



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA EN UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO

AUTOR: MARÍA LACÁRCEL MARTÍNEZ

TUTOR: VICENT GINER BOSCH

Selección: MARÍA DEL CARMEN BAS CERDÀ

Curso Académico: 2014-15

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar el presente trabajo agradeciendo a mis tutores Vicent Gin er y María del Carmen Bas l o m ucho q ue h e p odido a prender d e e llos. Agradezco al p rofesor Alejandro Rodríguez, del Departamento de Organización de Empresas de la Universitat Politècnica de València, la a yuda p restada al d arnos a cceso al código fuente d e s u i mplementación d el algoritmo de Clarke-Wright.

También deseo agradecer a Juan Muñoz, a Mayte Antequera y a todo el departamento de logística de V ossloh E spaña e l ap oyo y la a tención p restadas, muy especialmente a mis compañeros, y amigos, de subcontratación.

Asimismo, expreso mi más p rofundo a gradecimiento p ara aq uellos q ue, d e u na m anera indirecta, han colaborado en la elaboración de este trabajo haciéndome pasar por esta etapa de la mejor de las maneras posibles. Me refiero a Lucía, Carmen, Susana, Paula, Carla, Sara, Marcelo, compañeros de la universidad etc.

Por último, agradezco a mis abuelos, tíos y, por supuesto, a mi madre, mi padre, al “ tete” y Belén todo su apoyo.

RESUMEN

El transporte ha desempeñado un papel de vital importancia en la historia del desarrollo económico y cultural de toda la sociedad. En los últimos años, este sector ha ido cobrando un mayor protagonismo, sobre todo en los países industrializados, donde se ha convertido en una actividad fundamental.

Desde un punto de vista empresarial, los costes de transporte ocupan una posición muy importante dentro de los costes globales. Es por ello por lo que optimizar este sector puede aportar grandes ventajas económicas y mejoraría tanto la competitividad como la rentabilidad de las empresas.

En el presente trabajo se muestra una propuesta de mejora de la cadena de suministro de materia prima en la empresa Vossloh España. Se realiza una comparación económica y operativa con la cadena de abastecimiento actual, durante el periodo de estudio, con el fin de optimizarla. Este estudio forma parte de un programa de calidad interno de la compañía denominado "GO 500" en el que se pretende aumentar la rentabilidad de las empresas optimizando algunos de sus sectores, entre los que se encuentra el sector del transporte.

En este trabajo se resolverá un problema de rutas mediante la aplicación de la metodología "Milk run" a un conjunto de proveedores locales en un período de tiempo de un año (2014). Para ello, se utilizará el algoritmo heurístico de Clarke-Wright. Dicho algoritmo se ha modificado para adaptarlo al lenguaje de programación utilizado (Visual Basic for Applications – VBA) y adecuarlo a las necesidades reales de la empresa.

Como resultado se obtiene una secuencia de rutas preestablecidas para cada semana, donde se indican la secuencia de proveedores a visitar, la carga a transportar, la distancia total recorrida y el precio total de todas las rutas de la semana en cuestión. Será con dicho precio total con el que se realizará un estudio de rentabilidad de la propuesta de mejora.

Palabras Clave: Logística, Optimización, transporte, cadena de abastecimiento, problema de rutas, Milk run.

RESUM

El transport ha exercit un paper de vital importància en la història del desenvolupament econòmic i cultural de tota la societat. En els últims anys, aquest sector ha anat cobrant un major protagonisme, sobretot en els països industrialitzats, on s'ha convertit en una activitat fonamental.

Des d'un punt de vista empresarial, els costos del transport ocupen una posició molt important dins dels costos globals. Per aquest motiu, optimitzar el sector del transport pot aportar grans avantatges econòmics i milloraria tant la competitivitat com la rendibilitat de les empreses.

En el present treball es mostra una proposta de millora de la cadena de subministrament de matèria primera en l'empresa Vossloh España. Es realitza una comparació econòmica i operativa amb la cadena de proveïment actual, durant el període d'estudi, amb la finalitat d'optimitzar-la. Aquest estudi forma part d'un programa de qualitat intern de la companyia denominat "GO 5 00" en el qual es pretén augmentar la rendibilitat de les empreses optimitzant alguns dels seus sectors, entre els quals es troba el sector del transport.

En aquest treball es resoldrà un problema de rutes mitjançant l'aplicació de la metodologia "Milk run" a un conjunt de proveïdors locals en un període de temps d'un any (2014). Per aconseguir-ho, s'utilitzarà l'algoritme heurístic de Clarke-Wright. Aquest algoritme s'ha modificat per adaptar-lo al llenguatge de programació utilitzat (Visual Basic for Applications – VBA) i adequar-lo a les necessitats reals de l'empresa.

Com a resultat s'obté una seqüència de rutes preestablertes per a cada setmana, on s'indiquen la seqüència de proveïdors a visitar, la càrrega a transportar, la distància total recorreguda i el preu total de totes les rutes de la setmana en qüestió. Serà amb aquest preu total amb el qual es realitzarà un estudi de rendibilitat de la proposta de millora.

Paraules clau: Logística, optimització, transport, cadena de proveïment, problema de rutes, Milk run.

ABSTRACT

Transport has played a vital role in the history of the economic and cultural development of the whole society. In the last years, this particular sector has become one of the principal, especially in industrialized countries, where it has become a key activity.

From a business point of view, the transport costs have a very important position in the overall costs. This is why optimizing this activity can bring great economic benefits and can also improve both the competitiveness and the profitability of the companies.

This work shows a proposal of improvement of the supply chain of raw material in Vossloh España Company. An economic and operational comparison with the current supply chain during the study period is performed in order to optimize it. This study is part of an internal quality program named "GO 500" which intends to increase the company's profitability by optimizing some of its work areas, one of them being the transport area.

In this work, a routing problem is solved applying the "Milk run" methodology to a set of local suppliers in a one-year period (2014). To this end, Clarke & Wright's heuristic algorithm is used, which has been modified and adapted to the programming language being used (Visual Basic for Applications – VBA) and to the real needs of the company.

As a result, a sequence of paths are obtained for each week, containing a list of providers, the load to be transported, the total distance to be travelled and the total cost. From this estimated costs, a study on the profitability of our proposal can be made.

Key words: Logistics, optimization, transportation, supply chain, routing problems, Milk run.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

Memoria

Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA.....	14
4. ANTECEDENTES.....	15
4.1. Sistema ferroviario.....	15
4.1.1. Orígenes de la logística.....	16
4.1.2. Definición de logística.....	18
4.2. Vossloh España S.A.....	19
4.2.1. Cadena de abastecimiento actual.....	21
4.3. Problemas de rutas de vehículos.....	22
4.3.1. Origen de los problemas de transporte.....	22
4.3.2. La red de transporte.....	23
4.3.3. Descripción de los problemas de ruteo de vehículos.....	26
4.3.4. Importancia de los problemas de rutas.....	26
4.3.5. Modelos básicos de problemas de rutas.....	27
4.3.6. Resolución de problemas de rutas.....	30
4.4. Metodología “Milk run”.....	31
4.4.1. Definiciones básicas del proceso de abastecimiento Milk run.....	31
4.4.2. Descripción del proceso “Milk run”.....	33
4.5. Metodología de solución propuesta.....	34
5. PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL “MILK RUN”.....	36
5.1. Datos.....	37
5.2. Metodología aplicada.....	40
5.3. Hipótesis planteadas.....	41
5.4. Diseño de ruta.....	48
5.4.1. Algoritmo empleado.....	48

5.4.2. Modificaciones realizadas al algoritmo.....	51
5.4.3. Rutas obtenidas y estudio económico.....	53
5.5. Modo de transporte.....	63
5.5.1. Vehículos de transporte.....	63
5.5.2. Indicaciones previas y posteriores a la carga y descarga.....	64
5.5.3. Carga y descarga.....	65
5.5.4. Aseguramiento de la carga	66
5.6. Concepto y límites de responsabilidad.....	67
6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	68
7. BIBLIOGRAFÍA.....	70
8. ANEXOS.....	81

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN.....	75
2. FACTORES A CONSIDERAR.....	75
3. ESTUDIO ECONÓMICO.....	75
3.1 Coste de la mano de obra.....	75
3.2 Equipos (software y hardware).....	78
3.3 Amortizaciones.....	79
3.4 Gastos generales.....	79
4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS (Memoria)

Figura 2.1. Relación cantidad/tiempo propia del “Milk run”.	
Fuente: www.mtmingenieros.com	12
Figura 4.1. El proceso logístico. Fuente: elaboración propia.....	18
Figura 4.2. El proceso logístico. Fuente: elaboración propia.....	19
Figura 4.3. Caldera “Cornish” taller Devis e hijos. Fuente: archivo de Vossloh España S.A.....	20
Figura 4.4. Placa característica Macosa. Fuente: archivo de Vossloh España S.A.....	20
Figura 4.5. Placa característica Alstom. Fuente: archivo de Vossloh España S.A.....	20
Figura 4.6. Placa característica Vossloh. archivo de Vossloh España S.A.....	21
Figura 4.7. “IcosianGame”. Fuente: www.puzzlemuseum.com	22
Figura 4.8. Los puentes de Königsberg. Fuente: Dürsteler (2004).....	23
Figura 4.9. Grafo sacado a partir de una red real. Fuente: www.routingmaps.es	24
Figura 4.10. Distancia real (derecha) y distancia Euclídea. Fuente: www.routingmaps.es	25
Figura 4.11. Problema del agente viajero. Fuente: elaboración propia.....	28
Figura 4.12. VRP de ida y vuelta. Fuente: Calviño (2011).....	29
Figura 4.13. Comparación entre entregas individuales y “Milk run”. Fuente: www.nipponexpress.com	32
Figura 4.14. Ejemplo de subcircuito. Fuente: elaboración propia.....	35
Figura 4.15. Principio de ahorro en el Método de Clarke-Wright. Fuente: Atoche (2011).....	36
Figura 5.1. Localización geográfica de los proveedores. Fuente: elaboración propia.....	37
Figura 5.2. Material grande. Fotografía: María Lacárcel.....	43
Figura 5.3. Material grande. Fotografía: María Lacárcel.....	43
Figura 5.4. Material de tamaño “corriente”. Fotografía: María Lacárcel.....	44
Figura 5.5. Distancia Vossloh España S.A. al proveedor 2 y viceversa. Fuente: elaboración propia.....	45
Figura 5.6. Distancia Vossloh España S.A. al proveedor 4 y viceversa. Fuente: elaboración propia.....	45
Figura 5.7. Distancia Vossloh España S.A. al proveedor 15 y viceversa. Fuente: elaboración propia.....	46
Figura 5.8. Esquema del algoritmo utilizado. Fuente: elaboración propia.....	50
Figura 5.9. Ejemplo de llamada a diferentes rutinas. Fuente: elaboración propia.....	51
Figura 5.10. Nueva restricción añadida para contemplar aquellos proveedores con carga nula. Fuente: elaboración propia.....	52
Figura 5.11. Nueva rutina encargada de mostrar la solución. Fuente: elaboración propia....	52
Figura 5.12. Parte del programa que muestra la nueva forma de leer los datos. Fuente: elaboración propia.....	52
Figura 5.13. Ruta 1 semana 1. Fuente: elaboración propia.....	53
Figura 5.14. Ruta 1 semana 2. Fuente: elaboración propia.....	54
Figura 5.15. Ruta 2 semana 2. Fuente: elaboración propia.....	55
Figura 5.16. Ruta 3 semana 2. Fuente: elaboración propia.....	55
Figura 5.17. Ruta 4 semana 2. Fuente: elaboración propia.....	56
Figura 5.18. Ruta 5 semana 2. Fuente: elaboración propia.....	56
Figura 5.19. Ruta 6 semana 2. Fuente: elaboración propia.....	57

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

Figura 5.20. Ruta 1 semana 5. Fuente: elaboración propia.....	58
Figura 5.21. Ruta 2 semana 5. Fuente: elaboración propia.....	58
Figura 5.22. Ruta 3 semana 5. Fuente: elaboración propia.....	59
Figura 5.23. Ruta 4 semana 5. Fuente: elaboración propia.....	59
Figura 5.24. Ruta 5 semana 5. Fuente: elaboración propia.....	60
Figura 5.25. Ruta 6 semana 5. Fuente: elaboración propia.....	60
Figura 5.26. Dimensiones de los camiones utilizados. Fuente: “Dimensiones de camiones” (2008).....	63
Figura 5.27. Dimensiones de un e uropalé. Fuente: www.paletsmadrid.com	63
Figura 5.28. Disposición de materiales en el palé. Fuente: “Manual de Seguridad” (2010)...	64
Figura 5.29. Carretillas elevadoras. Fuente. “Manual de Seguridad” (2010).....	65
Figura 5.30. Norma de uso de una carretilla elevadora. Fuente: “Manual de Seguridad” (2010).....	65
Figura 5.31. Modo de empleo de una carretilla elevadora. Fuente. “Manual de Seguridad” (2010).....	66

ÍNDICE DE TABLAS (Memoria)

Tabla 4.1. Evolución de los enfoques logísticos. Fuente: UNAD (2015).....	17
Tabla 4.2. Tipos de problemas de rutas. Fuente: Calviño (2011).....	25
Tabla 5.1. Proveedores considerados y su respectiva numeración. Fuente: elaboración propia.....	39
Tabla 5.2. Matriz distancia/tiempo de los distintos proveedores. Fuente: elaboración propia.	40
Tabla 5.3. Matriz de Ahorros o Savings. Fuente: elaboración propia.....	41
Tabla 5.4. Relación proveedor/número de palés.....	42
Tabla 5.5. Ejemplo número de palés de un proveedor determinado. Fuente : e elaboración propia.....	46
Tabla 5.6. Ejemplo de duplicación del proveedor. Fuente: elaboración propia.....	47
Tabla 5.7. Matriz Carga/Semana. Fuente: elaboración propia.....	47

ÍNDICE DE TABLAS (Presupuesto)

Tabla 1. Tiempo empleado en la realización del proyecto. Fuente: elaboración propia.....	76
Tabla 2. Precio de la mano de obra. Fuente: elaboración propia.....	76
Tabla 3. Cotización a la Seguridad Social. Fuente: elaboración propia.....	77
Tabla 4. Total mano de obra. Fuente: elaboración propia.....	78
Tabla 5. Equipos. Fuente: elaboración propia.....	78
Tabla 6. Amortización mensual. Fuente: elaboración propia.....	79
Tabla 7. Gastos generales. Fuente: elaboración propia.....	80
Tabla 8. Resumen. Fuente: elaboración propia.....	80

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

Competitividad, flexibilidad y eficiencia son algunas de las palabras clave que garantizan la sostenibilidad y rentabilidad de cualquier empresa. Aunque existen diversas formas de conseguir estos objetivos empresariales, se puede encontrar un nuevo desafío entre ellos: la ventaja económica.

El propósito de toda empresa es la optimización de sus actividades con el fin de conseguir un impacto económico positivo. Teniendo en cuenta que uno de los principales costes de las empresas subyace en el sector del transporte, resultaría de gran interés convertirlo en un foco de estudio para encontrar la manera de optimizarlo.

Es por ello por lo que en este trabajo se va a realizar un estudio, una modelización y resolución de un problema de optimización de rutas con el fin de obtener una propuesta de mejora de la cadena de abastecimiento de materia prima actualmente utilizada en la empresa Vossloh España S.A. Siendo ésta una empresa líder en su sector dedicada al diseño, fabricación y suministro de material ferroviario.

Hasta la fecha, son los distintos proveedores de materia prima los encargados de suministrar la mercancía por sus propios medios. Lo que se resume, entre otros aspectos, en un descontrol en las entregas, un ineficiente aprovechamiento del espacio de los camiones y un encarecimiento del producto.

En el presente trabajo se mejorarán notablemente los costes dedicados al sector del transporte mediante la aplicación de la metodología del "Milk run", que tiene como objetivo aprovisionar la cantidad de materiales adecuada en el momento oportuno consiguiendo así, la agilización del flujo de materiales. Para ello, se preestablece un circuito en el que un mismo camión recorre distintos proveedores y carga el material correspondiente, con lo que se resuelve el problema de aprovechamiento de espacio. Es decir, el "Milk run" es una propuesta de solución a los problemas de rutas.

Para aplicar dicha metodología, se empleará el método heurístico de Clarke-Wright que, si bien no proporciona una solución óptima, lo hace muy próxima a ella. Como resultado a la aplicación de este método conseguimos las rutas a seguir con la carga total correspondiente a cada una.

Los resultados obtenidos en este trabajo se contrastarán con la empresa para su futura implementación.

2. JUSTIFICACIÓN

Vossloh España es una empresa líder en el sector ferroviario que diseña y construye locomotoras y trenes para pasajeros. Uno de los departamentos que la forman es el de logística, encargado, fundamentalmente, del abastecimiento y transporte de materiales y mercadería.

