiña.

Ruta 1	1 – 16 – 15 – 9 – 14 – 11 – 4 – 12 – 2 – 7 – 13 – 5 – 17 – 10 – 3 – 6 – 18 – 8 – 1	213 km
	Al – F85 – F76 – F40 – F68 – F55 – F7 – F58 – F5 – F32 – F60 – F27 – F93 – F52 – F6 – F31 – F95 – F35 – Al	
	Almacén – Torredonjimeno – Santiago de Calatrava – Higuera de Calatrava – Porcuna – Lopera – Arjonilla – Marmolejo – Andújar – Espelúy – Mengíbar – Cazalilla – Villanueva de la Reina – La Higuera – Arjona – Escañuela – Villardompardo – Fuerte del Rey – Almacén	



Figura. 20 Ruta 1 Comarca de La Campiña.

9.2.6. Rutas de la Comarca de La Loma y Las Villas.

En el siguiente caso se trató de evaluar la esta área junto a Linares, zona compuesta por un único nodo, pero con una alta demanda. Tras tratar de simular ambas juntas, el problema generado requería un tiempo de simulación que acababa generando un error de memoria en el programa. Por ello se ha optado por su evaluación individual.

Tabla 25 Nodos Comarca La Loma y Las Villas.

Comarca de La Loma y Las Villas	
F10	BAEZA
F15	BEGÍJAR
F21	CANENA
F45	IBROS
F47	IZNATOFAR
F56	LUPIÓN
F73	RUS
F74	SABIOTE
F83	TORREBLASCO PEDRO
F86	TORREPEROGIL
F89	ÚBEDA
F92	VILLACARRILLO

F94	VILLANUEVA DEL ARZOBISPO
F97	VILLARGORDO

El hecho de extraer el nodo correspondiente a Linares de la simulación, redujo drásticamente los tiempos requeridos por el software para hallar los resultados. Partiendo de un valor de uno para el número de rutas, debido a la demanda de 43 banastas, el tiempo aproximado que ha precisado el programa en su ejecución ha sido de una hora.

Tras llevar a cabo las simulaciones pertinentes variando el número de rutas, se ha determinado que únicamente se requerirá una. Esta tendrá una extensión de 241 km, para llevar a cabo estos cálculos el programa ha tardado 3927,183 segundos.

Tabla 26 Ruta 1 Comarca La Loma y Las Villas.

Ruta 1	1 – 2 – 12 – 9 – 13 – 14 – 6 – 11 – 8 – 4 – 5 – 3 – 7 – 10 – 15 – 1	241 km
	Al – F10 – F89 – F74 – F92 – F94 – F47 – F86 – F73 – F21 – F45 – F15 – F56 – F83 – F97 – Al	
	Almacén – Baeza – Úbeda – Sabiote – Villacarrillo – Villanueva del Arzobispo – Iznatoraf – Torreperogil – Rus – Canena – Ibros – Bejígara – Lupión – Torreblascopedro – Villargordo – Almacén	

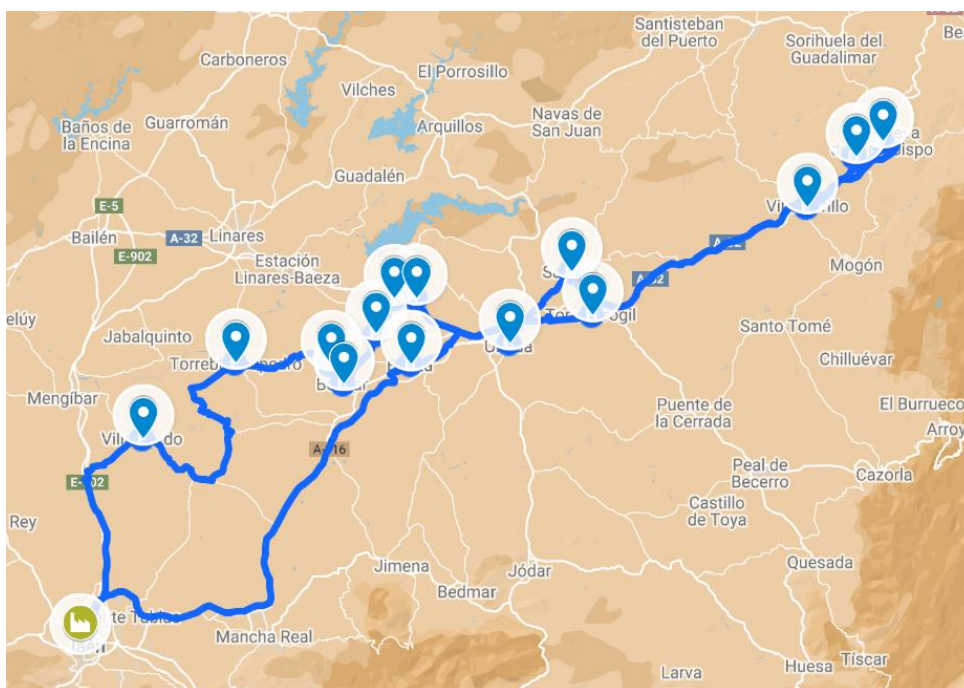


Figura. 21 Ruta 1 Comarca de La Loma y Las Villas.

En el caso de la ruta trazada para la comarca de La Loma y Las Villas, se puede observar un cambio en la forma de llevar a cabo el recorrido. De manera que la ruta trazada, se aleja recorriendo apenas 5 nodos hasta llegar al punto más alejado del almacén. Siendo en el recorrido de vuelta al mismo, en el que visitará la mayor cantidad de nodos.

9.2.7. *Rutas de la Comarca Norte, de El Condado y Linares.*

Finalmente se han agrupado las comarcas restantes para conformar un último sector. La simulación de este último caso ha precisado de unos tiempos mucho más elevados en comparación al resto de comarcas, precisando del orden de cuatro horas por ejecución.

Tabla 27 Nodos Comarca Norte / El Condado / Linares.

Comarca Norte / El Condado / Linares	
F4	ALDEAQUEMADA
F8	ARQUILLOS
F11	BAILÉN
F12	BAÑOS DE LA ENCINA
F22	CARBONEROS
F24	CAROLINA (LA)
F25	CASTELLAR
F29	CHICLANA DE SEGURA
F39	GUARROMÁN
F48	JABALQUINTO
F54	LINARES
F61	MONTIZÓN
F62	NAVAS DE SAN JUAN
F75	SANTA ELENA
F78	SANTISTEBAN DEL PUERTO
F82	SORIHUELA DEL GUADALIMAR
F91	VILCHES

La demanda del conjunto de nodos asciende a las 50 banastas, por ende, serán necesarias al menos dos rutas para la resolución del problema. Partiendo de este valor, se han llevado a cabo las simulaciones pertinentes, para finalmente determinar que la solución óptima es aquella con únicamente 2 rutas. El tiempo requerido para hallar el resultado ha sido de 14270,176 segundos, el equivalente a cuatro horas.

Tabla 28 Ruta 1 Comarca Norte / El Condado / Linares.

Ruta 1	1 – 5 – 10 – 6 – 7 – 15 – 2 – 13 – 9 – 17 – 8 – 16 – 14 – 3 – – 18 – 12 – 1	339 km
--------	--	--------

correspondiente a Bailén, el cual se trata del nodo más cercano al almacén, con una mayor demanda en comparación al resto.

Tabla 29 Ruta 2 Comarca Norte / El Condado / Linares.

Ruta 2	1 – 11 – 4 – 1	93 km
	Al – F48 – F11 – Al	
	Almacén – Jabalquinto – Bailén – Almacén	

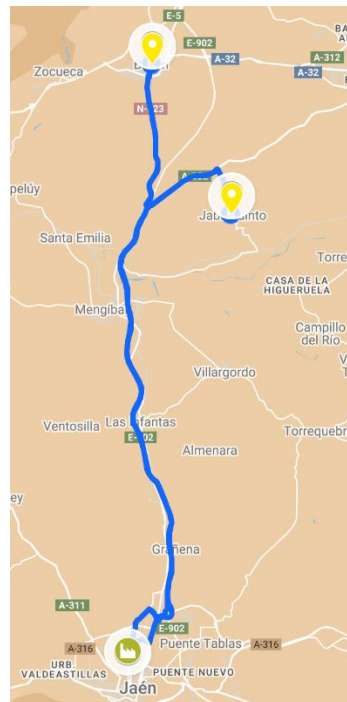


Figura. 23 Ruta 2 Comarca Norte /El Condado /Linares.

10. Conclusión.

El presente estudio inicia con la premisa de llevar a cabo la resolución de un problema de diseño de rutas vehiculares. En la búsqueda por obtener ventajas competitivas derivadas de la actividad logística, el manejo de herramientas que permitan determinar soluciones óptimas para este tipo de problemas será clave.

Por ello se ha decidido resolver un problema lo más cercano a la realidad posible, con el fin de poder determinar la utilidad de este tipo de software.

Tabla 30 Resumen resultados.

Sub-problema 1				
Rutas	Nº de Nodos	Nº de rutas	Distancia Recorrida	Tiempo de simulación
Jaén Sur	25	1	20,36 km	164,884 seg
Jaén Central	19	1	17,5 km	8,376 seg
Jaén Norte	14	1	10,96 km	1,373 seg
Sub-problema 2				
Rutas	Nº de Nodos	Nº de rutas	Distancia Recorrida	Tiempo de simulación
Sierra de Segura	15	2	313 km 330 km	6471,315 seg
Sierra de Cazorla	10	1	286 km	0,485 seg
Sierra Sur	11	1	163 km	0,412 seg
Sierra Mágina	18	1	291 km	6,862 seg
La Campiña	18	1	213 km	9,185 seg
La Loma y Las Villas	15	1	241 km	3927,183 seg
C. Norte / El Condado / Linares	18	2	339 km 93 km	14270,176 seg

El desarrollo paso a paso de este ejercicio ha llevado a los resultados expuestos en la Tabla 30.

Durante el desarrollo del problema, la principal dificultad hallada ha sido la gran cantidad de información a procesar por el programa, incurriendo en numerosas ocasiones en errores por falta de memoria. De ahí, la necesidad de subdividir el problema en zonas que abarcarán menor cantidad de nodos por simulación. Los resultados obtenidos finalmente se corresponden con las mencionadas subdivisiones, como solución a la gran cantidad de información comprendida en el problema inicialmente planteado.

La utilidad de la resolución de este tipo de problemas, no solo recae en la reducción de costes asociada a la obtención de la solución óptima para cada ruta. Este es un proceso, que una empresa real deberá llevar a cabo con regularidad, posiblemente incluso de forma diaria, en función de las características de su actividad.

Por ende, el tiempo empleado en el cálculo de las rutas será de vital importancia. Como se puede observar los resultados han sido obtenidos con marcas de tiempo dispares. La mayoría de soluciones han precisado únicamente de unos segundos para hallarse, por el contrario, otras han necesitado del orden de horas.

Esto supone la principal dificultad a la hora de obtener una solución óptima, dado que la complejidad del problema puede venir dada no solo por la cantidad de nodos del mismo. Sino, que también influirán la demanda y el número de rutas necesarias para completar el reparto.

Por ello queda patente que la utilidad de este método de resolución, se verá limitado por las características del problema, siendo de mayor utilidad en situaciones con menor cantidad de nodos. Dependiendo también de la posibilidad de llevar a cabo la división del problema en matrices menores, que permitan disminuir los tiempos de cálculo, sin distorsionar los resultados óptimos.

Se puede concluir que la resolución del problema VRP por métodos exactos, aporta soluciones con gran potencial para la empresa. Demostrando a través de la resolución del anterior problema simulado, que siempre que se den las condiciones adecuadas, la resolución de este tipo de problema generará unas rutas que permitirán a la empresa reducir al máximo sus costes en transporte.

11. Referencias bibliograficas.

Anaya Tejero, J. J. (2015). *Logística integral: La gestión operativa de la empresa*. ESIC Editorial.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2001). *Envases y embalajes. Sistemas para el transporte de cargas pequeñas. Parte 2* (UNE-EN 13199-2).

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2003). *Diseño de los envases y embalajes de cartón*. (UNE-EN 14054).

Colegio Oficial de Farmacéuticos de Jaén. (s.f.). *Farmacias - COF Jaén*. Colegio Oficial de Farmacéuticos de Jaén.
<https://www.cofjaen.es/Paginas/Farmacias.asp>

Dirección General de Tráfico. (2023). *Manual del permiso B. DGT*. [Archivo PDF]
https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/nuestros_servicios/permisos-de-conducir/Accesibilidad/TeoricaAbreviada_LecturaFacil_2023-12_Interactivo.pdf

Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). *The vehicle routing problem: A taxonomic review*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835209001405>

GLPK. (s.f.). *GNU.org*. <https://www.gnu.org/software/glpk/>

GUSEK. (s.f.). *GUSEK*. <https://gusek.sourceforge.net/gusek.html>

Instituto Nacional de Estadística. (2024, April 25). *INEbase / Demografía y población /Cifras de población y Censos demográficos /Censos de Población y Viviendas / Últimos datos. INE*. [Archivo Excel]
https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176992&menu=ultiDatos&idp=1254735572981

Kern Pharma. (s.f.). *Paracetamol Kern Pharma EFG 1 g, 40 compr.*
<https://www.kernpharma.com/es/vademecum/genericos/analgesicos/paracetamol-kern-pharma-efg-1-g-40-compr>

Ministerio de Sanidad. (2023). *Informe Anual del Sistema Nacional de Salud*.

[Archivo PDF]

https://www.sanidad.gob.es/estadEstudios/estadisticas/sisInfSanSNS/tablasEstadisticas/InfAnualSNS2022/INFORME_ANUAL_2022.pdf

Pesos y dimensiones. (s.f.). *Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible*.

<https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/inspeccion-de-los-transportes-por-carretera-pesos-maximos-y-requisitos-de-utilizacion>

Rocha Medina, L. B., González La Rota, E. c., & Orjuela Castro, J. A. (2011). *Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución*.

Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Unión Europea. (s.f.). *Trabajadores del sector del transporte por carretera - Your Europe*. European Union. https://europa.eu/youreurope/business/human-resources/transport-sector-workers/road-transportation-workers/index_es.htm

12. Anexos.**12.1. Anexo I. Matrices de distancias confeccionadas para cada uno de los sub-problemas.***12.1.1. Matrices del sub-problema 1.*