De acuerdo con la literatura existente, con la implementación la metodología “Milk run” se pueden conseguir considerables mejoras en factores tan importantes como los costos de flete y la agilidad de recepción de los materiales.

Otra ventaja de la implementación de dicha metodología consiste en la reducción en los inventarios y en los costos relacionados con el mantenimiento al entregarse la cantidad apropiada en el momento necesario, además de una optimización del uso del espacio interno de la fábrica y una reducción del flujo del material. Véase la figura 2.1 en la que se muestra una reducción de la cantidad enviada y un aumento de la frecuencia de envío motivada por la programación de la producción de la empresa en cuestión (Luiz, 2010).

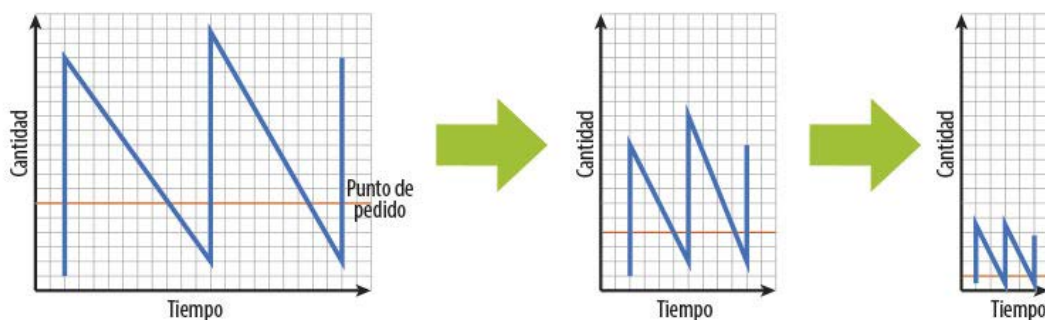


Figura 2.1. Relación cantidad/tiempo propia del “Milk run”. Fuente. <http://mtmingenieros.com>

El “Milk run” crearía un entorno que favorece a la implementación del sistema Just-In-Time entre la empresa y los proveedores con sus correspondientes ventajas:

- Minimización de las pérdidas por suministros obsoletos.
- Mejora en la planificación y precios.
- Obtención de un sistema flexible.
- Mejora en la productividad global.
- Mejora en problemas de calidad, coordinación y de proveedores no fiables.

Por todo ello, el presente trabajo trata de cubrir las necesidades propuestas por la empresa Vossloh España para la consecución de un proceso más eficaz, ágil, flexible y, en definitiva, rentable.

Mediante la realización de este proyecto se han puesto en práctica los conocimientos adquiridos en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia, con el fin de la obtención del título de Graduada en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

El proyecto ha sido desarrollado a requerimiento de la empresa Vossloh España, en el Departamento de Logística, dentro del marco del Convenio de Cooperación Educativa entre dicha empresa y la Universidad Politécnica de Valencia. Está directamente relacionado con el departamento de Planificación de la Producción, el de Compras y Gestión del Almacén.

La realización de este Proyecto ha permitido el acercamiento a la realidad profesional, la adquisición de experiencia en el sector ferroviario, y la ampliación de conocimientos en el campo de la rama de Organización Industrial.

3. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA

El objetivo principal del trabajo es optimizar los costes logísticos de aprovisionamiento entre distintos proveedores de la empresa Vossloh España S.A.

El objetivo general del trabajo se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el histórico de transporte durante el año 2014.
- Identificar y estudiar los proyectos e incursos durante el citado año, así como de los principales proveedores.
- Utilizar la potente herramienta informática SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos) para la obtención de datos.
- Adaptar la metodología "Milk run" a las demandas de la empresa.
- Diseñar las rutas a seguir mediante la aplicación de un algoritmo específico para este tipo de problemas.
- Comparar y validar los resultados obtenidos con la empresa.
- Proporcionar a la empresa una alternativa de transporte más rentable y competitiva que la utilizada hasta la fecha.

El trabajo se ha estructurado en siete capítulos y una sección donde se incluyen los anexos. Los capítulos se ordenarán de la siguiente manera:

En los tres primeros, se realizará una introducción, justificación y explicación de los objetivos del trabajo, lo que nos dará una visión global del mismo.

En el cuarto capítulo se explicarán los antecedentes del estudio, desde una introducción al sistema ferroviario y breve descripción de la empresa Vossloh España, hasta la explicación detallada de los problemas de rutas, la metodología "Milk run" empleada y el algoritmo utilizado para implantarla.

En el siguiente capítulo se detallará la obtención y el análisis de los datos utilizados, así como la adaptación realizada para poder aplicar el método escogido con sus correspondientes resultados y rutas obtenidas.

En el sexto capítulo se describirán las conclusiones a las que se ha llegado y los estudios futuros que podrían realizarse sobre el trabajo.

Seguidamente se presentan las referencias bibliográficas empleadas para la realización del trabajo.

Finalmente, se incluyen los anexos a la memoria, compuestos por las rutas obtenidas y las tablas con los datos utilizados.

4. ANTECEDENTES

4.1. Sistema Ferroviario

A lo largo de la historia, la humanidad ha hecho uso de su ingenio para desarrollar nuevas herramientas y técnicas que facilitan la vida cotidiana, uno de estos inventos fue el ferrocarril. Desde el siglo VI a.C. la idea de transportar mercancías sobre superficies que ayudaran a su traslado y estaba en la mente de las personas. En su comienzo consistía en unas hendiduras excavadas en la tierra por las que los esclavos empujaban la mercancía. Posteriormente, se sustituyeron esas hendiduras por vías de madera, pero fue en el s. XVIII cuando aparece el ferrocarril propiamente dicho cuyas vías se diseñaron de acero.

Este invento constituyó una verdadera revolución para el transporte terrestre, tanto de personas como de mercancías. Algunas de las ventajas más significativas con respecto a los sistemas de transporte existentes hasta la fecha son.

- Mayor velocidad.
- Mayor capacidad.
- Mayor seguridad y regularidad.
- Mayor trazabilidad.

Este nuevo sistema de transporte permitía, por tanto, el desplazamiento de grandes distancias a un coste reducido. También repercutió directamente sobre el flujo de información al permitir el traslado económico, fácil y cómodo de las personas.

Este progreso generado por el desarrollo de la técnica del transporte, y en especial la del ferrocarril, es el comienzo de un viaje hacia nuevos horizontes a nivel social, económico, político, tecnológico, etc.

El sistema de transporte ferroviario se encuentra constituido por el siguiente conjunto de subsistemas:

- Infraestructuras.
- Material rodante.
- Suministro de energía.
- Servicios. mantenimiento y explotación.
- Comunicación.
- Logística.

Es precisamente en este último subsistema en el que se centrará el siguiente trabajo.

4.1.1. Orígenes de la logística

Los orígenes de la logística se remontan al inicio de la humanidad, pues desde entonces, los primeros humanos gestionaban los alimentos recolectándolos durante las épocas cálidas y guardándolos en las cuevas para poder disponer de ellos en los fríos inviernos. No obstante, fue durante la primera y la segunda guerra mundial cuando la logística se definió como tal y comenzó a cobrar importancia.

El principio de la logística surge en el ámbito militar, donde la adquisición, transporte y gestión tanto de alimentos como de armas se vuelven actividades vitales para conseguir el éxito en el campo de batalla. Fue a partir de ese momento, cuando se observaron los resultados de aplicar dichas actividades logísticas y comenzaron a despertar el interés de la sociedad.

Pero la logística no se estancó en el área militar, sino que a partir de los años sesenta, con el auge y crecimiento de las empresas, las personas de negocios comenzaron a comprender la importancia de la misma. Un buen sistema de gestión podría permitir una reducción de inventarios y flujo de materiales, además de mejoras significativas en la rentabilidad de sus empresas si planeaban correctamente el sistema de distribución.

La década de los setenta se caracteriza por la mejora en las infraestructuras de transporte y comunicaciones (como la invención del telégrafo o del ferrocarril, explicado en el apartado 4.1) que, aunque contribuyeron a un importante progreso en el transporte de bienes, no pudieron evitar que el comercio siguiera siendo mayoritariamente local. Esto se debía al aumento significativo del precio de los productos si éstos se enviaban a otros lugares, sobre todo si se realizaba de manera continuada. Así es como surgió el “*problema logístico*”, que consistía en reducir costos de aprovisionamiento, almacenamiento y distribución de productos para conseguir una empresa más competitiva.

La solución a este problema se alcanza mejorando la red de transporte y comunicaciones, permitiendo así la comercialización de productos en el extranjero. Además, al poder disponer de un abanico mucho más amplio de posibles mercados, se inició la producción a gran escala.

A finales del s. XIX las industrias crecieron notablemente y, con ello, la necesidad de mejora en su sistema de gestión y organización, es decir, reaparece el “*problema logístico*” con un nuevo enfoque, esta vez, en el ámbito interno de la empresa.

No obstante, y a pesar de que tener un robusto sistema logístico ofrezca notorios resultados sobre la rentabilidad y eficacia de las empresas, la logística como tal no ha sido un área tan significativa como pudiera ser finanzas o ingeniería. El motivo subyace en que actividades como el suministro, manejo, almacenamiento o transporte de materiales no cambian la apariencia del producto final, pero sí agregan valor al mismo.

Las funciones logísticas tienen dos etapas claramente diferenciadas teniendo en cuenta su desarrollo histórico. La primera se inicia en 1950 y termina en 1964, llamada “Origen y una nueva dirección”. La segunda etapa se prolonga hasta 1979, conocida como “madurez”, ya que la empresa se concienta de la importancia de ella. A finales de esta misma década parece el concepto de *gestión de materiales*, desarrollado a partir de una situación de escasez y discontinuidad de los suministros, pero cuyo objetivo era el mismo: proporcionar un nivel de servicio con un costo mínimo (Olaya, 2009).

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

1950	<p>Descubrimiento del gran potencial de la logística integral y la concienciación de los costos totales.</p> <p>El enfoque de costo como estructura sistémica.</p> <p>Equilibrio costo-costo.</p>
1955	<p>La optimización del <i>servicio al cliente</i> a través de un mejor desempeño de la logística fue propuesto como estrategia para generar ganancias y lograr ventaja competitiva.</p> <p>Ahora se trataba del "equilibrio costo-servicio".</p>
1965	<p>La logística se centró en un nuevo recurso, el <i>outsourcing</i>.</p>
1970	<p>Interés en la integración de las operaciones logísticas de la empresa.</p> <p>La reducción del costo de la tecnología de información permitió a los gerentes concentrarse más en el mejoramiento de la calidad operativa.</p>
1985	<p>En esta etapa se modificaron las prácticas para el ordenamiento de pedidos.</p> <p>Los gerentes de logística comenzaron a medir y reportar el desempeño operativo en términos financieros.</p>
1995	<p>Se desarrollaron relaciones muy cercanas con los clientes, y se dio importancia a establecer alianzas con los proveedores. Se descubrió que en el enfoque de negocios había que reemplazar las actitudes de competencia por las de colaboración y cooperación a todo lo largo de la cadena de suministros.</p>
2000 en adelante	<p>Existe una clara conciencia de la necesidad de realizar una transformación en la administración para poder afrontar con éxito la administración logística de la cadena de suministros.</p>

Tabla 4.1. Evolución de los enfoques logísticos. Fuente: UNAD(2015).

4.1.2. Definición de logística

La logística se define por la RAE como “conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa o de un servicio”. La gestión logística “es el proceso de planificación, implementación y control del flujo y almacenamiento eficiente y económico de la materia prima, productos semiterminados y acabados, así como la información asociada” (Council of Logistic Management, 2015).

Según Franklin (2004), el objetivo principal de la logística es “colocar los productos adecuados (bienes y servicios) en el lugar adecuado, en el momento preciso y en las condiciones deseadas, contribuyendo lo máximo posible a la rentabilidad”. Es decir, satisfacer las expectativas del cliente en las mejores condiciones de calidad, servicio y costo.

Garantizar calidad al producto ofrece a la empresa una ventaja competitiva, realizarlo reduciendo los costes permite mejorar el margen de beneficio y conseguir un buen servicio evita sanciones.

Para conseguir un correcto y eficiente funcionamiento del sistema productivo, se deben entender las distintas actividades logísticas como un proceso global con un objetivo en común: dar valor al cliente. Por lo que no se debe caer en el error de considerar la logística una función aislada, sino una coordinación de diferentes actividades, tal como indica la figura 4.1.



Figura 4.1. El proceso logístico. Fuente: elaboración propia

La evolución de las actividades logísticas crece paralelamente al desarrollo económico del país, por lo que tienen un mayor auge en los países más industrializados. En la década de los 90, los costos

logísticos (transporte, almacenaje, administración...) representaron un gran porcentaje de los costos globales (variando entre un 7% y un 12%). Por lo tanto, cualquier proceso orientado a reducir dichos costos y mejorar su gestión se verá traducido en un aumento de la rentabilidad y competitividad de la empresa (Olaya, 2009).

Como puede observarse, la mayoría de definiciones coinciden en que la logística se ocupa de la gestión (entendiendo ésta como la planificación, implementación y el control) de los diferentes procesos iniciando en el suministro y almacenamiento de las materias primas y terminando en la distribución del producto que satisfaga las necesidades del consumidor. En el proceso se identifican dos elementos esenciales el producto y la información (Véase figura 4.2).

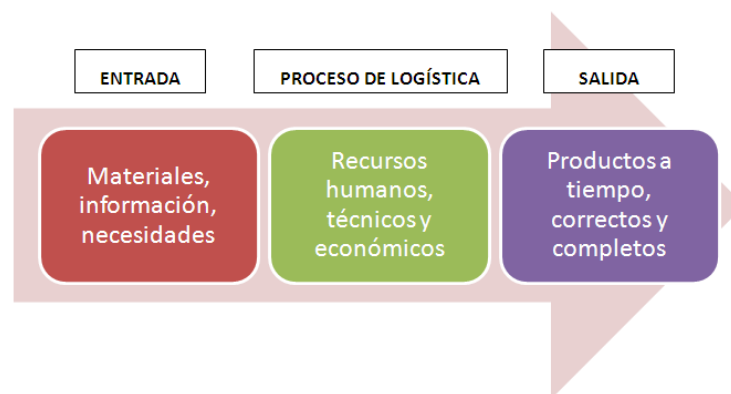


Figura 4.2. El proceso logístico. Fuente: elaboración propia

4.2. Vossloh España

Vossloh España S.A, localizada en Albuixech-Valencia, es una empresa líder en el sector ferroviario dedicada al diseño y construcción de locomotoras y trenes ligeros.

Su comienzo se remonta a 1891 con la fundación de la Empresa Talleres Devis, situada en la calle San Vicente de Valencia, que se dedicaba a la fabricación de calderas de vapor, y que en 1927 entró en el sector del ferrocarril suministrando hasta 1947 locomotoras eléctricas, automotores y tranvías.



Figura 4.3. Caldera "Cornish" taller Devis e hijos. Fuente: archivo de Vossloh España S.A.

La fusión en 1947 con la compañía catalana Material para Ferrocarril y Construcciones genera el nacimiento de Macosa, Material y Construcción, S.A., consolidando la actividad de Valencia como firma suministradora de material móvil ferroviario, si bien mantuvo una cierta diversificación en otras áreas de negocio como fueron las grúas portuarias y los productos hidráulicos.



Figura 4.4. Placa característica Macosa. Fuente: archivo de Vossloh España S.A.

En 1989, la compañía francesa ahora conocida como Alstom compró estas instalaciones junto a las de Atienza y La Maquinista Terrestre y Marítima. En 1997, se efectuó el traslado desde Valencia a la factoría De Albuixech.



Figura 4.5. Placa característica Alstom. Fuente: archivo de Vossloh España S.A.

Tal y como se indica en la historia de la empresa en la página web oficial (2015): “El 31 de marzo de 2005, Vossloh AG, una de las primeras firmas del sector ferroviario mundial, culminó el proceso de compra de este centro de ingeniería y producción que pasó a denominarse Vossloh España, S.A.”



Figura 4.6. Placa característica Vossloh. Fuente: archivo de Vossloh España S.A.

Esta decisión se basó en la estrategia a largo plazo de la compañía Vossloh, sociedad alemana que desarrolla sus actividades en los mercados de las infraestructuras ferroviarias, locomotoras y tecnologías de información, y que, por medio de su filial VosslohLocomotives, con sede en Kiel (Alemania), concibe, desarrolla y fabrica locomotoras diésel-hidráulicas, de potencia media y baja, habiéndose convertido en una empresa clave en este ámbito.

Con la adquisición de la factoría valenciana, que aporta gran conocimiento y tecnología en locomotoras diésel-eléctricas, consolida su papel de líder en el sector de las locomotoras diésel.

Vossloh, desde su fundación en 1888, está especializada en el transporte ferroviario, con sistemas de fijación de vía, desvíos y aparatos de vía; diseño y fabricación de locomotoras, cadenas de propulsión, componentes de tranvías y trolebuses; sistemas de información al viajero y sistemas de gestión de la explotación ferroviaria.

4.2.1. Cadena de abastecimiento actual

Actualmente, aunque el transporte de materia prima es planificado y controlado por los logísticos de la empresa, Vossloh contrata los medios y servicios de transporte. Además, este servicio no depende de una única empresa transportista, sino que son los distintos proveedores los que suministran los materiales con sus propios medios. Esto provoca un sistema de abastecimiento ineficiente que se ve reflejado principalmente en los costos de fleje y almacenamiento.

Los costos de fleje se verán afectados con la nueva propuesta de la metodología “Milk run” ya que, hasta ahora, han sido los proveedores los encargados de enviar el material desde sus instalaciones hasta la empresa. Este costo está dado por el tipo de vehículo utilizado, la distancia del proveedor y

la frecuencia mensual de entregas. Además, la superficie del camión no se aprovecha de manera óptima en cada viaje, habiendo mucho espacio sin ocupar.

El costo de almacenamiento también se verá afectado, pues ahora será la empresa quien, siguiendo su planificación de la producción, pactará con los proveedores la fecha y la cantidad recogida en lugar de ser ellos quienes nos suministren las cantidades y frecuencia que mejor les convenga para ahorrar costes (reducir el número de viajes, amoldando las entregas para aprovechar al máximo la capacidad del camión...). Todo ello trae consigo graves consecuencias tales como retrasos de entrega, penalizaciones, paradas en la fabricación... Como los problemas del sobrestock, limitación del espacio disponible (para almacenar nuevos productos o productos terminados), costes de mantenimiento, servicio, almacenaje, riesgo...

Por otra parte, el número y localización de proveedores es dispar, por lo que se van a buscar similitudes entre ellos con el fin de englobar operaciones y reducir tanto el número de operaciones innecesarias como de costes.

4.3. PROBLEMAS DE RUTAS DE VEHÍCULOS

4.3.1. Origen de los problemas de transporte

Los problemas de rutas de vehículos siempre han existido aunque de manera indirecta. Desde sus orígenes, la humanidad ha intentado encontrar los caminos más cortos para poder desplazarse de un sitio a otro, para cazar, transportar mercancías etc.

Los problemas de rutas sobre nodos tienen su origen en el siglo XIX cuando el irlandés W.R. Hamilton y el británico T. Kirkman inventaron el denominado "Icosian Game" (véase figura 4.7). Este juego consta de 20 puntos o nodos, y el objetivo es encontrar una ruta que los una (haciendo uso sólo de los caminos permitidos) y regresar al origen. Sin embargo, la finalidad de este juego no era encontrar el camino óptimo, sino en la búsqueda de un camino que visitase todos los nodos una única vez (años más tarde, este tipo de caminos o ciclos recibirían el nombre de Hamiltonianos en honor a W.R. Hamilton).



Figura 4.7. "Icosian Game". Fuente: www.puzzlemuseum.com

Los problemas de rutas sobre arcos se originan en el siglo XVIII, cuando los habitantes de Königsberg, un pequeño pueblo de la actual Rusia, se preguntaron si podría encontrarse alguna ruta capaz de recorrer todos los siete puentes que atravesaban el río Pregel una única vez y que terminara volviendo al origen. Este problema fue propuesto por el matemático suizo Leonhard Euler (Calviño, 2011).

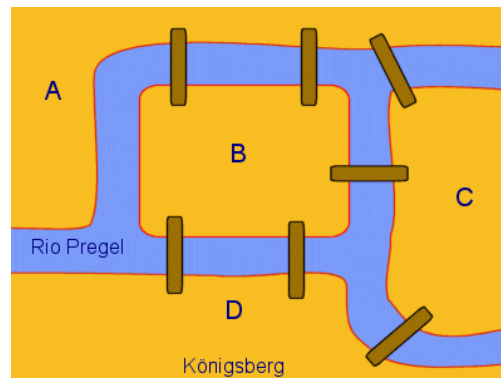


Figura 4.8. Los puentes de Königsberg. Fuente: Dürsteler (2004).

El problema de los puentes de Königsberg, al igual que sucede con el “Icosian Game”, se refiere exclusivamente a la existencia de un camino y no a la búsqueda del óptimo, que es la filosofía de los problemas de rutas. En sentido estricto, el primer problema con ese fin es el Problema del Cartero Chino (CPP), definido en 1962 por Meigu Guan. Este problema consiste en encontrar el camino más corto que visite todos los arcos del grafo al menos una vez. La solución propuesta por Guan consiste en añadir arcos de coste mínimo al grafo original.

Otro de los grandes problemas de arcos es el conocido como Problema del Cartero Rural (RPP). Este problema fue introducido por primera vez en el año 1974. Al igual que el CPP, su objetivo es encontrar un camino cuya distancia sea mínima, pero en este caso sin necesidad de recorrer todos los arcos.

Por último, se encuentra el problema de rutas con capacidades (CARP), introducido por Golden y Wong (1981). En este problema no sólo se calcula la ruta que minimice la distancia recorrida, sino que se añaden una serie de restricciones. a cada arco (v_i, v_j) del grafo se le asocia una cantidad no negativa Q_{ij} , que representa la demanda de cada uno de los clientes. Una flota m de vehículos con capacidad Q debe visitar todos los arcos repartiendo (o recogiendo) las cantidades correspondientes sin exceder nunca la cantidad Q (Calviño, 2011).

4.3.2. La red de transporte

Se entiende como red de transporte al “conjunto de infraestructuras y vehículos usados para transportar personas y bienes entre diferentes áreas geográficas” (kioskea.net, 2015) y nacen por la necesidad de transportar y conectar bienes. Su principal propósito es pues, la creación de un medio de comunicación ya sea entre personas o empresas (proveedor y clientes).

Como se ha indicado en su definición, no existe una única red de transporte, sino que ésta depende de la infraestructura y del medio empleado, pudiendo realizarse la distribución por transporte aéreo, marítimo, por carretera etc. Su importancia empresarial recae en su íntima relación con los costes de distribución de la mercancía así como en la planificación y organización de la cadena de abastecimiento de la empresa en cuestión.

Es posible estudiarlas desde de la Teoría de Grafos con resultados de sencilla interpretación y con posibilidades de aplicación en el ámbito de la planificación.

Se entiende por grafo al “término matemático utilizado para designar a un conjunto de puntos unidos entre sí por segmentos, que pueden representar un proceso o relación funcional de cualquier tipo, pero centra su atención en las relaciones topológicas entre sus elementos” (Cardozo et al., 2009). La Teoría de Grafos permite asociar a redes de transporte una estructura sencilla pero abstracta de nodos y arcos conectados, ya que sus elementos pueden asociarse fácilmente a objetos geográficos de la vida real. De esta forma los nodos pueden representar proveedores, clientes, ciudades... De igual manera, los arcos que conectan a los anteriores son asimilables a carreteras, calles, rutas etc. Donde se mueven flujos de personas, mercaderías, información, materia etc. (Rodríguez, 2012).

En la figura 4.9 se muestra el grafo creado a partir de una red real:



Figura 4.9. Grafo sacado a partir de una red real. Fuente: www.routingmaps.es.

No obstante, esto es una simplificación de la realidad pues se asume que las distancias entre cada par de puntos son líneas rectas, lo que se conoce como distancias euclídeas, las cuales se alejan notablemente de la realidad tal y como podemos apreciar en la figura 4.9 (a la izquierda y en rojo observamos las distancias euclídeas entre distintos puntos y a la derecha en azul las distancias reales).

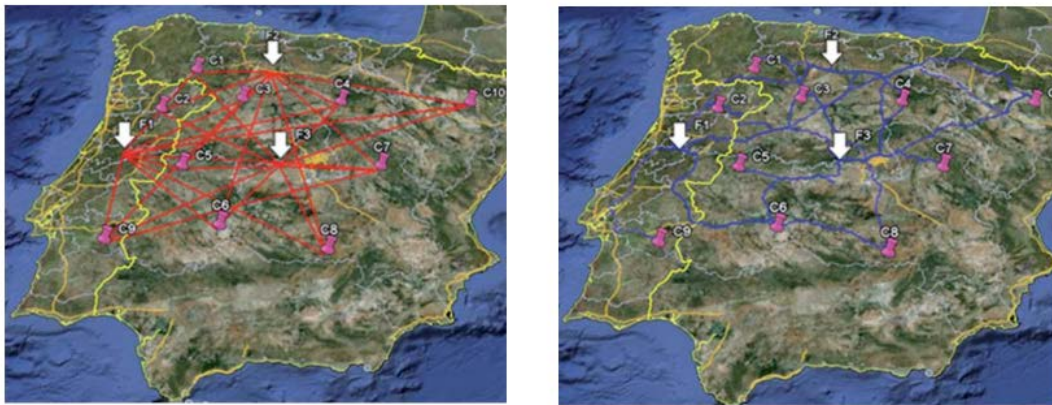


Figura 4.10. Distancia real (derecha) y distancia Euclídea (izquierda). Fuente: www.routingmaps.es.

Los tipos de problemas de rutas más importantes se muestran en la tabla 4.2:

Demanda	Restricciones de capacidad	Nombre habitual del problema	Otras restricciones
Nodos	NO	Viajante de Comercio TSP	
	SÍ	Problema de rutas de vehículos VRP	Recogida/distribución
Arcos	NO	Una componente conexa (Problema del Cartero chino CPP)	Ventanas de tiempo
		Varias componentes conexas (Problema del Cartero ruta RPP)	Otras
	SÍ	Problema de rutas con capacidades CARP	

Tabla 4.2. Tipos de problemas de rutas. Fuente: Calviño (2011)

Como se puede observar en el cuadro, existen dos grandes tipos de problemas de rutas según los clientes se encuentren sobre los nodos o sobre los arcos. En el primero de los casos, la ruta óptima a determinar debe visitar todos los nodos, mientras que, en el segundo, se deben recorrer todos los arcos del grafo que define el problema. En otras palabras, en los problemas sobre los nodos se entiende que cada cliente está representado por un nodo mientras que en los problemas sobre los arcos se entiende que los arcos son calles que deben ser visitadas.

4.3.3. Descripción de los problemas de ruteo de vehículos

El problema de ruteo de vehículos (**Vehicle Routing Problem -VRP**) es el resultado de la unión de dos populares tipos de problemas de optimización combinatoria. El primero de ellos, el problema del agente viajero (**Travelling Salesman Problem -TSP**) en el que se considera la capacidad del vehículo como infinita. El segundo, el problema de empaquetamiento en compartimentos (**Bin Packing Problem -BPP**).

El origen del estudio de los problemas VRP radica en su importante impacto sobre el costo de transporte y en el nivel de servicio al cliente.

De manera general, en un problema de ruteo se tienen un conjunto de clientes geográficamente dispersos y una flota de vehículos cuya capacidad es limitada. El objetivo principal de este tipo de problemas consiste en encontrar un recorrido que visite los nodos y regrese al punto de partida minimizando la distancia o tiempo total empleado. Como resultado se obtienen K rutas de cada vehículo que visitan a un set de clientes, comenzando y terminando en el mismo nodo y cuya capacidad no excede a la máxima considerada.

En este tipo de problemas son las restricciones o reglas de factibilidad que deben cumplir las rutas las que los caracterizan, tales como:

- Demanda de cada cliente.
- Cantidad y capacidad de vehículos disponibles. La empresa en cuestión puede contar con una flota de vehículos homogénea o heterogénea. Además, los clientes pueden poner determinadas restricciones sobre dichos vehículos, bien sea por problemas de accesibilidad o por la dificultad a la hora de realizar maniobras.

Los principales objetivos son, pues:

- Minimizar la distancia total recorrida o tiempo de transporte.
- Minimizar el número de vehículos utilizados.

Con todo esto, los parámetros básicos son:

V = número de proveedores.

M = número de vehículos $1 \leq K \leq M$

C_{ij} = Costo directo de transportar del punto i al j ($C_{ij} = C_{ji}$)

$X = (X_{ijk})$, de tamaño $N \times N \times M$, donde las variables binarias X_{ijk} indican si el arco (i, j) se utiliza en la solución para ser visitado por k .

4.3.4. Importancia de los problemas de rutas

En las últimas décadas, el sector del transporte ha ido ganando protagonismo en los países industrializados, en los que ha pasado a formar parte de una actividad elemental desde el punto de vista económico y social.

Según Ministerio de Fomento (2005), “El transporte de viajeros y mercancías en España es un sector económico de una enorme y creciente importancia estratégica para la industria, el comercio y la movilidad de las personas. Un sector del transporte fuerte, abierto y competitivo puede ser un instrumento clave para evitar que España se convierta en un mero destino turístico, para retener la actividad económica y generar otras nuevas en una Europa que tiende a tornarse importadora de las mercancías producidas en terceros países, especialmente en China y extremo Oriente. Para que, en suma, España pueda aprovechar sus bazas como plataforma logística internacional.”.

Además remarca la notable importancia económica y estratégica de este sector en España:

“El sector del transporte en España representaba en el año 2000 un 5,6% (28.010 millones de Euros) del valor añadido bruto de la economía en precios constantes de 1995. Según datos del Ministerio de Fomento, ocupaba en 2001 a 965.400 personas (de ellos, 765.000 asalariados), que suponían el 5,9% del total de la población ocupada. En la Unión Europea de los 15, el transporte (incluyendo el ejercido por cuenta propia) supone aproximadamente el 5% del valor añadido bruto y emplea a unos 6 millones de personas (el 4% de la población ocupada).”

En el caso del transporte por carretera, que es el que abarca este estudio, se obtiene que en el año 2008 este determinado tipo de transporte constituyó el 83% de las toneladas/kilómetro transportadas, tal como indican Frías (2006) y Fomento (2010).

De todo esto se puede deducir que una optimización de los problemas de rutas tiene un gran impacto en la economía, y por tanto en la competitividad y sostenibilidad, de la empresa

4.3.5. Modelos básicos de problemas de rutas

El modelo elemental de los problemas de rutas es el conocido *Problema del Agente Viajero (TSP)*. El **TSP** constituye uno de los problemas más famosos en el campo de la optimización combinatoria y ha servido como base para formular otros problemas más complejos (Daza et al., 2009).

Consiste en localizar la manera de conectar los distintos puntos mediante una ruta que minimice la distancia o tiempo total y que, además, el punto de partida coincida con el de llegada.

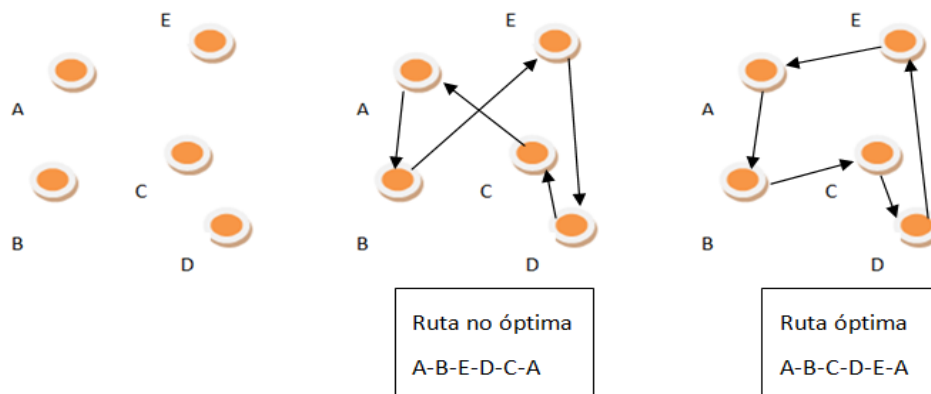


Figura 4.11. Problema del agente viajero. Fuente:elaboración propia.

El problema puede formularse matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Min} \sum_{(ij) \in E} C_{ij} X_{ij} \quad (1.1)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (1.2)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (1.3)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i)/S} X_{ij} \geq 1 \quad \forall S \in V \quad (1.4)$$

Donde la función objetivo (1.1) muestra que la finalidad del problema es conseguir una ruta cuyo coste sea mínimo, entendiendo como coste total a la suma de todos los costes de los arcos utilizados. Las restricciones 1.2 y 1.3 señalan que se debe entrar y salir de cada nodo exactamente una vez. Por último, la restricción 1.4 es la denominada restricción de *eliminación de sub-tours* (explicado en el apartado 4.5.).

A partir de este tipo de problema y, añadiendo las restricciones pertinentes, se pueden obtener el resto de problemas de rutas, algunos ejemplos son:

- VRP CON CAPACIDAD LIMITADA(CVRP)

El objetivo de este problema (**Capacitated Vehicle Routing Problem - CVRP**) es el mismo que en el **TSP** pero debemos añadir la restricción de la capacidad. la suma de las demandas de las ciudades que se visitan en cada ruta no puede exceder la capacidad del vehículo, que es igual para todos ellos.