Matriz de Distancias C.P. 23001 / 23002 / 23003 / 23004																									
	AL	J1	J2	J6	J7	J8	J9	J10	J12	J13	J14	J16	J19	J20	J21	J22	J27	J29	J30	J31	J32	J37	J39	J42	J51
AL	0,00	5,50	5,20	3,50	6,00	5,20	3,80	3,90	5,10	6,30	6,20	6,20	5,10	6,50	4,80	3,40	5,30	3,80	6,20	4,70	4,40	5,40	6,50	4,60	4,40
J1	5,50	0,00	3,20	3,20	3,30	3,60	3,10	4,50	3,50	2,80	3,30	3,40	0,40	1,40	4,50	3,30	3,70	5,20	3,10	3,10	3,20	3,80	3,30	4,60	3,90
J2	5,20	3,20	0,00	1,60	0,80	0,30	2,30	0,20	0,20	1,30	2,60	2,70	3,00	1,80	1,20	2,00	0,40	4,40	1,20	2,30	2,00	0,50	1,90	1,30	4,30
J6	3,50	3,20	1,60	0,00	1,20	1,50	0,75	2,40	1,40	3,50	1,00	1,10	1,40	3,60	0,80	0,45	1,60	2,00	3,30	0,75	1,40	1,70	4,10	0,90	1,00
J7	6,00	3,30	0,80	1,20	0,00	0,40	2,50	1,30	0,30	1,40	2,70	2,80	0,75	1,70	1,40	2,20	0,50	4,50	1,30	2,50	2,10	0,65	2,00	1,40	4,40
J8	5,20	3,60	0,30	1,50	0,40	0,00	2,40	1,20	0,10	1,30	2,60	2,70	3,00	1,40	1,20	2,10	0,40	3,40	1,20	2,40	2,00	0,55	1,90	1,30	4,30
J9	3,80	3,10	2,30	0,75	2,50	2,40	0,00	3,60	1,60	3,50	1,20	1,30	1,70	4,00	0,85	0,65	1,80	2,00	3,40	1,00	0,60	2,90	4,10	0,95	1,90
J10	3,90	4,50	0,20	2,40	1,30	1,20	3,60	0,00	1,70	3,60	1,30	1,30	1,70	4,10	0,90	0,75	1,90	2,10	3,40	1,00	0,65	3,00	4,20	1,00	1,30
J12	5,10	3,50	0,20	1,40	0,30	0,10	1,60	1,70	0,00	1,20	2,50	2,60	2,90	1,70	1,10	2,00	0,30	4,30	1,10	2,30	1,90	0,45	1,80	1,20	4,20
J13	6,30	2,80	1,30	3,50	1,40	1,30	3,50	3,60	1,20	0,00	3,00	3,10	3,40	0,55	1,60	2,50	3,60	4,50	0,27	2,70	2,40	0,95	0,50	1,70	4,40
J14	6,20	3,30	2,60	1,00	2,70	2,60	1,20	1,30	2,50	3,00	0,00	0,21	1,10	1,10	1,60	2,40	0,75	4,70	2,70	2,30	2,50	2,70	2,90	2,90	4,60
J16	6,20	3,40	2,70	1,10	2,80	2,70	1,30	1,30	2,60	3,10	0,21	0,00	1,10	2,00	1,50	2,30	0,65	4,70	1,40	2,60	2,20	0,80	2,10	1,60	4,60
J19	5,10	0,40	3,00	1,40	0,75	3,00	1,70	1,70	2,90	3,40	1,10	1,10	0,00	1,10	4,20	2,90	3,30	4,80	2,80	2,70	2,80	3,50	3,00	4,30	3,50
J20	6,50	1,40	1,80	3,60	1,70	1,40	4,00	4,10	1,70	0,55	1,10	2,00	1,10	0,00	1,20	2,00	0,35	4,30	0,95	2,30	1,90	0,45	1,80	1,30	4,20
J21	4,80	4,50	1,20	0,80	1,40	1,20	0,85	0,90	1,10	1,60	1,60	1,50	4,20	1,20	0,00	1,10	2,20	2,40	3,80	1,40	1,00	3,30	4,50	0,35	1,60
J22	3,40	3,30	2,00	0,45	2,20	2,10	0,65	0,75	2,00	2,50	2,40	2,30	2,90	2,00	1,10	0,00	1,90	2,50	3,80	1,10	0,70	3,40	4,50	1,40	0,55
J27	5,30	3,70	0,40	1,60	0,50	0,40	1,80	1,90	0,30	3,60	0,75	0,65	3,30	0,35	2,20	1,90	0,00	4,10	0,85	2,00	1,70	0,20	1,60	1,00	4,00
J29	3,80	5,20	4,40	2,00	4,50	3,40	2,00	2,10	4,30	4,50	4,70	4,70	4,80	4,30	2,40	2,50	4,10	0,00	2,50	1,00	0,60	1,90	3,30	1,30	0,40
J30	6,20	3,10	1,20	3,30	1,30	1,20	3,40	3,40	1,10	0,27	2,70	1,40	2,80	0,95	3,80	3,80	0,85	2,50	0,00	2,70	2,30	0,85	0,75	1,70	3,50
J31	4,70	3,10	2,30	0,75	2,50	2,40	1,00	1,00	2,30	2,70	2,30	2,60	2,70	2,30	1,40	1,10	2,00	1,00	2,70	0,00	0,80	1,30	2,60	1,10	1,40
J32	4,40	3,20	2,00	1,40	2,10	2,00	0,60	0,65	1,90	2,40	2,50	2,20	2,80	1,90	1,00	0,70	1,70	0,60	2,30	0,80	0,00	1,20	1,80	0,60	0,75
J37	5,40	3,80	0,50	1,70	0,65	0,55	2,90	3,00	0,45	0,95	2,70	0,80	3,50	0,45	3,30	3,40	0,20	1,90	0,85	1,30	1,20	0,00	5,00	0,80	2,10
J39	6,50	3,30	1,90	4,10	2,00	1,90	4,10	4,20	1,80	0,50	2,90	2,10	3,00	1,80	4,50	4,50	1,60	3,30	0,75	2,60	1,80	5,00	0,00	2,00	4,50
J42	4,60	4,60	1,30	0,90	1,40	1,30	0,95	1,00	1,20	1,70	2,90	1,60	4,30	1,30	0,35	1,40	1,00	1,30	1,70	1,10	0,60	0,80	2,00	0,00	0,75
J51	4,40	3,90	4,30	1,00	4,40	4,30	1,90	1,30	4,20	4,40	4,60	4,60	3,50	4,20	1,60	0,55	4,00	0,40	3,50	1,40	0,75	2,10	4,50	0,75	0,00

Matriz de Distancias C.P. 23005 / 23006 / 23007																		
	AL	J4	J11	J17	J18	J26	J28	J34	J35	J36	J38	J40	J41	J43	J45	J46	J48	J52
AL	0,00	3,40	3,50	4,20	3,70	3,60	4,30	4,20	4,10	3,70	3,90	3,60	2,80	3,80	3,70	3,00	4,00	3,80
J4	3,40	0,00	0,45	1,50	2,20	0,95	1,20	2,30	1,00	0,55	1,50	1,20	0,60	1,10	1,60	0,70	1,00	0,60
J11	3,50	0,45	0,00	1,60	2,00	0,45	1,60	2,10	1,10	0,50	1,30	0,70	0,85	0,65	1,40	0,50	0,55	0,75
J17	4,20	1,50	1,60	0,00	0,50	1,90	2,30	0,60	1,80	2,10	1,10	2,20	2,00	2,10	0,60	1,20	2,00	2,20
J18	3,70	2,20	2,00	0,50	0,00	1,40	1,80	1,40	1,30	1,50	0,60	1,70	1,50	1,60	0,74	0,75	1,50	1,70
J26	3,60	0,95	0,45	1,90	1,40	0,00	1,70	2,20	1,20	2,30	1,40	2,60	1,40	2,50	1,50	0,60	2,50	2,60
J28	4,30	1,20	1,60	2,30	1,80	1,70	0,00	2,70	1,80	0,80	1,90	0,90	1,20	0,85	2,00	1,30	0,75	0,95
J34	4,20	2,30	2,10	0,60	1,40	2,20	2,70	0,00	1,60	2,00	1,10	2,20	1,80	2,10	0,60	1,20	2,00	2,20
J35	4,10	1,00	1,10	1,80	1,30	1,20	1,80	1,60	0,00	1,90	0,35	2,00	1,90	1,90	1,10	1,10	1,90	2,00
J36	3,70	0,55	0,50	2,10	1,50	2,30	0,80	2,00	1,90	0,00	1,50	0,85	0,75	0,85	1,60	0,70	0,75	1,00
J38	3,90	1,50	1,30	1,10	0,60	1,40	1,90	1,10	0,35	1,50	0,00	1,60	1,20	1,60	1,00	0,75	1,50	1,70
J40	3,60	1,20	0,70	2,20	1,70	2,60	0,90	2,20	2,00	0,85	1,60	0,00	1,20	0,85	1,50	0,65	0,75	0,95
J41	2,80	0,60	0,85	2,00	1,50	1,40	1,20	1,80	1,90	0,75	1,20	1,20	0,00	1,40	1,50	0,90	1,40	1,00
J43	3,80	1,10	0,65	2,10	1,60	2,50	0,85	2,10	1,90	0,85	1,60	0,85	1,40	0,00	1,70	0,85	0,85	0,20
J45	3,70	1,60	1,40	0,60	0,74	1,50	2,00	0,60	1,10	1,60	1,00	1,50	1,50	1,70	0,00	0,65	1,40	1,60
J46	3,00	0,70	0,50	1,20	0,75	0,60	1,30	1,20	1,10	0,70	0,75	0,65	0,90	0,85	0,65	0,00	1,90	2,00
J48	4,00	1,00	0,55	2,00	1,50	2,50	0,75	2,00	1,90	0,75	1,50	0,75	1,40	0,85	1,40	1,90	0,00	0,85
J52	3,80	0,60	0,75	2,20	1,70	2,60	0,95	2,20	2,00	1,00	1,70	0,95	1,00	0,20	1,60	2,00	0,85	0,00
J53	8,70	1,90	1,40	3,80	3,30	4,20	1,60	2,90	2,70	1,60	2,40	1,60	2,20	1,70	2,30	2,70	0,85	1,50

Matriz de Distancias C.P. 23008 / 23009														
	AL	J3	J5	J15	J23	J24	J25	J33	J44	J47	J49	J50	J54	J55
AL	0,00	2,40	3,30	2,20	4,20	3,90	3,40	3,70	2,50	2,70	3,00	2,20	2,00	1,30
J3	2,40	0,00	1,80	1,40	1,00	1,30	1,90	1,10	0,75	1,50	1,40	0,75	0,55	1,10
J5	3,30	1,80	0,00	2,00	1,30	0,90	2,20	0,70	1,50	0,85	0,40	0,65	0,95	1,70
J15	2,20	1,40	2,00	0,00	1,50	2,00	2,40	1,80	1,10	1,40	1,30	1,20	1,00	0,90
J23	4,20	1,00	1,30	1,50	0,00	0,55	1,10	0,80	2,40	2,10	1,80	1,50	1,80	2,50
J24	3,90	1,30	0,90	2,00	0,55	0,00	0,55	0,22	1,80	1,60	1,20	1,00	1,20	1,90
J25	3,40	1,90	2,20	2,40	1,10	0,55	0,00	0,35	1,70	1,00	0,60	1,60	1,60	1,90
J33	3,70	1,10	0,70	1,80	0,80	0,22	0,35	0,00	1,40	1,30	1,00	0,75	1,00	1,70
J44	2,50	0,75	1,50	1,10	2,40	1,80	1,70	1,40	0,00	1,70	1,60	0,95	0,65	1,20
J47	2,70	1,50	0,85	1,40	2,10	1,60	1,00	1,30	1,70	0,00	0,45	1,10	1,10	1,40
J49	3,00	1,40	0,40	1,30	1,80	1,20	0,60	1,00	1,60	0,45	0,00	0,90	1,00	1,30
J50	2,20	0,75	0,65	1,20	1,50	1,00	1,60	0,75	0,95	1,10	0,90	0,00	0,29	1,00
J54	2,00	0,55	0,95	1,00	1,80	1,20	1,60	1,00	0,65	1,10	1,00	0,29	0,00	0,75
J55	1,30	1,10	1,70	0,90	2,50	1,90	1,90	1,70	1,20	1,40	1,30	1,00	0,75	0,00

12.1.2. Matrices del sub-problema 2.

Matriz de Distancias Sierra de Segura															
	AL	F9	F13	F17	F37	F42	F64	F67	F70	F71	F77	F80	F81	F88	F98
AL	0	120	119	147	146	138	145	167	129	136	182	150	154	150	159
F9	120	0	13	26	26	37	25	67	9	17	82	32	35	30	39
F13	119	13	0	37	38	27	32	56	22	28	71	35	46	42	51
F17	147	26	37	0	24	23	5	47	17	10	62	13	13	14	28
F37	146	26	38	24	0	39	26	65	17	19	80	33	24	10	14
F42	138	37	27	23	39	0	18	30	28	21	45	21	34	29	44
F64	145	25	32	5	26	18	0	44	16	9	59	8	18	16	30
F67	167	67	56	47	65	30	44	0	58	51	15	38	44	56	70
F70	129	9	22	17	17	28	16	58	0	8	73	23	26	21	30
F71	136	17	28	10	19	21	9	51	8	0	66	16	18	14	28
F77	182	82	71	62	80	45	59	15	73	66	0	53	59	70	85
F80	150	32	35	13	33	21	8	38	23	16	53	0	24	23	38
F81	154	35	46	13	24	34	18	44	26	18	59	24	0	14	28
F88	150	30	42	14	10	29	16	56	21	14	70	23	14	0	14
F98	159	39	51	28	14	44	30	70	30	28	85	38	28	14	0

Matriz de Distancias Sierra de Cazorla										
	AL	F28	F30	F41	F44	F46	F65	F69	F72	F79
AL	0	95	102	102	86	96	81	107	87	91
F28	95	0	18	45	32	1	13	50	19	17
F30	102	18	0	61	48	19	29	66	35	10
F41	102	45	61	0	16	47	37	8	27	57
F44	86	32	48	16	0	33	24	21	13	43
F46	96	1	19	47	33	0	14	51	20	19
F65	81	13	29	37	24	14	0	42	11	20
F69	107	50	66	8	21	51	42	0	31	61
F72	87	19	35	27	13	20	11	31	0	30
F79	91	17	10	57	43	19	20	61	30	0

Matriz de Distancias Sierra Sur											
	AL	F2	F3	F26	F33	F34	F49	F59	F84	F90	F96
AL	0	59	46	47	53	30	17	22	12	30	11
F2	59	0	23	12	13	34	52	45	56	29	49
F3	46	23	0	19	37	35	31	25	34	36	79
F26	47	12	19	0	24	22	39	32	43	18	37
F33	53	13	37	24	0	40	57	51	61	23	42
F34	30	34	35	22	40	0	20	13	23	18	19
F49	17	52	31	39	57	20	0	6	5	38	21
F59	22	45	25	32	51	13	6	0	10	31	16
F84	12	56	34	43	61	23	5	10	0	42	22
F90	30	29	36	18	23	18	38	31	42	0	20
F96	11	49	79	37	42	19	21	16	22	20	0

Matriz de Distancias Sierra Mágina																		
	AL	F1	F14	F16	F18	F19	F20	F23	F36	F38	F43	F50	F51	F53	F57	F63	F66	F87
AL	0	43	45	67	75	32	39	30	41	11	49	36	53	79	20	42	17	32
F1	43	0	13	35	43	51	60	51	14	46	46	7	23	48	23	64	32	11
F14	45	13	0	22	30	50	62	53	8	48	33	9	10	37	25	66	33	23
F16	67	35	22	0	18	32	57	45	29	66	14	30	20	46	47	60	55	44
F18	75	43	30	18	0	44	64	57	37	75	26	38	28	54	54	62	63	52
F19	32	51	50	32	44	0	25	16	49	31	18	45	49	75	28	28	20	40
F20	39	60	62	57	64	25	0	16	57	43	38	54	70	96	36	5	28	48
F23	30	51	53	45	57	16	16	0	48	31	30	45	62	87	28	19	19	39
F36	41	14	8	29	37	49	57	48	0	43	40	7	17	42	20	61	29	18
F38	11	46	48	66	75	31	43	31	43	0	36	33	50	76	16	32	8	27
F43	49	46	33	14	26	18	38	30	40	36	0	41	31	57	45	140	162	55
F50	36	7	9	30	38	45	54	45	7	33	41	0	17	43	17	58	25	15
F51	53	23	10	20	28	49	70	62	17	50	31	17	0	26	34	73	42	32
F53	79	48	37	46	54	75	96	87	42	76	57	43	26	0	61	99	69	58
F57	20	23	25	47	54	28	36	28	20	16	45	17	34	61	0	41	9	12
F63	42	64	66	60	62	28	5	19	61	32	140	58	73	99	41	0	32	52
F66	17	32	33	55	63	20	28	19	29	8	162	25	42	69	9	32	0	20
F87	32	11	23	44	52	40	48	39	18	27	55	15	32	58	12	52	20	0