Consiste en el problema tipo que encaja con el problema a resolver en este trabajo.

- **PROBLEMA DE M AGENTES VIAJEROS M-TSP**

Este problema es una extensión del TSP en la que se tienen un depósito y m vehículos. El objetivo es conseguir que cada cliente sea visitado una vez por uno de los m vehículos disponibles, para ello se construirán exactamente m rutas. Además, tal y como sucedía con el TSP, el origen y el final de cada ruta deben coincidir y puede contener a lo sumo P clientes (determinado mediante la solución del VRP).

- **VRP CON VENTANAS DE TIEMPO**

El VRP con ventanas de tiempo (**Vehicle Routing Problem with Time Windows -VRPTW**) es una variante del problema anterior en el que se añade la restricción de que las entregas a los clientes se deben hacer en unos intervalos de tiempo precisos, llamados ventanas de tiempo. Por tanto, no sólo bastará con saber las demandas de los clientes y las distancias entre ellos, sino que también será necesario conocer el tiempo empleado para viajar de un cliente a otro, el tiempo dedicado al servicio y el horario de los mismos.

- **VRP DE IDA Y VUELTA**

En este particular problema se dividen los clientes en dos subconjuntos. Uno de ellos contiene n clientes “de ida” (en inglés *linehaul*) para los que una cantidad de producto debe ser distribuida. El otro, B , contiene m clientes “de vuelta” (en inglés *backhauls*) para los que una cantidad de producto debe ser recogida. Los clientes se numeran de manera que $L = \{1, \dots, n\}$ y $B = \{n + 1, \dots, n + m\}$. En estos problemas los clientes están relacionados entre ellos. siempre que una ruta contenga los dos tipos de clientes, los *linehaul* deben ser servidos antes que los *backhaul*.

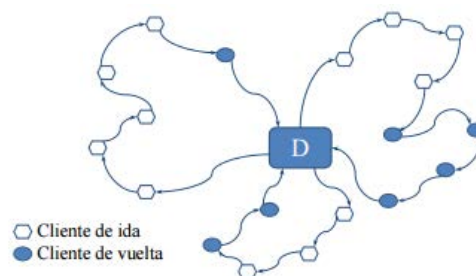


Figura 4.12. VRP de ida y vuelta. Fuente: Calviño (2011).

Por lo tanto, El VRPB consiste en encontrar K circuitos de mínimo coste tales que:

- Cada circuito visite el depósito.
- Cada cliente sea visitado por un único circuito.
- La demanda total de los clientes linehaul y backhaul visitados en cada circuito no supere, de forma separada, la capacidad C del vehículo.
- En cada circuito, los clientes linehaul preceden a los clientes backhaul.

4.3.6. Resolución de problemas de rutas

A la hora de realizar un diseño de rutas, disponemos de tres tipos de algoritmos:

- Heurísticos o de primera generación.
- Aproximación por programación matemática o de segunda generación.
- Algoritmos robustos de aproximación matemática con interface frecuente con el tomador de decisiones o de tercera generación.

La evolución de la metodología es la siguiente:

Los algoritmos de primera generación denominados métodos heurísticos. Se entiende por heurística al “procedimiento simple que realiza una exploración limitada del espacio de búsqueda y da una solución de calidad más o menos aceptable en tiempo de cálculo moderado”. Dicho término está relacionado con “la tarea de resolver inteligentemente problemas reales usando el conocimiento disponible” (Narducci, 2005).

Lo que diferencia este tipo de algoritmos de los denominados “exactos” es que los heurísticos se basan, fundamentalmente, en la intuición y no cuentan con una base matemática que los sostenga.

La mayoría de los problemas de ruteo de vehículos pertenecen a la clase de problema NP, ya que cualquier secuencia podría ser verificada en tiempo polinomial. La principal característica de este tipo de problemas es el rápido incremento del tiempo de cálculo necesario al aumentar el número de nodos a visitar. En un caso general se puede considerar que el número de rutas factibles es $(n - 1)!/2$, puesto que hay $(n - 1)$ posibilidades para la primera ciudad después de la ciudad de residencia del agente, $(n - 2)$ posibilidades para la siguiente ciudad y así sucesivamente. El denominador 2 surge porque cada ruta presenta una ruta inversa equivalente con la misma distancia (TSP simétrico, como es el caso de este trabajo) (Daza et al., 2009).

Es por ello por lo que no se utilizarán algoritmos exactos, los cuales ofrecen soluciones óptimas, ya que crecen exponencialmente. En su lugar se utilizarán algoritmos heurísticos, los cuales disminuyen significativamente el crecimiento polinómico a cambio de conseguir un tour cercano al óptimo.

El algoritmo de primera generación más representativo, y el usado en este trabajo, es el de **Clarke-Wright**, que ha perdurado debido a su flexibilidad para considerar restricciones de diversa naturaleza.

Además de los heurísticos, existen más tipos de algoritmos empleados para la resolución de problemas de rutas que no se basan únicamente en la intuición. Los denominados “de segunda generación” se caracterizan por hacer uso de la programación matemática para resolver el problema mediante la utilización de modelos que aproximan el problema de ruteo. Entre los más representativos encontramos el de Fisher-Jaikumar. Otro tipo de algoritmo empleado son los de “tercera generación”, estos algoritmos, al igual que los de segunda generación, se caracterizan por la aplicación de la programación pero más robusta que los anteriores para resolver una amplia gama de situaciones. Una forma de hacerlo es la utilización de enfoques interactivos a través de interfaces con el tomador de decisiones o del uso de la inteligencia artificial. De entre los más comercializados podemos mencionar el CAPS, el RoutePro y el Road Show.

4.4. Metodología “Milk run”

4.4.1. Definiciones básicas del proceso de abastecimiento “Milk run”

El término de “Milk run” como tal surge de los mensajeros que llevaban a cabo la recogida y entrega de botellas de leche. el lechero se encargaba de distribuir las botellas llenas de leche y, al mismo tiempo, recoger las botellas vacías.

Actualmente entendemos por “Milk run” al “sistema de métodos de abastecimiento que se implementa para minimizar los costos de envío y de almacenamiento. Milk-Run se puede resumir como la parada de una empresa de logística con el proveedor siguiendo una ruta similar en una fecha y hora definidas, de acuerdo con la orden específica para recoger los materiales necesarios a nombre de la empresa, en lugar de que cada proveedor haga los envíos diariamente. En el mismo vehículo, se recogen los materiales de diferentes empresas de acuerdo con el horario y las fechas de envío, los cuales se basan en el calendario de producción, de manera que lleguen a la fábrica cuando se les necesita, con la lógica de proveer los materiales justo a tiempo” (InformationTechnologyGroup, 2012).

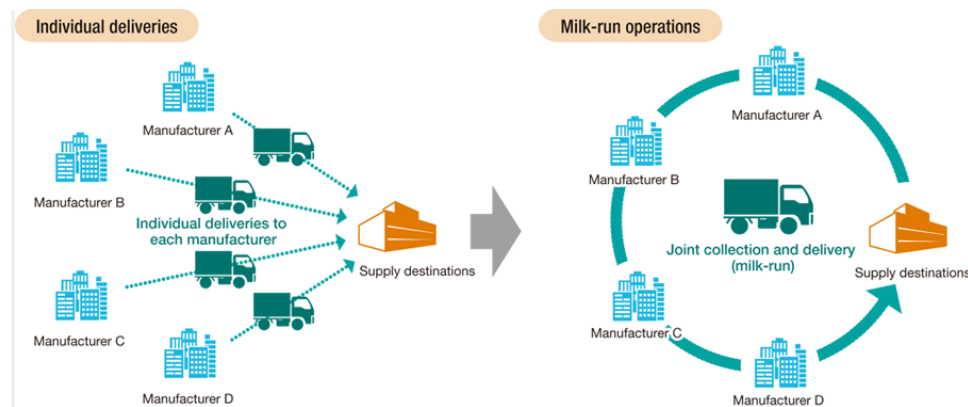


Figura 4.13. Comparación entre entregas individuales y “Milk run”. Fuente: www.nipponexpress.com

Los participantes principales que intervienen en el proceso son:

- Receptor o empresa a ser abastecida (en este caso Vossloh España).
- Proveedor o empresa abastecedora para el proceso productivo.
- *Route Manager*: es el chófer de los camiones. Su papel va más allá de ser un buen conductor, es quien realiza la ruta por lo que debe conocerla bien para detectar rápidamente cualquier problema que pueda surgir y actuar en consecuencia.
- Coordinador: Es la persona que es encargada del seguimiento permanente de los camiones, debe estar bien comunicado con el receptor y proveedor.
- Activador de piezas: persona del receptor que se dedica al seguimiento de la entrega de las piezas de los distintos proveedores.

Algunos conceptos a tener en cuenta en este sistema son:

Servicio de ambulancia: nombre que reciben los retiros, de volumen y peso moderados, no programados que se requieren de manera urgente por el receptor. Son pedidos extraordinarios que se hacen en vehículos de pequeño tamaño.

Diseño de rutas: cronograma detallado de recolección donde figura el recorrido que se va a realizar especificando el horario de entrada y salida de cada proveedor.

Listado de piezas: listado completo de las piezas a recolectar de cada proveedor.

Unidad equivalente: tamaño que ocupa un palé en el piso del camión. Una posición no utilizable es aquella en la que no puede cargarse quedando espacio vacío.

Ventana de retiro: fecha, hora y tolerancias acordadas previamente con el proveedor y receptor para que se retire el material.

Hoja de ruta: documento que describe la ruta a realizar. En ella se especifican los datos del chofer, del transporte, fecha de servicio y los horarios de ventana preestablecidos (Brignoni, 2006).

4.4.2. Descripción del proceso “Milk run”

El coordinador distribuye las Hojas de Ruta a cada *Route Manager* junto con el listado de piezas correspondientes. Antes de comenzar el recorrido, se cargan, si las hubiese, las piezas rechazadas por el receptor.

El *Route Manager* se dirige al primer proveedor de la ruta asignada y completa en la Hoja de Ruta la hora real de salida y llegada, en este paso es importante la firma del proveedor para validar la información. Existen unos plazos de entrega preacordados, si el *Route Manager* llega después de haber pasado dicho plazo, queda a criterio del proveedor si carga o no el material. En caso de no hacerlo, el coordinador y el proveedor acordarán un nuevo horario de retiro pudiendo usar, si procediera, la ambulancia.

Asimismo, si es el proveedor el que se retrasa a la hora de cargar y el coordinador decide no esperarse, será el proveedor el que se encargue del envío del material haciéndose responsable del costo del viaje.

Una vez llegue a su destino y, habiéndose cumplido las pautas anteriores, se realiza la carga de materiales. El chofer se encarga de controlar las cantidades comparando los remitos con las etiquetas y lo anota todo en el listado de piezas. Si existiera alguna diferencia entre lo que dice el remito y las etiquetas de las cajas, se debe pedir al proveedor la modificación de algunas de las dos cantidades y no deberá retirarse del lugar si existiera alguna diferencia en el código.

Además, el chofer debe estar atento a la carga de los materiales y los movimientos realizados para evitar cualquier responsabilidad futura sobre los mismos.

Terminado esto se dirige al próximo proveedor de su hoja de ruta y repite la misma operatoria. Comunica al coordinador cada movimiento que realiza y, cuando ha visitado al último proveedor, regresa a la planta del Receptor.

Los viajes de urgencia se realizan de manera análoga a los estándar, sólo se diferencia en la prioridad que se les debe dar y la clase de vehículo a utilizar.

Cuando se ha detectado un material crítico faltante o algún exceso de carga, el Receptor informa al Proveedor y éste decide si entregarlo por sus propios medios o mediante el servicio de ambulancia. En este último caso debe suministrarse la siguiente información:

- Nombre del proveedor.
- Código de la pieza.
- Responsable.
- Motivo del requerimiento.
- Cargo a cuenta de quien corresponda.

Los desvíos y viajes adicionales pueden ser indicadores de la necesidad del rediseño de las rutas, el coordinador será quien valore estas opciones (Brignoni, 2006).

4.5. Metodología de solución propuesta

La alternativa que se va a implementar para aplicar el "Milk run" al problema de rutas es una aproximación heurística, concretamente el método de Clarke-Wright, también conocido como el método de los ahorros o "savings".

El objetivo de este método es minimizar la distancia o tiempo total para satisfacer una demanda obteniendo soluciones que se acercan al 2% del óptimo. Este algoritmo tiene en cuenta restricciones de volumen, kilómetros, horas, accesibilidad... (Atoche, 2011).

El método se basa en una modelización lineal cuya representación matemática es la que se muestra a continuación:

Parámetros:

- n Número de clientes.
- C_{ij} Costo de visitar al cliente j después del cliente i .
- K Número de vehículos disponibles.
- k_0 Capacidad del vehículo.
- d_i Demanda del cliente.

VARIABLES:

$X_{ijk} = 1$ si el vehículo k visita j después de i , 0 en cualquier otro caso.

Función objetivo:

Restricciones:

- Entrar al cliente una vez (1)

$$\sum_{k=1, i=0, i \neq j}^{k, n} X_{ijk} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

- Salir del cliente una vez (2)

$$\sum_{k=1, i=0, i \neq j}^{k, n} X_{ijk} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

- Eliminación de subcircuitos (3)

$$\sum_{i, j \in S, k=1}^{k, n} X_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \in \{1, \dots, \}$$

Entendiendo como subcircuito a una ruta entre varios proveedores en la cual no se vuelve al origen y, por lo tanto, no es válida.

Siendo 1 la empresa cliente en cuestión y 2,3,4,5 los diferentes proveedores, cualquier ruta correcta debe comenzar y terminar por 1. Tal y como puede observarse en la figura 4.14, un subcircuito sería en este caso 2-3.

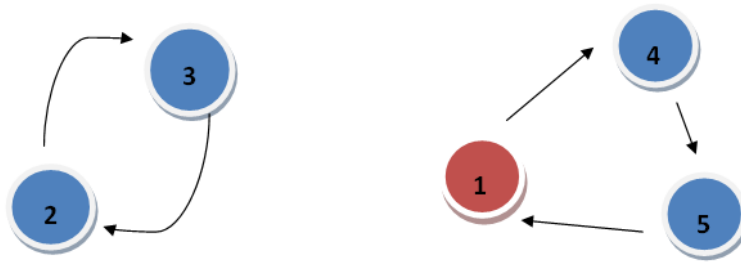


Figura 4.14. Ejemplo de subcircuito. Fuente: elaboración propia.

- **El vehículo que entra es el que sale**

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n X_{ijk} - \sum_{i=0, i \neq j}^n X_{jik} = 0 \quad \forall k = 1, \dots, k(4)$$
- **Cada vehículo sale del origen como máximo una vez**

$$\sum_{i=1}^n X_{0ik} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, k \quad (5)$$
- **Capacidad de los vehículos**

$$\sum_{i=1, j=1, i \neq j}^n X_{ijk} d_j \leq k_0 \quad \forall k = 1, \dots, k \quad (6)$$

La idea básica de este algoritmo es la de calcular los ahorros que resultan al combinar distintas rutas que se proponen separadas originalmente en una sola cuya distancia recorrida sea menor que las de las dos rutas originales. Gráficamente podría representarse como.

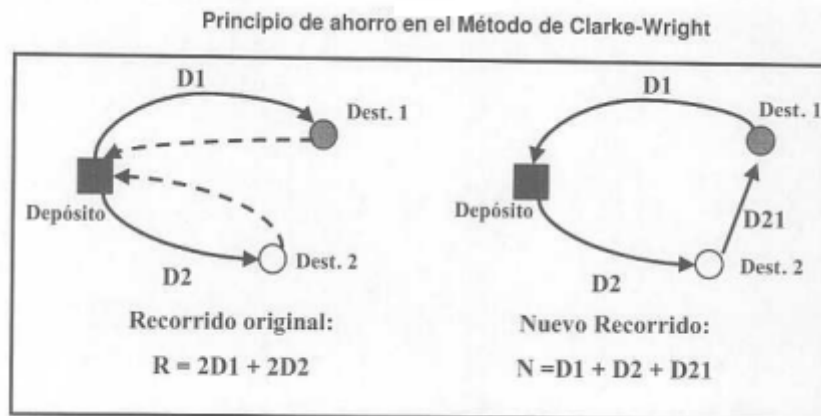


Figura 4.15. Principio de ahorro en el Método de Clarke-Wright. Fuente: Atoche (2011).

En la figura anterior puede apreciarse que el recorrido original está formado por dos rutas distintas (lo que equivale a dos medios de transporte diferentes) desde el depósito hasta cada uno de los destinos 1 y 2 (cuyas distancias son $D1$ y $D2$ respectivamente), por lo que la distancia total a recorrer sería:

- $R = D1 + D1 + D2 + D2 = 2D1 + 2D2$

(Si suponemos que las distancias son simétricas).