Matriz de Distancias La Campiña																		
	AL	F5	F6	F7	F27	F31	F32	F35	F40	F52	F55	F58	F60	F68	F76	F85	F93	F95
AL	0	42	36	45	32	33	35	17	37	31	53	52	29	43	39	18	40	27
F5	42	0	15	10	19	23	21	26	35	11	24	11	26	26	41	40	15	29
F6	36	15	0	8	22	9	24	20	24	9	17	22	30	15	30	26	18	15
F7	45	10	8	0	26	16	28	28	25	17	14	14	33	16	31	33	22	22
F27	32	19	22	26	0	31	9	27	46	13	39	29	8	37	52	46	5	36
F31	33	23	9	16	31	0	33	18	20	18	25	30	38	23	24	17	27	6
F32	35	21	24	28	9	33	0	30	49	15	41	31	10	39	54	49	7	39
F35	17	26	20	28	27	18	30	0	33	15	37	36	35	35	37	20	24	13
F40	37	35	24	25	46	20	49	33	0	33	22	38	54	11	6	19	43	20
F52	31	11	9	17	13	18	15	15	33	0	25	21	20	24	39	34	9	23
F55	53	24	17	14	39	25	41	37	22	25	0	17	45	11	27	34	34	30
F58	52	11	22	14	29	30	31	36	38	21	17	0	36	27	44	46	25	35
F60	29	26	30	33	8	38	10	35	54	20	45	36	0	44	59	39	12	44
F68	43	26	15	16	37	23	39	35	11	24	11	27	44	0	16	25	33	24
F76	39	41	30	31	52	24	54	37	6	39	27	44	59	16	0	21	48	24
F85	18	40	26	33	46	17	49	20	19	34	34	46	39	25	21	0	44	11
F93	40	15	18	22	5	27	7	24	43	9	34	25	12	33	48	44	0	32
F95	27	29	15	22	36	6	39	13	20	23	30	35	44	24	24	11	32	0

Matriz de Distancias La Loma y Las Villas															
	AL	F10	F15	F21	F45	F47	F56	F73	F74	F83	F86	F89	F92	F94	F97
AL	0	48	44	56	50	99	45	55	66	40	66	58	87	98	26
F10	48	0	7	10	5	52	8	8	19	17	19	11	40	51	32
F15	44	7	0	12	6	59	2	14	26	11	26	18	47	58	28
F21	56	10	12	0	6	52	13	2	20	22	19	12	40	51	40
F45	50	5	6	6	0	56	7	8	23	16	23	15	44	55	34
F47	99	52	59	52	56	0	59	50	38	69	34	43	12	8	83
F56	45	8	2	13	7	59	0	14	26	10	26	18	48	59	30
F73	55	8	14	2	8	50	14	0	18	24	17	11	39	50	40
F74	66	19	26	20	23	38	26	18	0	36	6	10	26	37	50
F83	40	17	11	22	16	69	10	24	36	0	36	28	57	68	24
F86	66	19	26	19	23	34	26	17	6	36	0	11	22	33	51
F89	58	11	18	12	15	43	18	11	10	28	11	0	30	41	42
F92	87	40	47	40	44	12	48	39	26	57	22	30	0	11	72
F94	98	51	58	51	55	8	59	50	37	68	33	41	11	0	82
F97	26	32	28	40	34	83	30	40	50	24	51	42	72	82	0

Matriz de Distancias El Condado / Comarca Norte / Linares																		
	AL	F4	F8	F11	F12	F22	F24	F25	F29	F39	F48	F54	F61	F62	F75	F78	F82	F91
AL	0	105	71	40	49	60	66	101	114	53	36	48	113	83	78	96	109	69
F4	105	0	58	66	60	45	40	91	83	53	77	63	79	70	29	84	93	51
F8	71	58	0	36	39	26	22	33	45	32	38	24	44	11	30	25	41	13
F11	40	66	36	0	10	21	27	69	82	13	17	13	81	48	37	62	77	33
F12	49	60	39	10	0	16	22	72	84	9	26	17	83	50	32	64	80	34
F22	60	45	26	21	16	0	7	59	72	8	35	20	71	38	17	52	67	19
F24	66	40	22	27	22	7	0	55	67	14	40	25	66	33	11	47	63	15
F25	101	91	33	69	72	59	55	0	13	66	72	57	12	23	63	9	9	46
F29	114	83	45	82	84	72	67	13	0	77	83	69	12	34	75	21	10	58
F39	53	53	32	13	9	8	14	66	77	0	28	13	77	44	24	58	73	26
F48	36	77	38	17	26	35	40	72	83	28	0	14	82	50	49	64	79	35
F54	48	63	24	13	17	20	25	57	69	13	14	0	68	35	34	49	65	21
F61	113	79	44	81	83	71	66	12	12	77	82	68	0	33	73	20	19	57
F62	83	70	11	48	50	38	33	23	34	44	50	35	33	0	41	14	30	24
F75	78	29	30	37	32	17	11	63	75	24	49	34	73	41	0	55	71	23
F78	96	84	25	62	64	52	47	9	21	58	64	49	20	14	55	0	16	38
F82	109	93	41	77	80	67	63	9	10	73	79	65	19	30	71	16	0	53
F91	69	51	13	33	34	19	15	46	58	26	35	21	57	24	23	38	53	0