En la nueva ruta se viaja primero al destino 2 ($D2$) y, una vez allí, viaja al destino 1 ($D21$) y, finalmente regresar al depósito recorriendo una distancia $D1$. La distancia total de esta nueva ruta sería:

- $N = D2 + D21 + D1$

Esta nueva ruta, formada al combinar las dos originales, será adecuada siempre que el ahorro logrado respecto al diseño original no sea negativo. El ahorro se calcula como:

- $A = N - R = (D2 + D21 + D1) - (2D1 + 2D2) = D1 + D2 - D21$

De dónde se tiene el criterio para decidir si una combinación de rutas es adecuada:

- $A \geq 0$

5. PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN "MILK RUN"

En el siguiente apartado se describirá la metodología aplicada para la obtención de las diferentes rutas. Se definirá pues una alternativa "Milk run" que mejore la situación actual de abastecimiento a través de la reducción de los lotes de entrega y la utilización eficiente de los camiones.

- La distancia entre proveedores se ha obtenido introduciendo todas las posibles combinaciones de rutas en un geolocalizador.
- Mediante la transacción MN2N se pueden conocer todos los proveedores de los proyectos a los que nos referimos (Véase tabla 5.1), esta transacción nos dará, además, para cada proveedor todos los pedidos en un periodo de tiempo. **Nota:** por motivos de confidencialidad, en la tabla 5.1 se muestran los proveedores representados por la numeración empleada en la empresa (tal y como se muestra en el sistema operativo) y no por su nombre.

**Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector
metalmecánico**

PROVEEDORES	Numeración
9000070	1
9000081	2
9000102	3
9000151	4
9000221	5
9000266	6
9000661	7
9000870	8
9001133	9
9001242	10
9001428	11
9001640	12
9001776	13
900799	14
901298	15
901360	16
904680	17
906061	18
906663	19
907701	20-21
907919	22-23
907920	24
909124	25
9000190	26
9000571	27
9001882	28
9001883	29
9001888	30
9001935	31
9002066	32
9002136	33

Tabla 5.1. Proveedores considerados y su respectiva numeración. Fuente: Elaboración propia.

Nota. Los proveedores sombreados aparecen duplicados, tal y como se indica en el apartado 5.3.

5.2. Metodología aplicada

Comenzaremos rellendo una matriz de 33x33 (combinación de los distintos proveedores) con las distancias y tiempos de recorrido entre cada uno de ellos.

Los datos necesarios para rellenar las celdas principales de la matriz de trabajo son:

- Distancia entre destinos.
- Tiempo necesario para la distancia anterior.

Véase en la figura 5.2.1 un ejemplo de la matriz obtenida, siendo 9000070,9000081... los códigos de cada proveedor según el sistema de SAP.

VOSSLOH	VOSSLOH					
9000070	9,4Km 8min	9000070				
9000081	37,6Km 36min	44,2km 41min	9000081			
9000102	5,02km 43min	56,6km 43min	23,6km 19min	9000102		
9000151	37,8Km 36min	55,2km 45min	16,4km 14min	9,7km 14min	9000151	
9000221	32,2Km 26min	30,8km 26min	32,1km 22min	45,7km 31min	45,1km 31min	9000221

Tabla 5.2. Matriz distancia/tiempo de los distintos proveedores. Fuente: elaboración propia

Una vez terminada la matriz de trabajo, se calculan los ahorros o *savings* tal como se indicó en el apartado 4.5, en la figura 5.2.2 se puede observar el resultado de algunos proveedores a modo de ejemplo:

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

VOSSLOH	VOSSLOH						
9000070	9,4 8	9000070					
9000081	37,6 36	44,2 41	2,8 3	9000081			
9000102	5,02 43	56,6 43	-13,98 36	23,6 19	19,02 60	9000102	
9000151	37,8 36	55,2 45	-12,38 34	16,4 14	26,42 65	9,7 14	33,12 65
9000221	32,2 26	30,8 26	39,2 36	32,1 22	37,9 40	45,7 31	24,3 31
9000266	11,5 14	63,5 43	-19,8 -3	59,9 39	-16,2 1	73,5 48	-29,8 -8

Tabla 5.3. Matriz de Ahorros o *Savings*. Fuente: elaboración propia.

5.3. Hipótesis planteadas

Para realizar este estudio se han tomado las siguientes hipótesis:

- Debido a la dificultad de obtener de forma exacta las dimensiones de cada pedido por la cantidad de variables a tener en cuenta (recordemos que disponemos de 31 proveedores que suministran materiales de 12 proyectos a lo largo de 12 meses), y para poder realizar una aproximación correcta, se ha preguntado a los diferentes almaceneros y transportistas las dimensiones medias de entrega por proveedor en cada pedido medidas en europalés. Se han obtenido los siguientes resultados:

**Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector
metalmeccánico**

PROVEEDORES	Nº Palés
9000070	1
9000081	2
9000102	1
9000151	2
9000221	2
9000266	6
9000661	1
9000870	3
9001133	1
9001242	2
9001428	1
9001640	1
9001776	2
900799	4
901298	2
901360	2
904680	2
906061	2
906663	3
907701	5
907919	5
907920	1
909124	1
9000190	1
9000571	2
9001882	2
9001883	3
9001888	1
9001935	2
9002066	2
9002136	2

Tabla 5.4. Relación proveedor/número de palés. Fuente: elaboración propia.

- Para tener en cuenta que algunos proveedores también suministran material grande y que la tabla anterior sigue siendo válida, se ha tomado como aproximación que, cada entrega de material grande ocupará el doble que una entrega de material corriente. En las siguientes

fotografías aparecen palés de material grande en comparación con los palés habituales para reforzar esta consideración:



Figura 5.2. Material grande. Fotografía: María Lacárcel.



Figura 5.3. Material grande. Fotografía: María Lacárcel.



Figura 5.4. Material de tamaño “corriente”. Fotografía: María Lacárcel.

Como se puede observar, los materiales grandes suelen ser más altos que los considerados “corrientes”, no obstante no tendremos en cuenta este hecho pues no son apilables los palés.

- Las rutas entre proveedores se han considerado simétricas pues se encuentran próximos los unos a los otros y las diferencias entre “la ida” y “la vuelta” no son significativas. No obstante, se deja este tema abierto a posteriores estudios y comprobaciones. Las siguientes imágenes (obtenidas de Google Maps) muestran la “casi simetría” de nuestro estudio:

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

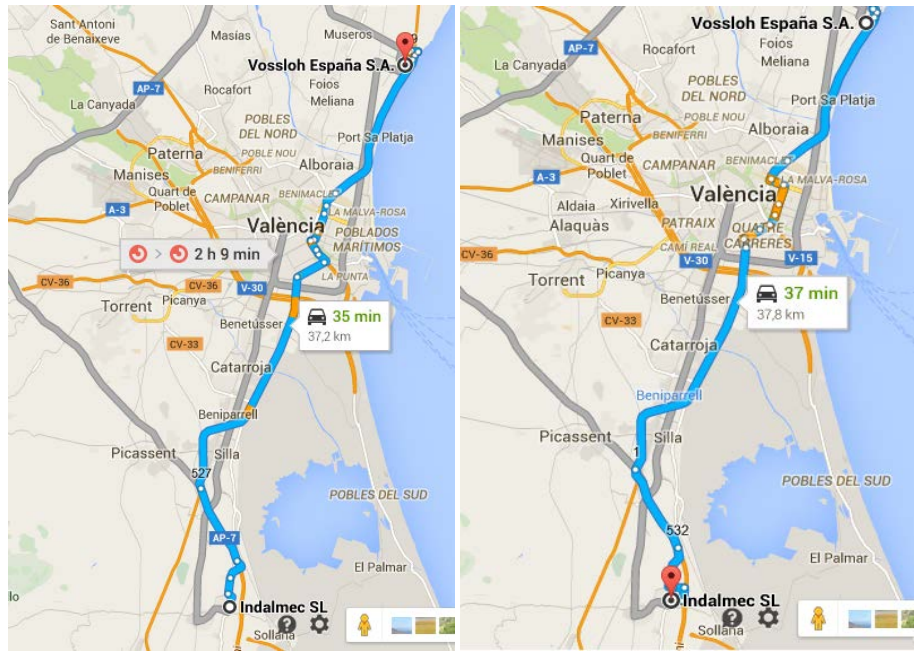


Figura 5.5. Distancia Vossloh España S.A. al proveedor 2 y viceversa. Fuente: elaboración propia.

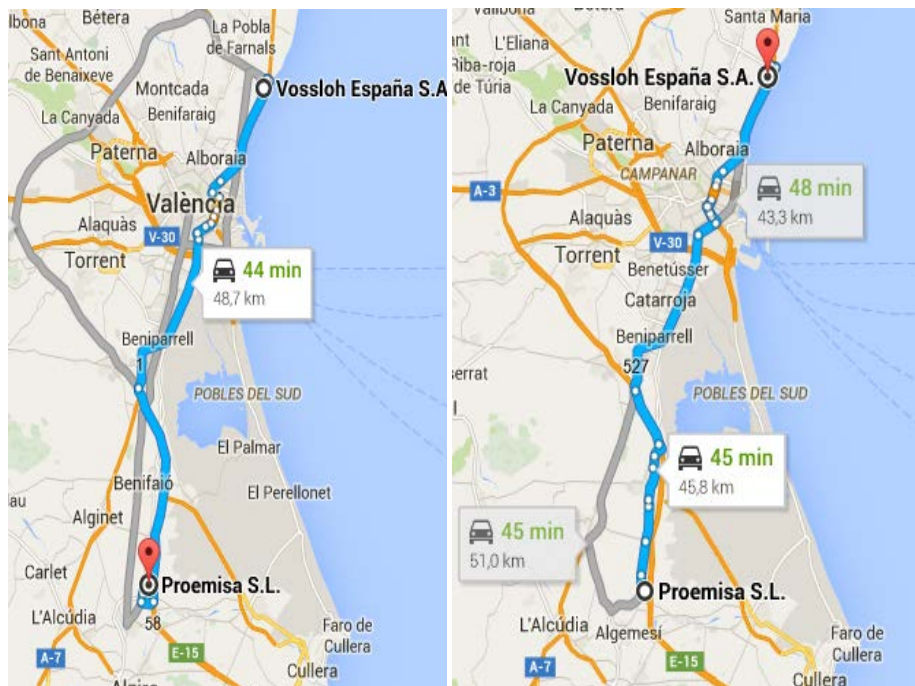


Figura 5.6. Distancia Vossloh España S.A. al proveedor 4 y viceversa. Fuente: elaboración propia.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

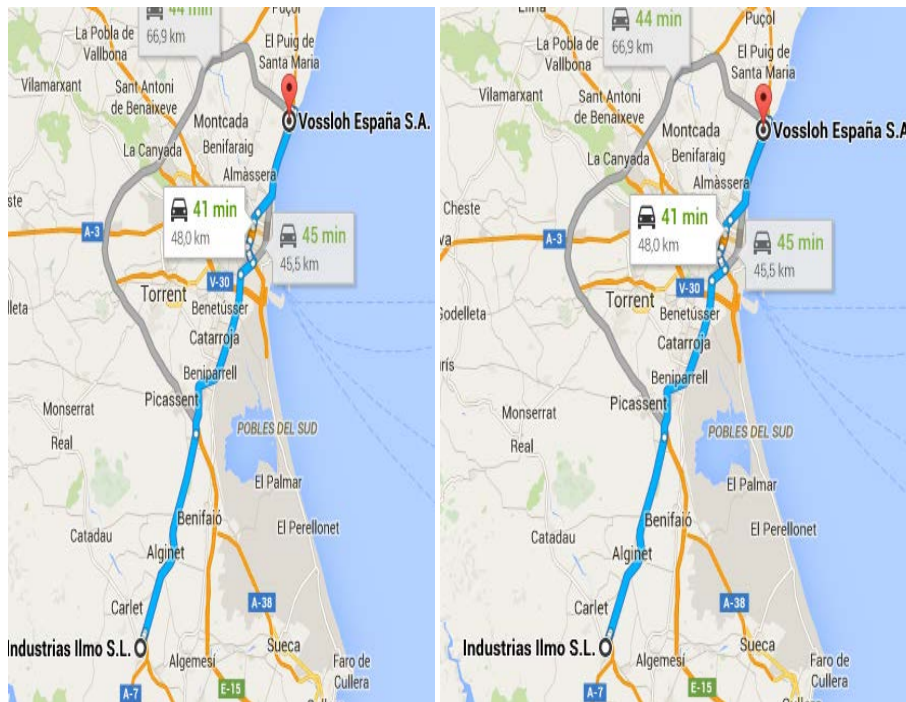


Figura 5.7. Distancia Vossloh España S.A. al proveedor 15 y viceversa. Fuente: elaboración propia.

- Los camiones a utilizar serán de mediano tamaño cuya capacidad permite transportar entre 14-16 palés europeos. Teniendo en cuenta que este algoritmo no toca la carga y que algunos proveedores por semana pueden entregar más de 16 palés, se duplicarán estos proveedores simulando que son dos diferentes con el fin de poder cargar en rutas distintas. Por ejemplo, si tuviéramos el proveedor 907919 cuya cantidad de palés en ocho semanas es la siguiente.

907919
-
10
20
20
15
10
10
20

Tabla 5.5. Ejemplo número de palés de un proveedor determinado.

Se observa que en tres semanas, la cantidad de palés supera al máximo de 16. Para solventar el problema, crearemos un proveedor ficticio (un duplicado del mismo) cuya cantidad de palés será la

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

diferencia entre el proveedor original y la cantidad máxima (en aquellos casos en los que se exceda la cantidad, en los que no, permanecen igual).

907919	907919*
-	-
10	-
20	4
20	4
15	-
10	-
10	-
20	4

Tabla 5.6. Ejemplo de duplicación del proveedor.

La aplicación de este algoritmo dará como solución las rutas a seguir cada semana del año (en total 52 semanas). En la siguiente tabla se muestra para un número reducido de proveedores y semanas, la tabla correspondiente obtenida a modo ejemplo:

	9000070	9000081	9000102	9000151	9000221	9000266
-	1 palé/entr	2palés/entr	1palé/entr	2palés/entr	2palés/entr	4palés/entr
1	0	0	0	0	0	0
2	2	2	0	4	2	8
3	0	8	1	4	8	12
4	1	0	0	2	0	16
5	0	0	0	0	0	8
6	2	0	0	2	8	8
7	0	0	0	3	8	16

Tabla 5.7. Matriz Carga/Semana. Fuente: elaboración propia.

- En este trabajo la restricción principal viene dada por la capacidad máxima del camión, es por ello por lo que no se han tenido en cuenta las ventanas de tiempo. Es decir, el tiempo empleado para la realización de cada ruta establecida es siempre inferior a 8 horas, correspondiente a una jornada laboral completa.

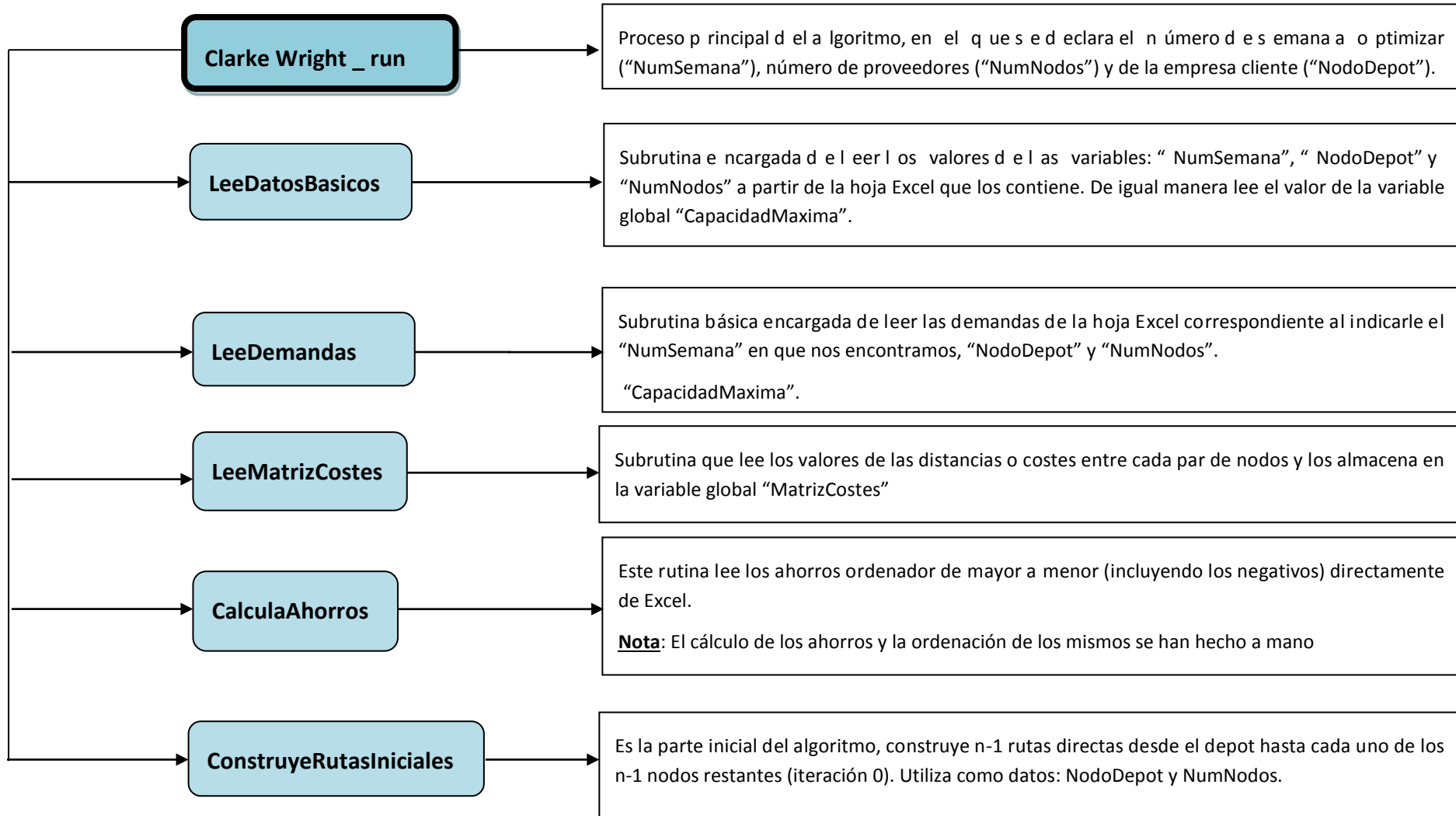
5.4. Diseño de rutas

Para poder calcular las diferentes rutas, se utilizará el algoritmo Clarke-Wright (versión en paralelo) programado por el profesor Alejandro Rodríguez Villalobos quien impartió clases en la Universidad Politécnica de Valencia dentro del Departamento de Organización de Empresas, en el área de Ingeniería de Organización. Este algoritmo fue utilizado en su tesis doctoral.

5.4.1. Algoritmo empleado

El algoritmo final usado para la resolución de este problema se encuentra disponible bajo petición a la autora de este trabajo. Está programado en Visual Basic (un lenguaje de programación dirigido por eventos, el cual permite programar contenidos informáticos gráficos de manera simple y accesible).

A modo de esquema, este algoritmo se compone de los siguientes procedimientos:



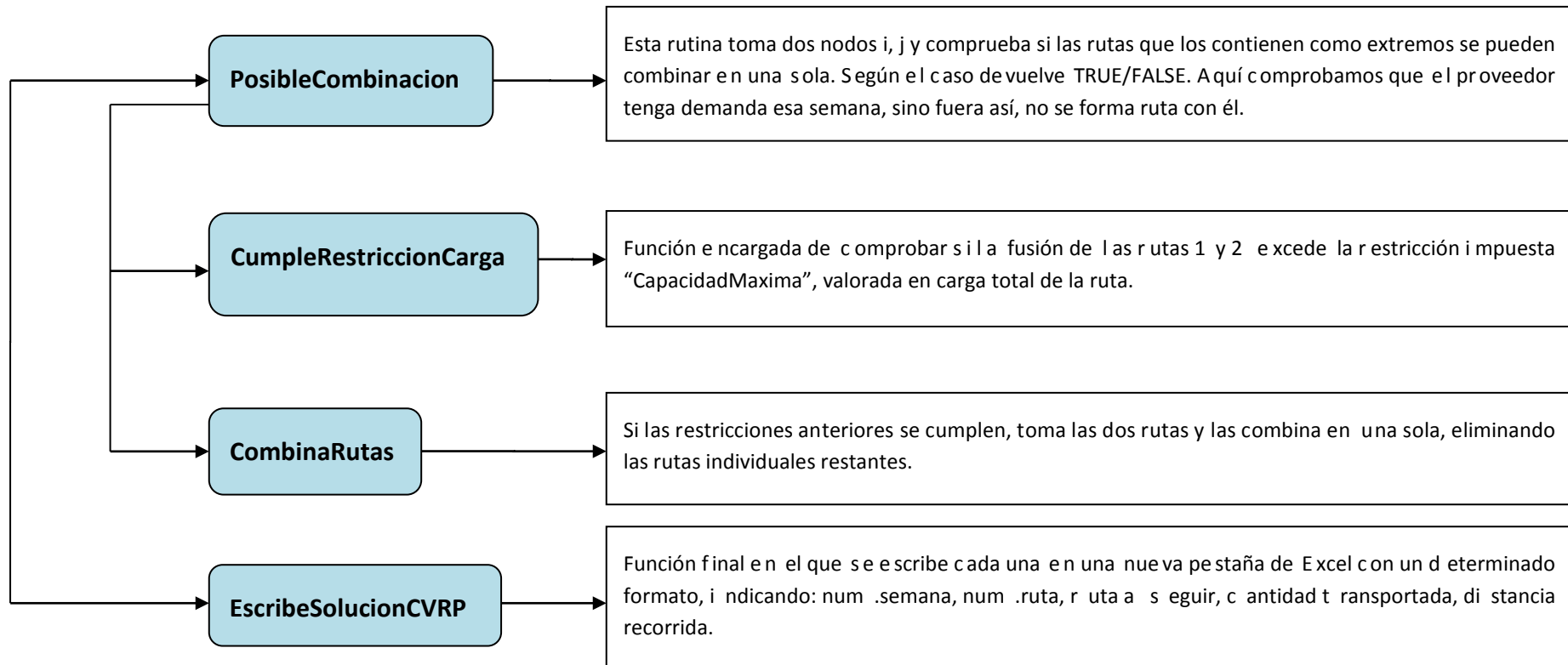


Figura 5.8. Esquema del algoritmo utilizado. Fuente: elaboración propia.

5.4.2. Modificaciones realizadas al algoritmo

Con respecto al código original programado por el profesor Rodríguez Villalobos, se han realizado una serie de modificaciones para adaptar el algoritmo a nuestras necesidades. Dichas modificaciones se pueden dividir en dos clases:

- Modificaciones motivadas por el cambio de plataforma: originalmente el algoritmo estaba programado en VB.net; sin embargo, se ha adaptado para su utilización en VBA (*Visual Basic for Applications*) y así poder obtener los resultados en Excel. Aunque a simple vista parecen dos lenguajes de programación similares, lo cierto es que difieren en un gran número de formas. Sobretodo la sintaxis y estructura de ambos lenguajes no son completamente compatibles. VBA se ejecuta dentro de los denominados “programas de acogida” (en particular de Microsoft Office), creándolos y modificándolos dentro de estos programas. Algunas de las diferencias más significativas y que han afectado a la elaboración del programa son: llamamiento de las rutinas mediante la función *Call*; la manera determinada de VBA que pasa las variables por referencia, mientras que VB.net las pasas por valor; funciones inexistentes en VBA (como por ejemplo *ARRAY*).

```
Call LeeMatrizCostes (NumNodos)
Call CalculaAhorros (NodoDepot, NumNodos)
Call ConstruyeRutasIniciales (NodoDepot, NumNodos)
```

Figura 5.9. Ejemplo de llamada a diferentes rutinas. Fuente: elaboración propia.

- Modificaciones relacionadas con la lectura de datos y salida de resultados: al contrario que con el código inicial, se ha adaptado para poder leer los datos a través de las distintas hojas de Excel donde se encuentran (“MatrizCostes”, “ArrayAhorros”, “MatrizAhorros”, “MatrizDemanda”). Asimismo, se vuelcan los resultados en diferentes pestañas de Excel (tal y como muestra la figura 5.10) formadas por una tabla en la que se indica, semana en la que se ha realizado la ruta, número de ruta, proveedores a visitar, número de proveedores, distancia total recorrida. Además, se ha añadido una nueva restricción para evitar introducir en la ruta aquellos proveedores cuya carga es, en la semana de estudio, nula. En las figuras 5.9, 5.10 y 5.11 se pueden observar algunos cambios que se han realizado al algoritmo.

```
' ANTES DE HACER NADA, AQUÍ COMPROBAMOS QUE LA CARGA DE LOS DOS (i y j)
' SEA DISTINTA DE CERO, Y SI NO SE CUMPLE, NO LOS FUSIONAMOS
' (es una manera de tratar con los proveedores que en un mes
' concreto tengan 'demanda' nula).

If Demanda(i) > 0 And Demanda(j) > 0 Then

    For r = 0 To NumRutas - 1
        If i = Ext2Ruta(r) And encontradoI = False Then
            RutaI = r
            encontradoI = True
        End If
        If j = Ext1Ruta(r) And encontradoJ = False Then
            RutaJ = r
            encontradoJ = True
        End If

        If encontradoI = True And encontradoJ = True Then Exit For 'ahorra computación
    Next r

    If encontradoI = True And encontradoJ = True Then
        If RutaI <> RutaJ Then
```

Figura 5.10. Nueva restricción añadida para contemplar aquellos proveedores con carga nula. Fuente: elaboración propia.

```
' Creamos una nueva hoja específica para mostrar esta información:

NombreHoja = "RUTA SEMANA " & NumSemana
Worksheets.Add.Name = NombreHoja

Worksheets(NombreHoja).Activate

' Escribimos todos los datos en la hoja:

Cells(1, 1).Value = "RUTAS PARA LA SEMANA " & NumSemana

Cells(3, 1).Value = "Tiempo empleado por el algoritmo de Clarke y Wright: " & (t1 - t0)

Cells(5, 1).Value = "Núm. ruta"
Cells(5, 2).Value = "Secuencia"
Cells(5, 3).Value = "Carga total"
Cells(5, 4).Value = "Distancia total"
Cells(5, 5).Value = "Núm. proveedores"
```

Figura 5.11. Nueva rutina encargada de mostrar la solución. Fuente: elaboración propia.

```
Public Sub LeeDatosBasicos(ByRef NumSemana As Integer, ByRef NodoDepot As Integer, ByRef NumNodos As Integer)
    ' ***** VG : Esta subrutina lee los valores de las variables
    '                 'NumSemana', 'NodoDepot' y 'NumNodos' a partir
    '                 de la hoja Excel que los contiene. También lee
    '                 el valor de la variable global 'CapacidadMaxima'.

    NumSemana = Sheets("MatrizAhorros").Cells(13, 3).Value
    NodoDepot = Sheets("MatrizAhorros").Cells(10, 3).Value
    NumNodos = Sheets("MatrizAhorros").Cells(12, 3).Value
    CapacidadMaxima = Sheets("MatrizAhorros").Cells(11, 3).Value

End Sub
```

Figura 5.12. Parte del programa que muestra la nueva forma de leer los datos. Fuente: elaboración propia.

5.4.3. Rutas y resultados obtenidos

A continuación se muestran algunas de las rutas obtenidas tras aplicar el algoritmo a determinadas semanas. Se exponen a modo de ejemplo para mostrar qué muestra como resultado el programa. El resto de rutas se encuentran en los anexos.

RUTAS PARA LA SEMANA 1

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total (nº palés)	Distancia total (km)	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-28-0	2	70,2	3	1

DISTANCIA TOTAL (km).	70,2
PRECIO TOTAL (€).	32,0112

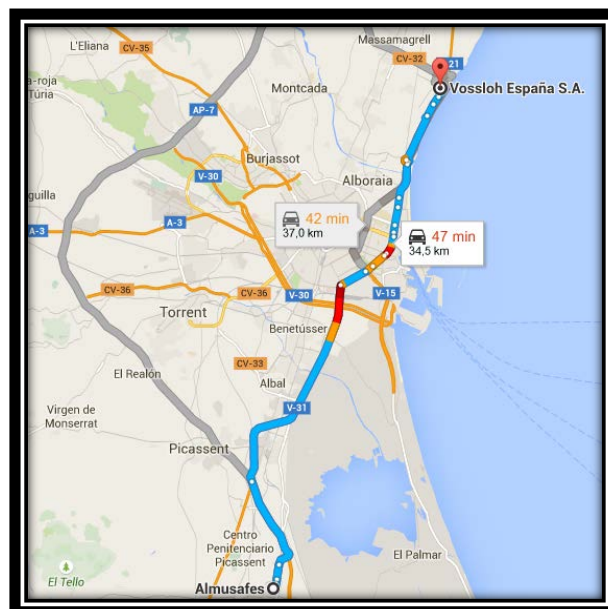


Figura 5.13. Ruta 1 semana 1. Fuente: elaboración propia.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

RUTAS PARA LA SEMANA 2

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total (nº palés)	Distancia total (km)	Núm. Proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-9-22-0	16	99,6	5	3
2	0-6-0	8	23	3	1
3	0-8-26-13-0	13	19,8	5	3
4	0-11-16-2-28-25-0	15	84	7	5
5	0-18-7-17-1-5-0	12	94,04	7	5
6	0-19-0	6	28,6	3	1

DISTANCIA TOTAL (km)	349,04
PRECIO TOTAL(€)	159,16224

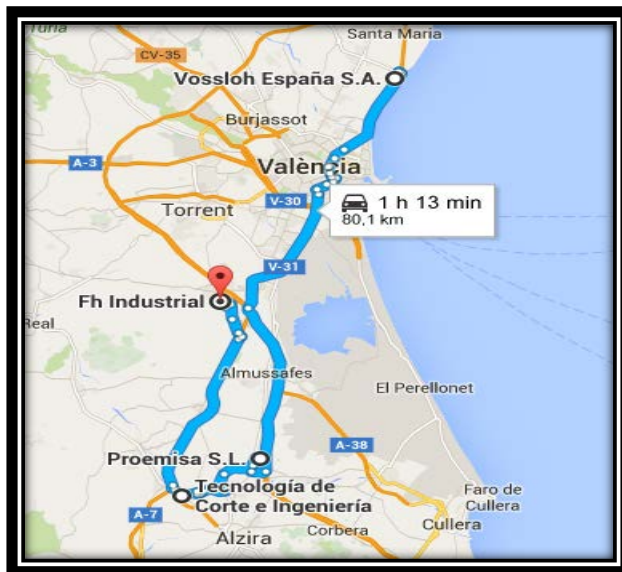


Figura 5.14. Ruta 1 semana 2. Fuente:elaboración propia.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

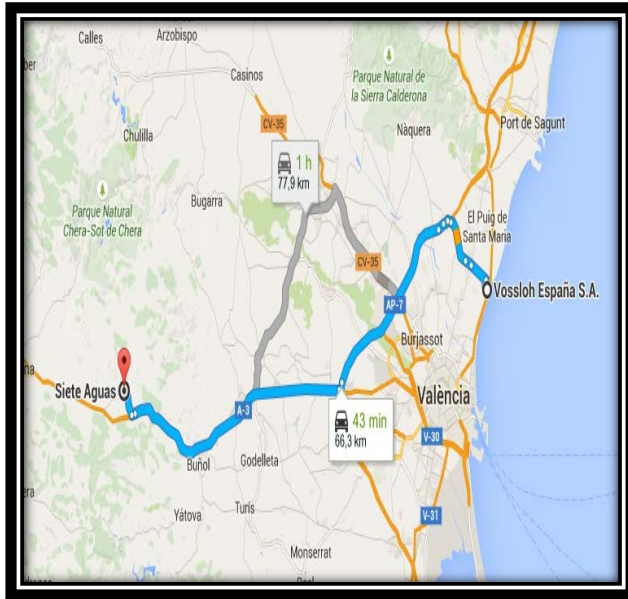


Figura 5.15. Ruta 2 semana 2. Fuente: elaboración propia.