12.2. Anexo II. Archivos .dat de la resolución.**12.2.1. Archivos .dat del sub-problema 1**

```

1  #Datos para resolución CP 23001 / 23002 / 23003 / 23004
2
3  param n:=25;
4  param C:=32;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  -->1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25:=
9  1 ->0.00 5.50 5.20 3.50 6.00 5.20 3.80 3.90 5.10 6.30 6.20 6.20 5.10 6.50 4.80 3.40 5.30 3.80 6.20 4.70 4.40 5.40 6.50 4.60 4.40
10 2 ->5.50 0.00 3.20 3.20 3.30 3.60 3.10 4.50 3.50 2.80 3.30 3.40 0.40 1.40 4.50 3.30 3.70 5.20 3.10 3.10 3.20 3.80 3.30 4.60 3.90
11 3 ->5.20 3.20 0.00 1.60 0.80 0.30 2.30 0.20 0.20 1.30 2.60 2.70 3.00 1.80 1.20 2.00 0.40 4.40 1.20 2.30 2.00 0.50 1.90 1.30 4.30
12 4 ->3.50 3.20 1.60 0.00 1.20 1.50 0.75 2.40 1.40 3.50 1.00 1.10 1.40 3.60 0.80 0.45 1.60 2.00 3.30 0.75 1.40 1.70 4.10 0.90 1.00
13 5 ->6.00 3.30 0.80 1.20 0.00 0.40 2.50 1.30 0.30 1.40 2.70 2.80 0.75 1.70 1.40 2.20 0.50 4.50 1.30 2.50 2.10 0.65 2.00 1.40 4.40
14 6 ->5.20 3.60 0.30 1.50 0.40 0.00 2.40 1.20 0.10 1.30 2.60 2.70 3.00 1.40 1.20 2.10 0.40 3.40 1.20 2.40 2.00 0.55 1.90 1.30 4.30
15 7 ->3.80 3.10 2.30 0.75 2.50 2.40 0.00 3.60 1.60 3.50 1.20 1.30 1.70 4.00 0.85 0.65 1.80 2.00 3.40 1.00 0.60 2.90 4.10 0.95 1.90
16 8 ->3.90 4.50 0.20 2.40 1.30 1.20 3.60 0.00 1.70 3.60 1.30 1.30 1.70 4.10 0.90 0.75 1.90 2.10 3.40 1.00 0.65 3.00 4.20 1.00 1.30
17 9 ->5.10 3.50 0.20 1.40 0.30 0.10 1.60 1.70 0.00 1.20 2.50 2.60 2.90 1.70 1.10 2.00 0.30 4.30 1.10 2.30 1.90 0.45 1.80 1.20 4.20
18 10 ->6.30 2.80 1.30 3.50 1.40 1.30 3.50 3.60 1.20 0.00 3.00 3.10 3.40 0.55 1.60 2.50 3.60 4.50 0.27 2.70 2.40 0.95 0.50 1.70 4.40
19 11 ->6.20 3.30 2.60 1.00 2.70 2.60 1.20 1.30 2.50 3.00 0.00 0.21 1.10 1.10 1.60 2.40 0.75 4.70 2.70 2.30 2.50 2.70 2.90 2.90 4.60
20 12 ->6.20 3.40 2.70 1.10 2.80 2.70 1.30 1.30 2.60 3.10 0.21 0.00 1.10 2.00 1.50 2.30 0.65 4.70 1.40 2.60 2.20 0.80 2.10 1.60 4.60
21 13 ->5.10 0.40 3.00 1.40 0.75 3.00 1.70 1.70 2.90 3.40 1.10 1.10 0.00 1.10 4.20 2.90 3.30 4.80 2.80 2.70 2.80 3.50 3.00 4.30 3.50
22 14 ->6.50 1.40 1.80 3.60 1.70 1.40 4.00 4.10 1.70 0.55 1.10 2.00 1.10 0.00 1.20 2.00 0.35 4.30 0.95 2.30 1.90 0.45 1.80 1.30 4.20
23 15 ->4.80 4.50 1.20 0.80 1.40 1.20 0.85 0.90 1.10 1.60 1.60 1.50 4.20 1.20 0.00 1.10 2.20 2.40 3.80 1.40 1.00 3.30 4.50 0.35 1.60
24 16 ->3.40 3.30 2.00 0.45 2.20 2.10 0.65 0.75 2.00 2.50 2.40 2.30 2.90 2.00 1.10 0.00 1.90 2.50 3.80 1.10 0.70 3.40 4.50 1.40 0.55
25 17 ->5.30 3.70 0.40 1.60 0.50 0.40 1.80 1.90 0.30 3.60 0.75 0.65 3.30 0.35 2.20 1.90 0.00 4.10 0.85 2.00 1.70 0.20 1.60 1.00 4.00
26 18 ->3.80 5.20 4.40 2.00 4.50 3.40 2.00 2.10 4.30 4.50 4.70 4.70 4.80 4.30 2.40 2.50 4.10 0.00 2.50 1.00 0.60 1.90 3.30 1.30 0.40
27 19 ->6.20 3.10 1.20 3.30 1.30 1.20 3.40 3.40 1.10 0.27 2.70 1.40 2.80 0.95 3.80 3.80 0.85 2.50 0.00 2.70 2.30 0.85 0.75 1.70 3.50
28 20 ->4.70 3.10 2.30 0.75 2.50 2.40 1.00 1.00 2.30 2.70 2.30 2.60 2.70 2.30 1.40 1.10 2.00 1.00 2.70 0.00 0.80 1.30 2.60 1.10 1.40
29 21 ->4.40 3.20 2.00 1.40 2.10 2.00 0.60 0.65 1.90 2.40 2.50 2.20 2.80 1.90 1.00 0.70 1.70 0.60 2.30 0.80 0.00 1.20 1.80 0.60 0.75
30 22 ->5.40 3.80 0.50 1.70 0.65 0.55 2.90 3.00 0.45 0.95 2.70 0.80 3.50 0.45 3.30 3.40 0.20 1.90 0.85 1.30 1.20 0.00 5.00 0.80 2.10
31 23 ->6.50 3.30 1.90 4.10 2.00 1.90 4.10 4.20 1.80 0.50 2.90 2.10 3.00 1.80 4.50 4.50 1.60 3.30 0.75 2.60 1.80 5.00 0.00 2.00 4.50
32 24 ->4.60 4.60 1.30 0.90 1.40 1.30 0.95 1.00 1.20 1.70 2.90 1.60 4.30 1.30 0.35 1.40 1.00 1.30 1.70 1.10 0.60 0.80 2.00 0.00 0.75
33 25 ->4.40 3.90 4.30 1.00 4.40 4.30 1.90 1.30 4.20 4.40 4.60 4.60 3.50 4.20 1.60 0.55 4.00 0.40 3.50 1.40 0.75 2.10 4.50 0.75 0.00
34 ;
35
36
37 param d:=
38 2 ->1
39 3 ->2
40 4 ->2
41 5 ->1
42 6 ->2
43 7 ->1
44 8 ->1
45 9 ->1
46 10 ->1
47 11 ->2
48 12 ->2
49 13 ->2
50 14 ->1
51 15 ->1
52 16 ->1
53 17 ->1
54 18 ->1
55 19 ->1
56 20 ->1
57 21 ->1
58 22 ->1
59 23 ->1
60 24 ->1
61 25 ->1;

```

```

1  #Datos para resolución C.P 23005 / 23006 / 23007
2
3  param n:=19;
4  param C:=32;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  -->1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19:=
9  1 -->0.00 3.40 3.50 4.20 3.70 3.60 4.30 4.20 4.10 3.70 3.90 3.60 2.80 3.80 3.70 3.00 4.00 3.80 8.70
10 2 -->3.40 0.00 0.45 1.50 2.20 0.95 1.20 2.30 1.00 0.55 1.50 1.20 0.60 1.10 1.60 0.70 1.00 0.60 1.90
11 3 -->3.50 0.45 0.00 1.60 2.00 0.45 1.60 2.10 1.10 0.50 1.30 0.70 0.85 0.65 1.40 0.50 0.55 0.75 1.40
12 4 -->4.20 1.50 1.60 0.00 0.50 1.90 2.30 0.60 1.80 2.10 1.10 2.20 2.00 2.10 0.60 1.20 2.00 2.20 3.80
13 5 -->3.70 2.20 2.00 0.50 0.00 1.40 1.80 1.40 1.30 1.50 0.60 1.70 1.50 1.60 0.74 0.75 1.50 1.70 3.30
14 6 -->3.60 0.95 0.45 1.90 1.40 0.00 1.70 2.20 1.20 2.30 1.40 2.60 1.40 2.50 1.50 0.60 2.50 2.60 4.20
15 7 -->4.30 1.20 1.60 2.30 1.80 1.70 0.00 2.70 1.80 0.80 1.90 0.90 1.20 0.85 2.00 1.30 0.75 0.95 1.60
16 8 -->4.20 2.30 2.10 0.60 1.40 2.20 2.70 0.00 1.60 2.00 1.10 2.20 1.80 2.10 0.60 1.20 2.00 2.20 2.90
17 9 -->4.10 1.00 1.10 1.80 1.30 1.20 1.80 1.60 0.00 1.90 0.35 2.00 1.90 1.90 1.10 1.10 1.90 2.00 2.70
18 10 -->3.70 0.55 0.50 2.10 1.50 2.30 0.80 2.00 1.90 0.00 1.50 0.85 0.75 0.85 1.60 0.70 0.75 1.00 1.60
19 11 -->3.90 1.50 1.30 1.10 0.60 1.40 1.90 1.10 0.35 1.50 0.00 1.60 1.20 1.60 1.00 0.75 1.50 1.70 2.40
20 12 -->3.60 1.20 0.70 2.20 1.70 2.60 0.90 2.20 2.00 0.85 1.60 0.00 1.20 0.85 1.50 0.65 0.75 0.95 1.60
21 13 -->2.80 0.60 0.85 2.00 1.50 1.40 1.20 1.80 1.90 0.75 1.20 1.20 0.00 1.40 1.50 0.90 1.40 1.00 2.20
22 14 -->3.80 1.10 0.65 2.10 1.60 2.50 0.85 2.10 1.90 0.85 1.60 0.85 1.40 0.00 1.70 0.85 0.85 0.20 1.70
23 15 -->3.70 1.60 1.40 0.60 0.74 1.50 2.00 0.60 1.10 1.60 1.00 1.50 1.50 1.70 0.00 0.65 1.40 1.60 2.30
24 16 -->3.00 0.70 0.50 1.20 0.75 0.60 1.30 1.20 1.10 0.70 0.75 0.65 0.90 0.85 0.65 0.00 1.90 2.00 2.70
25 17 -->4.00 1.00 0.55 2.00 1.50 2.50 0.75 2.00 1.90 0.75 1.50 0.75 1.40 0.85 1.40 1.90 0.00 0.85 0.85
26 18 -->3.80 0.60 0.75 2.20 1.70 2.60 0.95 2.20 2.00 1.00 1.70 0.95 1.00 0.20 1.60 2.00 0.85 0.00 1.50
27 19 -->8.70 1.90 1.40 3.80 3.30 4.20 1.60 2.90 2.70 1.60 2.40 1.60 2.20 1.70 2.30 2.70 0.85 1.50 0.00
28 ;
29
30
31 param d:=
32 2 -->1
33 3 -->1
34 4 -->1
35 5 -->1
36 6 -->4
37 7 -->1
38 8 -->1
39 9 -->1
40 10 -->1
41 11 -->1
42 12 -->4
43 13 -->1
44 14 -->1
45 15 -->1
46 16 -->4
47 17 -->1
48 18 -->1
49 19 -->1;