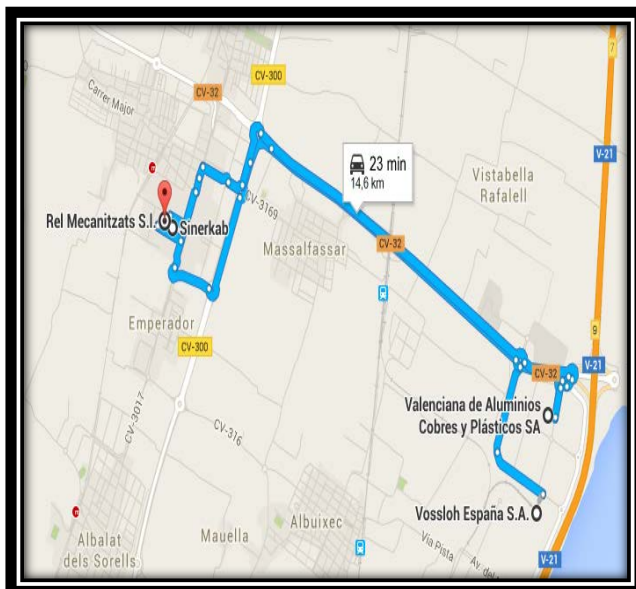


Figura 5.16. Ruta 3 semana 2. Fuente: elaboración propia.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

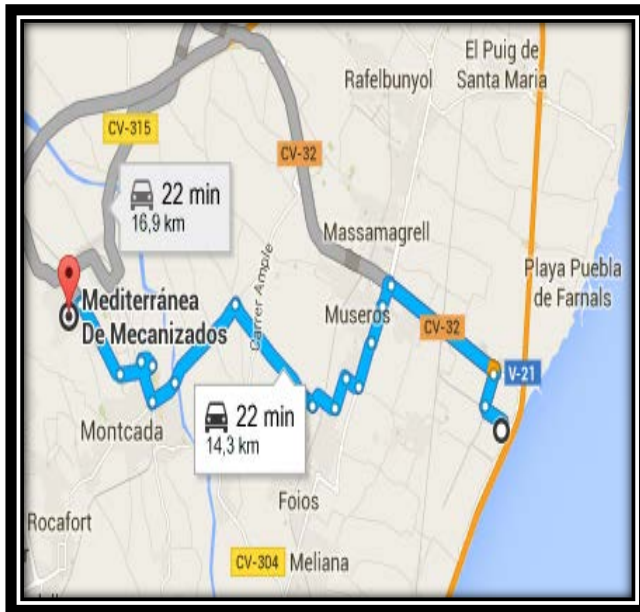


Figura 5.19. Ruta 6 semana 2. Fuente: elaboración propia.

RUTAS PARA LA SEMANA 5

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	8	23,00	3	1
2	0-13-26-8-16-0	15	64,90	6	4
3	0-14-15-11-27-0	15	153,60	6	4
4	0-18-7-17-19-20-0	16	80,74	7	5
5	0-21-0	4	44,60	3	1
6	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTA (km).	427,84
PRECIO TOTAL (€).	19,51

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

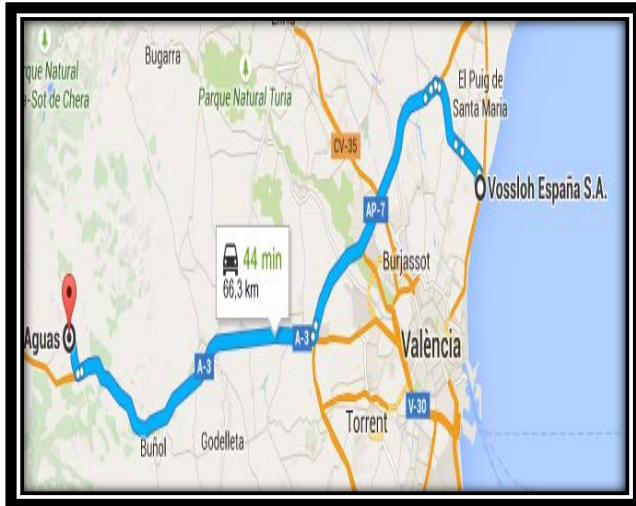


Figura 5.20. Ruta 1 semana 5. Fuente: elaboración propia.



Figura 5.21. Ruta 2 semana 5. Fuente: elaboración propia.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

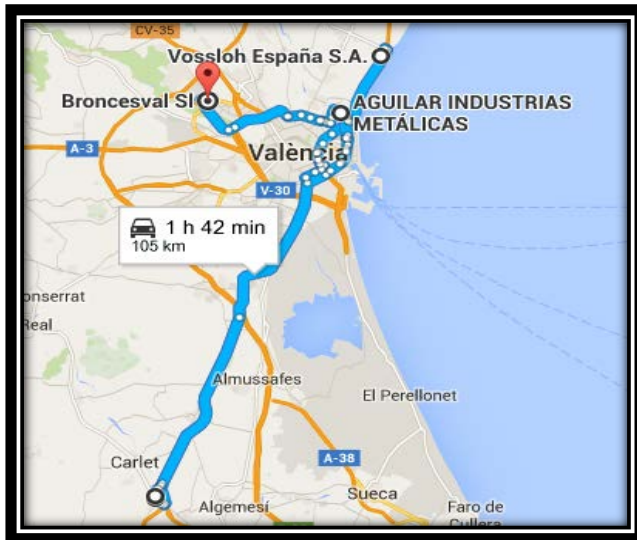


Figura 5.22. Ruta 3 semana 5. Fuente: elaboración propia.

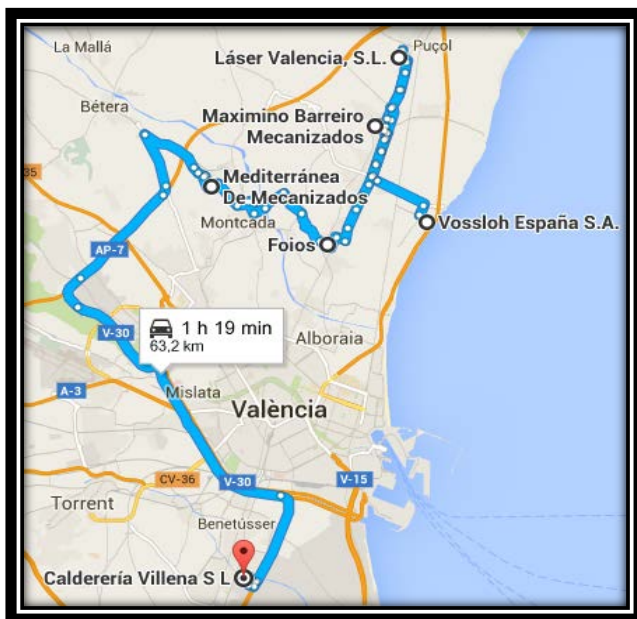


Figura 5.23. Ruta 4 semana 5. Fuente: elaboración propia.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

- El precio del gasoil es de 1,2€/l.
- Un camión de medianas dimensiones consume entre 35l-40l cada 100km, en este caso en particular se han tomado 38l/100km.

Con estos datos se puede calcular la cantidad de dinero invertida en el combustible de los camiones. Sea X la distancia total recorrida en una ruta, se tiene que:

$$\frac{X}{100} km \times \frac{38l}{100km} \times 1,2 \text{ €/l}$$

Como resultado se obtiene un total de: **9014,22€/año**

A este resultado debemos incluir el precio del camión alquilado con su correspondiente conductor y el de la furgoneta empleada como ambulancia. Estos datos han sido proporcionados por los encargados de gestionar el transporte a subcontratistas, siendo:

- 27,5€/h alquiler de un camión mediano con su correspondiente transportista.

Teniendo en cuenta que se trabajan 8h/día, cinco días a la semana durante once meses de un año (en agosto no se cuenta con este sistema de transporte), obtendríamos un resultado de:

$$27,5 \text{ €/h} \times 8 \text{ h/día} \times 20 \text{ días/mes} \times 11 \text{ meses/año} = 48400 \text{ €/año}$$

Además se debería contar con una persona que se encargara únicamente de la realización y control de las rutas, entendiendo esto como: seguimiento del camión, resolución de imprevistos y toma de decisiones. Todo ello añadiría un total de 22000 €/año a los gastos de la empresa.

Como resultado, los costes totales de la empresa al implementar esta metodología sumarían un total de:

$$48400 \text{ €/año} + 22000 \text{ €/año} + 9014,22 = 79414,22 \text{ €/año}$$

Por otra parte, según los datos suministrados por los proveedores, el precio del transporte puede obtenerse como el 5% del precio total de material transportado. Este dato puede obtenerse mediante el uso de las distintas transacciones de SAP, a partir de las cuales se puede conocer el precio de todos los pedidos recibidos por los proveedores en cuestión. Aplicando el 5% de este precio total se obtiene un total de: **119302,64€/año**.

Así pues, desde el punto de vista económico se obtiene un ahorro de:

$$119302,64 \text{ €/año} - 79414,22 \text{ €/año} = 39891,42 \text{ €/año}$$

No obstante, no sólo se obtienen ventajas económicas, sino que la aplicación de esta metodología permite la coordinación y control de las entregas con lo que se consiguen considerables mejoras en la gestión de materiales:

- Detección prematura de problemas (mal embalaje, exceso o defecto de materiales...).
- Conocimiento fiable de fechas de entrega de la materia prima, lo que permite una mejor organización y planificación.
- Reducción de costes por sobrestock y almacenamiento.

5.5. Modo de transporte

5.5.1. Vehículos de transporte

Los vehículos a utilizar serán camiones de mediano tamaño con las dimensiones que muestra la figura 5.26 (“Dimensiones de camiones”, 2008).

Designación	Configuración	Descripción	Dimensiones		
			Ancho Máximo mts.	Altura Máxima mts.	Longitud Máxima mts.
2		Camión de Dos (2) Ejes. Camión Sencillo Máximo PBV, 16.000 kg	2,60	4,40	10,80

Figura 5.26. Dimensiones de los camiones utilizados. Fuente: “Dimensiones de camiones” (2008).

La empresa dispondrá de un camión para transportes habituales y de una furgoneta ambulancia, de la que ya dispone (véase definición en el apartado 4.4.1. “Definiciones básicas”).

Asimismo, los materiales transportados vendrán en palets europeos (europalés):



Medidas. 800 x 1200 x 166 mm

Peso. Aproximadamente 25-27 Kg.

Carga dinámica. 1400 Kg.

Carga estática. 4000 Kg.

Carga en estanterías. 1300 kg

Entradas transpaleta. 4 entradas.

Figura 5. 27. Dimensiones de un europalé. Fuente: www.paletsmadrid.com

Por lo que, como se ha tenido en cuenta a la hora de realizar la ruta, en cada camión de mediano tamaño pueden introducirse 16 palés europeos.

5.5.2. Indicaciones previas y posteriores a la carga y descarga

Antes de realizar la carga de materiales al llegar a un proveedor éste comprobará la matrícula y la empresa que manda el camión en cuestión, recogiendo el documento que lo acredite o realizando una fotocopia del mismo. Además, se tomarán los datos del conductor y se rellenarán tanto la ventana de retiro como el listado de piezas (ver apartados 4.4.1.). Por otra parte, debe comprobarse que la disposición de los materiales en el palé es la correcta y mantenerla en dichas condiciones durante la manipulación y el transporte. Para ello los palés pueden estar retractilados, flejados o encolados con el objetivo de evitar problemas en el estado y resistencia de los embalajes además de problemas tales como desbordamiento, escoramiento, protuberancias... (“Manual de Seguridad”, 2011).

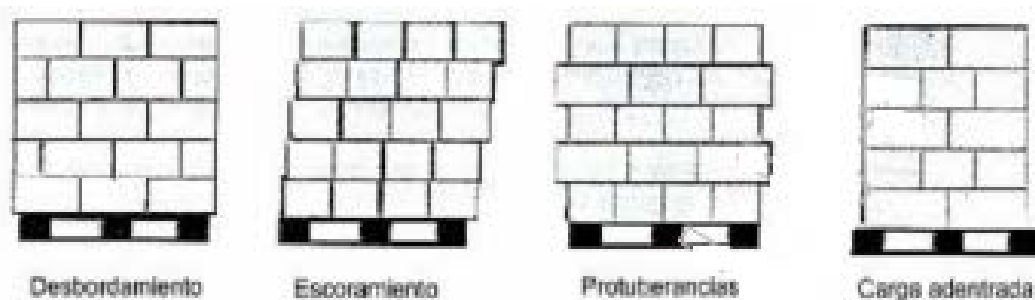


Figura 5.28. Disposición de materiales en el palé. Fuente: “Manual de Seguridad”(2010).

Una vez comprobado todo lo indicado, se procedería a la carga de los materiales. A modo opcional, sería recomendable realizar una fotografía una vez finalizada la carga por posibles problemas futuros.

Del mismo modo, antes de realizar la descarga deberemos tener en cuenta algunas consideraciones. Primero de todo, comprobar que el vehículo esté calzado e inmobilizado para evitar daños. Posteriormente, se abrirá la puerta del camión y se comprobará, antes de descargar, que todo el material está tal y como se cargó (sin materiales volcados, roturas...), de no ser así las responsabilidades acarrearían sobre el transportista.

5.5.3. Carga y descarga

A la hora de cargar y descargar los materiales, los operarios contarán con la ayuda de carretillas elevadoras (muy utilizadas para el transporte de mercancías en instalaciones). Según indica el manual de información y formación en materia de prevención de riesgos laborales (2010), se entiende como carretilla elevadora a “todo equipo autopropulsado con conductor a pie o montado, y a sea sentado o de pie, sobre ruedas, que no circula sobre raíles, con capacidad para autocargarse y destinado al transporte y manipulación de cargas vertical u horizontalmente.”



Fig. Carretillas elevadoras

Figura 5.29. Carretillas elevadoras. Fuente. “Manual de Seguridad” (2010).

Como normas generales (pues la metodología completa de carga y descarga está fuera del alcance de este proyecto) a la hora de usar esta máquina se pueden destacar:

- Será obligatorio el uso del cinturón de seguridad o su correspondiente dispositivo de retención.
- Se deben asegurar los mandos en punto muerto y poner el freno de mano al bajar de la carretilla.
- Se circulará siempre sentado.
- Siempre que se suba o se baje de la carretilla, ésta debe estar parada. Asimismo, no se utilizarán las carretillas para elevar personas de ninguna manera posible (ni sobre las palas, ni sobre palés, ni sobre cualquier otra parte de la estructura).



Figura 5.30. Norma de uso de una carretilla elevadora. Fuente: “Manual de Seguridad”(2010).

La manipulación, posición y transporte de cargas se realizará de la siguiente manera.

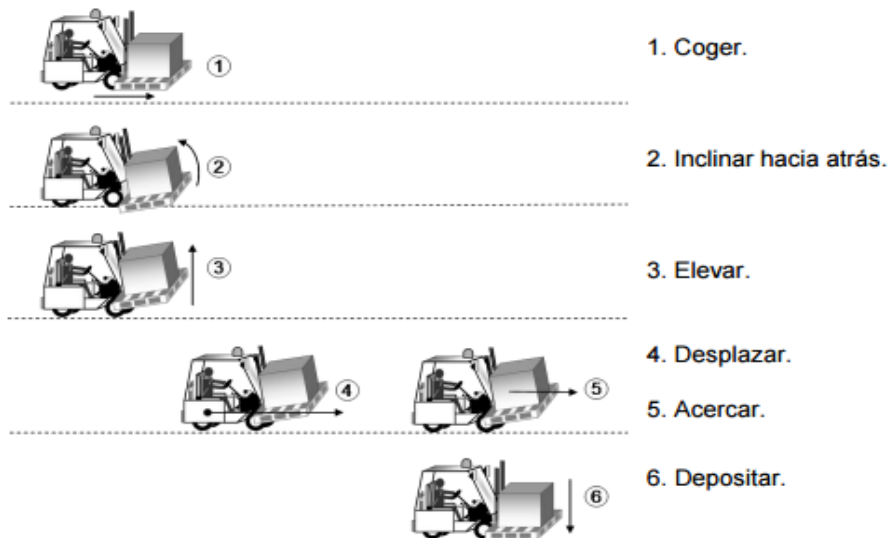


Figura 5.31. Modo de empleo de una carretilla elevadora. Fuente. “Manual de Seguridad”(2010).

5.5.4. Aseguramiento de la carga

Otro aspecto de vital importancia (y por el cual se han realizado las medidas indicadas en el apartado de consideraciones previas a la carga) es el mantenimiento de las cargas paletizadas fijas, conocido también como trincaje.

El primer tema a resolver es que el propio palé esté bien confeccionado y pueda soportar la manipulación y transporte al que se verá sometido (actividades como el enfiado, retractilado y flejado vistas ayudan a conseguirlo).

Por otra parte, hay varias opciones para evitar el movimiento de los palés en el interior del camión durante el transporte, algunos ejemplos son:

- El tipo de suelo del camión. Opciones para incrementar el coeficiente de rozamiento del suelo y evitar así deslizamientos indeseados serían el uso de pinzas y losetas.
- Cinturones o ganchos que se sujetan a los laterales del vehículo, con hebilla y tensor para sujetar la carga.
- Utilización de bolsas o plásticos entre palés para evitar roces entre los mismos.

5.6. Concepto y límites de responsabilidad

La implantación del “Milk run” no consiste solamente en la aplicación de una serie de rutas, sino que, si se desean conseguir las ventajas perseguidas de este método de abastecimiento, es absolutamente necesario contar con la colaboración de todas las personas involucradas en dicha propuesta. Es, por tanto, de vital importancia que cada una de las partes sean conscientes de sus responsabilidades.

La correcta implantación de este método es complicada, ya que no sólo se necesita el apoyo de todos los integrantes, sino que también es necesaria su coordinación. Así pues, una vez se ha establecido una ruta, deben ponerse de acuerdo tanto el cliente como el proveedor acerca de los horarios de recogida y encargarse de cumplirlos.