```

```

1  #Datos para resolución C.P 23008 / 23009
2
3  param n:=14;
4  param C:=32;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  →→→1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14:=
9  1 →0.00  2.40  3.30  2.20  4.20  3.90  3.40  3.70  2.50  2.70  3.00  2.20  2.00  1.30
10 2 →2.40  0.00  1.80  1.40  1.00  1.30  1.90  1.10  0.75  1.50  1.40  0.75  0.55  1.10
11 3 →3.30  1.80  0.00  2.00  1.30  0.90  2.20  0.70  1.50  0.85  0.40  0.65  0.95  1.70
12 4 →2.20  1.40  2.00  0.00  1.50  2.00  2.40  1.80  1.10  1.40  1.30  1.20  1.00  0.90
13 5 →4.20  1.00  1.30  1.50  0.00  0.55  1.10  0.80  2.40  2.10  1.80  1.50  1.80  2.50
14 6 →3.90  1.30  0.90  2.00  0.55  0.00  0.55  0.22  1.80  1.60  1.20  1.00  1.20  1.90
15 7 →3.40  1.90  2.20  2.40  1.10  0.55  0.00  0.35  1.70  1.00  0.60  1.60  1.60  1.90
16 8 →3.70  1.10  0.70  1.80  0.80  0.22  0.35  0.00  1.40  1.30  1.00  0.75  1.00  1.70
17 9 →2.50  0.75  1.50  1.10  2.40  1.80  1.70  1.40  0.00  1.70  1.60  0.95  0.65  1.20
18 10 →2.70  1.50  0.85  1.40  2.10  1.60  1.00  1.30  1.70  0.00  0.45  1.10  1.10  1.40
19 11 →3.00  1.40  0.40  1.30  1.80  1.20  0.60  1.00  1.60  0.45  0.00  0.90  1.00  1.30
20 12 →2.20  0.75  0.65  1.20  1.50  1.00  1.60  0.75  0.95  1.10  0.90  0.00  0.29  1.00
21 13 →2.00  0.55  0.95  1.00  1.80  1.20  1.60  1.00  0.65  1.10  1.00  0.29  0.00  0.75
22 14 →1.30  1.10  1.70  0.90  2.50  1.90  1.90  1.70  1.20  1.40  1.30  1.00  0.75  0.00
23 ;
24
25
26 param d:=
27 2→→→1
28 3→→→1
29 4→→→1
30 5→→→1
31 6→→→1
32 7→→→1
33 8→→→1
34 9→→→1
35 10→→→1
36 11→→→1
37 12→→→1
38 13→→→1
39 14→→→1;

```

12.2.2. Archivos .dat del sub-problema 2

```

1  #Datos para resolución Comarca Sierra de Segura
2
3  param n:=15;
4  param C:=40;
5  param nr:=2;
6
7  param D:
8  →→1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15:=
9  1 →0 120 119 147 146 138 145 167 129 136 182 150 154 150 159
10 2 →120 0 13 26 26 37 25 67 9 17 82 32 35 30 39
11 3 →119 13 0 37 38 27 32 56 22 28 71 35 46 42 51
12 4 →147 26 37 0 24 23 5 47 17 10 62 13 13 14 28
13 5 →146 26 38 24 0 39 26 65 17 19 80 33 24 10 14
14 6 →38 37 27 23 39 0 18 30 28 21 45 21 34 29 44
15 7 →145 25 32 5 26 18 0 44 16 9 59 8 18 16 30
16 8 →167 67 56 47 65 30 44 0 58 51 15 38 44 56 70
17 9 →129 9 22 17 17 28 16 58 0 8 73 23 26 21 30
18 10 →136 17 28 10 19 21 9 51 8 0 66 16 18 14 28
19 11 →182 82 71 62 80 45 59 15 73 66 0 53 59 70 85
20 12 →150 32 35 13 33 21 8 38 23 16 53 0 24 23 38
21 13 →154 35 46 13 24 34 18 44 26 18 59 24 0 14 28
22 14 →150 30 42 14 10 29 16 56 21 14 70 23 14 0 14
23 15 →159 39 51 28 14 44 30 70 30 28 85 38 28 14 0
24 ;
25
26
27 param d:=
28 2 →→1
29 3 →→2
30 4 →→1
31 5 →→1
32 6 →→1
33 7 →→1
34 8 →→1
35 9 →→1
36 10 →→1
37 11 →→1
38 12 →→1
39 13 →→1
40 14 →→1
41 15 →→1;

```

```

1  #Datos para resolución Comarca Sierra de Cazorla
2
3  param n:=10;
4  param C:=48;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  →→1 2 3 4 5 6 7 8 9 10:=
9  1→0 95 102 102 86 96 81 107 87 91
10 2→95 0 18 45 32 1 13 50 19 17
11 3→102 18 0 61 48 19 29 66 35 10
12 4→102 45 61 0 16 47 37 8 27 57
13 5→86 32 48 16 0 33 24 21 13 43
14 6→96 1 19 47 33 0 14 51 20 19
15 7→81 13 29 37 24 14 0 42 11 20
16 8→107 50 66 8 21 51 42 0 31 61
17 9→87 19 35 27 13 20 11 31 0 30
18 10→91 17 10 57 43 19 20 61 30 0
19 ;
20
21
22 param d:=
23 2→→3
24 3→→1
25 4→→1
26 5→→1
27 6→→1
28 7→→2
29 8→→2
30 9→→2
31 10→→1;

```

```

1  #Datos para resolución Comarca Sierra Sur
2
3  param n:=11;
4  param C:=48;
5  param nr:=2;
6
7  param D:
8  →→1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11:=
9  1→0 59 46 47 53 30 17 22 12 30 11
10 2→59 0 23 12 13 34 52 45 56 29 49
11 3→46 23 0 19 37 35 31 25 34 36 79
12 4→47 12 19 0 24 22 39 32 43 18 37
13 5→53 13 37 24 0 40 57 51 61 23 42
14 6→30 34 35 22 40 0 20 13 23 18 19
15 7→17 52 31 39 57 20 0 6 5 38 21
16 8→22 45 25 32 51 13 6 0 10 31 16
17 9→12 56 34 43 61 23 5 10 0 42 22
18 10→30 29 36 18 23 18 38 31 42 0 20
19 11→11 49 79 37 42 19 21 16 22 20 0
20 ;
21
22
23 param d:=
24 2→→8
25 3→→4
26 4→→2
27 5→→1
28 6→→2
29 7→→2
30 8→→9
31 9→→5
32 10→→2
33 11→→3;

```

```

1  #Datos para resolución Comarca Sierra Magina
2
3  param n:=18;
4  param C:=48;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  →→1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18:=
9  1 →0  43  45  67  75  32  39  30  41  11  49  36  53  79  20  42  17  32
10 2 →43  0  13  35  43  51  60  51  14  46  46  7  23  48  23  64  32  11
11 3 →45  13  0  22  30  50  62  53  8  48  33  9  10  37  25  66  33  23
12 4 →67  35  22  0  18  32  57  45  29  66  14  30  20  46  47  60  55  44
13 5 →75  43  30  18  0  44  64  57  37  75  26  38  28  54  54  62  63  52
14 6 →32  51  50  32  44  0  25  16  49  31  18  45  49  75  28  28  20  40
15 7 →39  60  62  57  64  25  0  16  57  43  38  54  70  96  36  5  28  48
16 8 →30  51  53  45  57  16  16  0  48  31  30  45  62  87  28  19  19  39
17 9 →41  14  8  29  37  49  57  48  0  43  40  7  17  42  20  61  29  18
18 10 →11  46  48  66  75  31  43  31  43  0  36  33  50  76  16  32  8  27
19 11 →49  46  33  14  26  18  38  30  40  36  0  41  31  57  45  140  162  55
20 12 →36  7  9  30  38  45  54  45  7  33  41  0  17  43  17  58  25  15
21 13 →53  23  10  20  28  49  70  62  17  50  31  17  0  26  34  73  42  32
22 14 →79  48  37  46  54  75  96  87  42  76  57  43  26  0  61  99  69  58
23 15 →20  23  25  47  54  28  36  28  20  16  45  17  34  61  0  41  9  12
24 16 →42  64  66  60  62  28  5  19  61  32  140  58  73  99  41  0  32  52
25 17 →17  32  33  55  63  20  28  19  29  8  162  25  42  69  9  32  0  20
26 18 →32  11  23  44  52  40  48  39  18  27  55  15  32  58  12  52  20  0
27 ;
28
29
30 param d:=
31 2 →→1
32 3 →→1
33 4 →→1
34 5 →→1
35 6 →→1
36 7 →→1
37 8 →→1
38 9 →→1
39 10 →→2
40 11 →→2
41 12 →→1
42 13 →→4
43 14 →→1
44 15 →→4
45 16 →→1
46 17 →→1
47 18 →→1;

```

```

1  #Datos para resolución Comarca de La Campiña
2
3  param n:=18;
4  param C:=48;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  →→1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18:=
9  1→0  42  36  45  32  33  35  17  37  31  53  52  29  43  39  18  40  27
10 2→42  0  15  10  19  23  21  26  35  11  24  11  26  26  41  40  15  29
11 3→36  15  0  8  22  9  24  20  24  9  17  22  30  15  30  26  18  15
12 4→45  10  8  0  26  16  28  28  25  17  14  14  33  16  31  33  22  22
13 5→32  19  22  26  0  31  9  27  46  13  39  29  8  37  52  46  5  36
14 6→33  23  9  16  31  0  33  18  20  18  25  30  38  23  24  17  27  6
15 7→35  21  24  28  9  33  0  30  49  15  41  31  10  39  54  49  7  39
16 8→17  26  20  28  27  18  30  0  33  15  37  36  35  35  37  20  24  13
17 9→37  35  24  25  46  20  49  33  0  33  22  38  54  11  6  19  43  20
18 10→31  11  9  17  13  18  15  15  33  0  25  21  20  24  39  34  9  23
19 11→53  24  17  14  39  25  41  37  22  25  0  17  45  11  27  34  34  30
20 12→52  11  22  14  29  30  31  36  38  21  17  0  36  27  44  46  25  35
21 13→29  26  30  33  8  38  10  35  54  20  45  36  0  44  59  39  12  44
22 14→43  26  15  16  37  23  39  35  11  24  11  27  44  0  16  25  33  24
23 15→39  41  30  31  52  24  54  37  6  39  27  44  59  16  0  21  48  24
24 16→18  40  26  33  46  17  49  20  19  34  34  46  39  25  21  0  44  11
25 17→40  15  18  22  5  27  7  24  43  9  34  25  12  33  48  44  0  32
26 18→27  29  15  22  36  6  39  13  20  23  30  35  44  24  24  11  32  0
27 ;
28
29
30 param d:=
31 2→→13
32 3→→2
33 4→→2
34 5→→1
35 6→→1
36 7→→1
37 8→→1
38 9→→1
39 10→→1
40 11→→2
41 12→→3
42 13→→4
43 14→→3
44 15→→1
45 16→→5
46 17→→2
47 18→→1;

```

```

1  #Datos para resolución Comarca La Loma y Las Villas
2
3  param n:=15;
4  param C:=48;
5  param nr:=1;
6
7  param D:
8  →→1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15:=
9  1 →0  48  44  56  50  99  45  55  66  40  66  58  87  98  26
10 2 →48  0  7  10  5  52  8  8  19  17  19  11  40  51  32
11 3 →44  7  0  12  6  59  2  14  26  11  26  18  47  58  28
12 4 →56  10  12  0  6  52  13  2  20  22  19  12  40  51  40
13 5 →50  5  6  6  0  56  7  8  23  16  23  15  44  55  34
14 6 →99  52  59  52  56  0  59  50  38  69  34  43  12  8  83
15 7 →45  8  2  13  7  59  0  14  26  10  26  18  48  59  30
16 8 →55  8  14  2  8  50  14  0  18  24  17  11  39  50  40
17 9 →66  19  26  20  23  38  26  18  0  36  6  10  26  37  50
18 10 →40  17  11  22  16  69  10  24  36  0  36  28  57  68  24
19 11 →66  19  26  19  23  34  26  17  6  36  0  11  22  33  51
20 12 →58  11  18  12  15  43  18  11  10  28  11  0  30  41  42
21 13 →87  40  47  40  44  12  48  39  26  57  22  30  0  11  72
22 14 →98  51  58  51  55  8  59  50  37  68  33  41  11  0  82
23 15 →26  32  28  40  34  83  30  40  50  24  51  42  72  82  0
24 ;
25
26
27 param d:=
28 2 →→6
29 3 →→2
30 4 →→1
31 5 →→1
32 6 →→1
33 7 →→1
34 8 →→2
35 9 →→2
36 10 →→1
37 11 →→3
38 12 →→12
39 13 →→4
40 14 →→3
41 15 →→2;

```

```

1  #Datos para resolución El Condado / Comarca Norte / Linares
2
3  param n:=18;
4  param C:=48;
5  param nr:=2;
6
7  param D:
8  →→→1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18:=
9  1 →0 105 71 40 49 60 66 101 114 53 36 48 113 83 78 96 109 69
10 2 →105 0 58 66 60 45 40 91 83 53 77 63 79 70 29 84 93 51
11 3 →71 58 0 36 39 26 22 33 45 32 38 24 44 11 30 25 41 13
12 4 →40 66 36 0 10 21 27 69 82 13 17 13 81 48 37 62 77 33
13 5 →49 60 39 10 0 16 22 72 84 9 26 17 83 50 32 64 80 34
14 6 →60 45 26 21 16 0 7 59 72 8 35 20 71 38 17 52 67 19
15 7 →66 40 22 27 22 7 0 55 67 14 40 25 66 33 11 47 63 15
16 8 →101 91 33 69 72 59 55 0 13 66 72 57 12 23 63 9 9 46
17 9 →114 83 45 82 84 72 67 13 0 77 83 69 12 34 75 21 10 58
18 10 →53 53 32 13 9 8 14 66 77 0 28 13 77 44 24 58 73 26
19 11 →36 77 38 17 26 35 40 72 83 28 0 14 82 50 49 64 79 35
20 12 →48 63 24 13 17 20 25 57 69 13 14 0 68 35 34 49 65 21
21 13 →113 79 44 81 83 71 66 12 12 77 82 68 0 33 73 20 19 57
22 14 →83 70 11 48 50 38 33 23 34 44 50 35 33 0 41 14 30 24
23 15 →78 29 30 37 32 17 11 63 75 24 49 34 73 41 0 55 71 23
24 16 →96 84 25 62 64 52 47 9 21 58 64 49 20 14 55 0 16 38
25 17 →109 93 41 77 80 67 63 9 10 73 79 65 19 30 71 16 0 53
26 18 →69 51 13 33 34 19 15 46 58 26 35 21 57 24 23 38 53 0
27 ;
28
29
30 param d:=
31 2→→→1
32 3→→→1
33 4→→→6
34 5→→→1
35 6→→→1
36 7→→→6
37 8→→→2
38 9→→→1
39 10→→→1
40 11→→→1
41 12→→→20
42 13→→→1
43 14→→→2
44 15→→→1
45 16→→→2
46 17→→→1
47 18→→→2;

```