Si, por ejemplo, se produce un retraso en la recogida debido a causas tales como problemas en la circulación (accidentes, tráfico intenso etc.) o climatología adversa, será la empresa quien se responsabilice de realizar la recogida lo antes posible.

Si, por el contrario, el retraso se debe a causas internas del proveedor (como por ejemplo, que no se disponga del pedido a la hora en que se acordó su recogida), será su empresa la que se responsabilice de dicho retraso y tendrá que aportar el material por sus propios medios. Además, todo coste extra originado por estas causas los deberá asumir el proveedor.

Si los retrasos pueden revertirse, como es el caso de festividades en la zona de circulación (Navidad, Semana Santa, Fallas etc.), se reajustarán las rutas para adecuarse a las restricciones de circulación.

Por otra parte, será responsabilidad de los operarios del almacén los posibles desperfectos sufridos por los materiales durante el transporte o manipulación hasta su final ubicación.

6. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo se ha abordado el diseño óptimo de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico, aplicando para ello el algoritmo Clarke-Wright.

Analizando los resultados obtenidos en este trabajo, se pueden llegar a una serie de conclusiones. La primera es que mediante el suministro de materia prima aplicando la metodología "Milk run" se obtendrían notorios beneficios económicos. Como se ha calculado en el apartado 5.4.3 se conseguiría un ahorro total de **39891,42€/año**.

Por otra parte, se destaca que la implantación de dicha metodología no sólo reduce los costes, sino que se consiguen otras importantes ventajas:

- Consecución del Just In Time debido a la puntualidad en las entregas de los pedidos, eliminándose los despilfarros provocados por los retrasos.
- Mejora en la gestión del almacén (tanto del proveedor como de la empresa cliente) reduciendo sobrestocks y detectando de forma prematura problemas de embalajes, cantidades etc.
- Mejora en la gestión del transporte al optimizarse los recursos empleados mediante la implantación de rutas preestablecidas y el mejor aprovechamiento del espacio en los camiones.
- Refuerzo del Pull-system, puesto que las entregas controladas fomentan la producción guiada por la demanda.

Asimismo, el desarrollo de este trabajo ha despejado algunos interrogantes sobre el tema tratado, se han contrastado los resultados y se ha conseguido un proceso optimizado del abastecimiento de materiales aplicado a un caso real. No obstante, y casi a la par que la consecución de los resultados, han surgido nuevos enfoques e ideas.

Una interesante línea de investigación consiste en considerar la matriz distancia-tiempo de los proveedores asimétrica y comparar los resultados obtenidos con la simplificación realizada en el presente trabajo.

Con respecto a la distancia entre proveedores, podría ampliarse ésta y tomar en consideración proveedores lejanos a la empresa en cuestión (en este trabajo se han considerado aquellos cuya distancia es inferior a 40km). Con ello, deberían tenerse en cuenta las denominadas "ventanas de tiempo". En el presente trabajo se han omitido ya que la restricción principal es la capacidad máxima del camión, y ésta se alcanza (16 palés) en un número de horas inferior a una jornada laboral completa.

Otro enfoque interesante sería hacer una lista con aquellos proveedores cuyas entregas se realizan en palés apilables. Con ello, se podría reorganizar y aprovechar más espacio en el camión.

Por otra parte, el método heurístico empleado ha sido el de Clarke-Wright, no obstante, existen muchos otros. Solomon, Potvin y Rousseau, Golden, Assad, Levy y Gheysens etc. Una propuesta interesante sería comparar los resultados obtenidos.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

Como reflexión personal, el haber realizado este trabajo en una empresa real, me ha dado la oportunidad de conocer la rutina de una fábrica y de las actividades referentes al aprovisionamiento, transporte y a la gestión del almacén. Asimismo he adquirido experiencia en este sector y he podido ampliar conocimientos en la rama de Organización Industrial que, sin duda alguna, serán de gran utilidad en mi futuro profesional.

7. BIBLIOGRAFÍA

ADM Reciclados Gestor Autorizado de Palés (2015). *Palés europeos*. Recuperado el 16 de abril de 2015. <http://www.paletsmadrid.com>

Atoche, W., Milla, O., Silva, M., Silva, W. (2011). Evaluación cuantitativa de rutas de distribución utilizando técnicas combinadas de optimización. *9th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. Medellín, Colombia.

Battarra, M., Baldacci, R., Vigo, D. (2007). *Clarke and Whright Algorithm* (Tesis Doctoral). Departamento de electrónica e informática de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Bologna.

Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Nueva York de Juárez. Pearson Educación.

Calviño, A. (2011). *Cooperación en los problemas del viajante (TSP) y de rutas de vehículos (VRP). una panorámica*. (Proyecto Final de Máster). Máster Interuniversitario en Técnicas Estadísticas. Universidad de Vigo, Universidad de Santiago de Compostela y Universidad Da Coruña.

Council of Logistic Management (2015). *Supply Change Management*. Recuperado el 22 de febrero de 2015. <https://cscmp.org/about-us/supply-chain-management-definitions>

Daza, J.M., Montoya, J.R., Narducci, F. (2009). Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *Revista de Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 12, 23-38.

Dürsteler, J. (2004). *Los puentes de Königsberg*. Recuperado el 15 de marzo de 2015. <http://www.infovis.net/printMag.php?num=137&lang=1>

Franklin, B. (2004). *Organización de Empresas, Segunda Edición*. España. Mc Graw Hill.

Gómez, E., Parras, M. *Teoría de Grafos y Sistemas de Información Geográfica aplicados al Transporte Público de Pasajeros en Resistencia*. Revista Transporte y Territorio N° 1, Universidad de Buenos Aires, 2009. ISSN: 1852-7175. pp. 89-111.

Information Technology Group (2012). *Milk Run*. Recuperado el 16 de abril de 2015. <http://www.vitg.com/Urunler-Cozumler/vSRM/vSRM-Milk-Run-Uygulamasi.aspx?lang=es-MX>

Lysgaard, J. (1997). *Clarke & Wright's Savings Algorithm*. Aarhus University Campus. Dinamarca.

Ministerio de Fomento (2015). Ministerio de Fomento. Gobierno de España. Recuperado el 16 de mayo de 2015. http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/BE3C23F7-3743-43AE-9D44-DEAB45616099/19599/Resumen_ejec.pdf

Montero, F., Bignoni, S. (2006). *Sistema de abastecimiento Milk run* (Tesis Doctoral). Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires.

MTM ingenieros (2015). *¿Qué es el Milk Run?* Recuperado el 12 de abril de 2015. <http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-milk-round-milk-run>

Olivera, A. (2004). *Heurística para Problemas de Ruteo de Vehículos*. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería. Universidad de la República, Uruguay.

Pérez-Aradros, V. (2009). *Optimización de los costes logísticos de aprovisionamiento de las regiones de Francia e Italia* (Tesis Doctoral). Departamento de Economía y Dirección de Empresas. Universidad de Zaragoza.

Ralphs, T., Kopman, L., Pulleyblank, W.R., Trotter, L. (2001). *On the capacitated vehicle routing problem*. Springer-Verlag.

Rodríguez, A. (2012). *Estudio del efecto de la asimetría en problemas de rutas de vehículos*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Campus de Alcoy.

Ruiz, R., Fernández, C., Contell, J., Rodríguez, A. *Optimización logística con RoutingMaps*. Recuperado el 23 de marzo de 2015. <http://www.routingmaps.com>

Sadjadi, S.J. (2008). *A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for Milk run problem*. London: Springer-Verlag.

Sandoya, F. (2007). *Métodos Exactos y Heurísticos para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP) y el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Segaprel (2010). *Manual de información y formación en materia de prevención de riesgos laborales*. <https://www.coruna.es/>

ThePuzzleMuseum (2015). *The Icosian game*. Recuperado el 15 de marzo de 2015. <http://puzzlemuseum.com/month/picm02/200207icosian.htm>

UNAD (2015). *Historia de la logística*. Recuperado el 20 de febrero de 2015. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/256594/256594_MOD/21historia_de_la_logstica.html

Vossloh (2015). *Vossloh. Rail Vehicles*. Recuperado el 15 de mayo de 2015. <http://www.vossloh-espana.com/en/home/home.html>

PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento va a contemplar el análisis y el estudio económico requerido para la realización del proyecto en base a los estándares para el año vigente.

2. FACTORES A CONSIDERAR

El estudio económico se divide en cuatro partes fundamentales que han sido significativas para la evaluación de los costes:

- Costes de la mano de obra.
- Equipos y tecnología utilizados.
- Amortizaciones aplicadas.
- Gastos generales de la organización.

3. ESTUDIO ECONÓMICO

Las características del proyecto permiten la valoración directa del mismo al ser de dedicación exclusiva por el ingeniero que lo realizó y contener los datos reales aportados por la organización Vossloh España S.A; vigentes y aplicados en los presupuestos elaborados por la empresa durante 2014.

3.1. Coste de la mano de obra

En este apartado se consideran los costes generados por el ingeniero en sus funciones de jefe de proyecto.

En la elaboración del proyecto en su totalidad, el equipo estuvo formado por un solo individuo representado en la persona del ingeniero sin otros costes adicionales de mano de obra indirecta que pudiesen repercutir en los costes del proyecto.

La valoración de los tiempos parciales empleados en la realización del proyecto son los siguientes:

CONCEPTO	UNIDAD	Nº UNIDADES
Recopilación de la información y aprendizaje	Horas	50
Planificación del proyecto	Horas	60
Relación de los estudios y cálculos	Horas	80
Análisis de resultados	Horas	50
Redacción del proyecto	Horas	70
Revisión final	Horas	10
Presentación. impresión y encuadernación	Horas	2
TOTAL	Horas	322

Tabla 1. Tiempo empleado en la realización del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Para efectos de estimación de tiempo y fechas, se consideran jornadas laborales de seis horas, lo que hacen:

$$\frac{322}{6} = 53.67$$

Los 53,67 días laborables corresponden a un periodo de dos meses y medio.

El precio de la mano de obra establecido según la categoría profesional es el siguiente:

CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	Nº UNIDADES	TOTAL (€)
Coste hora ingeniero	Horas	15€/h	322	4830

Tabla 2. Precio de la mano de obra. Fuente: elaboración propia.

Los gastos de la cotización a la Seguridad Social que repercuten en la empresa han sido considerados con arreglo al periodo de tiempo establecido, dos meses y medio, y al coste de la

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

mano de obra directa, 4830 euros, de acuerdo con la categoría profesional del grupo de cotización 1 y las tablas publicadas por el Ministerio de Asuntos Sociales aplicable al año 2015.

El coste del cargo al régimen de la Seguridad Social de la mano de obra directa se obtiene considerando el número total de horas trabajadas multiplicadas por la base de cotización a tiempo completos de la Seguridad Social que, según la tabla y categoría 1, corresponden a 6,7 euros/hora:

$$322 \times 6,70 = 2157,4 \text{ €}$$

La cotización empresarial al desempleo por contrato de duración determinada a tiempo completo, le corresponde el 7,70% del coste total de la mano de obra:

$$4830 \times 0,77 = 3719,1 \text{ €}$$

La cotización empresarial a la formación profesional por los mismos conceptos le corresponde el 0,60% del coste total de mano de obra:

$$4830 \times 0,006 = 28,98 \text{ €}$$

CONCEPTO	UNIDAD	Nº UNIDADES
Régimen Seguridad Social	Euros	2157,4
Cotización al desempleo	Euros	3719,1
Cotización Formación Profesional	Euros	28,98
TOTAL	Euros	5905,48

Tabla 3. Cotización a la Seguridad Social. Fuente: elaboración propia.

CONCEPTO	UNIDAD	Nº UNIDADES
Coste total ingeniero	Euros	4830
Cotización total Seguridad Social	Euros	5905,48
TOTAL	Euros	10735,48

Tabla 4. Total mano de obra. Fuente: elaboración propia.

3.2. Equipos (software y hardware)

Para la realización del trabajo se ha utilizado el equipo estándar de la oficina técnica instalado en la organización Vossloh España S.A. y considerados, a nivel de costes, incluidos como gastos generales. Se considerarán para el cálculo:

- PC conectado al sistema general
- Monitor de 19"
- Periféricos estándar
- Programa SAP

Siendo el valor del equipo adquirido.

CONCEPTO	UNIDAD	Nº UNIDADES
Unidad de PC	Euros	1150,00
Periféricos	Euros	645,00
Monitor (19")	Euros	585,00
Programa SAP	Euros	16000,00
TOTAL	Euros	18380,00

Tabla 5. Equipos. Fuente: elaboración propia.

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

Todo el equipo de una nueva adquisición ha sido comprado por sistema financiero con un periodo de amortización de cinco años y valor residual cero al término de los mismos.

Sólo se imputarán a nivel de costes los correspondientes a los financieros y de amortización durante el periodo del proyecto (ver punto 3.3).

3.3. AMORTIZACIONES

La entidad financiera estableció el siguiente cuadro de amortización de acuerdo con los siguientes datos:

- Capital18380,00€
- Periodo Cinco (5) años

Considerando los cinco años equivalentes a 60 meses, corresponde a una amortización directa de:

$$\frac{18380}{60} = 612,67 \text{ €/mes}$$

CONCEPTO	UNIDAD	Nº UNIDADES
Amortización directa	Euros	612,67
TOTAL	Euros	612,67

Tabla 6. Amortización mensual. Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los dos meses y medio de la duración del proyecto, hace un concepto de gastos de amortización de:

$$612,67 \times 2,5 = 1531,67\text{€}$$

3.4. GASTOS GENERALES

La organización de Vossloh España S.A. tiene asumido como gastos generales en presupuesto y ofertas el 1 2% del total de la mano de obra, los gastos de la Seguridad Social, las amortizaciones y los imprevistos.

CONCEPTO	UNIDAD	Nº UNIDADES
Mano de obra y Seguridad Social	Euros	10735,48
Amortizaciones	Euros	1531,67
SUBTOTAL	Euros	12267,15
TOTAL	Euros	1472,1

Tabla 7. Gastos generales. Fuente: elaboración propia.

4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

El presupuesto final de este proyecto se calcula como la suma de los valores obtenidos de los distintos apartados analizados y considerando el I.V.A del 21% sobre la suma total de los parciales.

CONCEPTO	UNIDAD	Nº UNIDADES
Mano de obra y Seguridad Social	Euros	10735,48
Amortizaciones	Euros	1531,67
Gastos generales	Euros	1472,1
SUBTOTAL	Euros	13739,25
IVA	Euros	2885,24
TOTAL	Euros	16624,5

Tabla 8. Resumen. Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

MATRIZ DE DISTANCIAS O COSTES

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
0		9,40	37,60	5,02	37,80	32,20	11,50	11,50	5,00	49,40	23,30	9,90	10,80	4,80	48,80	47,30	23,20	6,90	6,74	14,30	22,30	22,30	30,50	30,50	11,50	38,30	0,50	26,90	35,10	48,00	23,10	33,20	33,20	33,20
1	9,40		44,20	56,60	55,20	30,80	63,50	2,30	44,60	56,30	21,90	15,80	16,50	11,90	55,30	53,70	29,70	13,40	5,30	15,30	28,80	28,80	46,80	46,80	15,30	44,70	8,10	25,40	41,50	55,00	21,60	31,70	31,70	31,70
2	37,60	44,20		23,60	16,40	32,10	59,90	53,80	52,80	23,30	32,20	35,40	26,70	52,60	22,50	20,90	12,20	49,90	53,80	44,50	14,40	14,40	7,90	7,90	44,40	11,70	34,40	30,80	0,90	16,00	32,00	28,20	28,20	28,20
3	5,02	56,60	23,60		9,70	45,70	73,50	67,40	66,30	0,60	47,30	51,00	49,70	66,20	2,80	3,20	27,30	63,50	67,40	58,10	29,50	29,50	22,40	22,40	52,70	11,70	53,10	45,90	19,00	3,00	47,00	41,80	41,80	41,80
4	37,80	55,20	16,40	9,70		45,10	72,90	66,80	65,80	9,50	46,70	49,90	49,10	65,60	11,80	12,10	26,70	62,90	66,80	57,50	28,90	28,90	23,10	23,10	57,40	9,80	44,90	41,30	9,10	12,00	46,50	41,20	41,20	41,20
5	32,20	30,80	32,10	45,70	45,10		41,90	28,00	27,00	44,90	8,50	17,00	16,30	26,80	44,00	42,50	18,20	24,10	28,00	18,70	17,40	17,40	25,50	25,50	18,50	33,30	29,70	7,10	31,00	44,00	8,20	10,20	10,20	10,20
6	11,50	63,50	59,90	73,50	72,90	41,90		63,40	62,30	73,00	48,40	58,50	57,20	62,20	72,00	70,60	55,80	59,50	63,40	54,10	59,40	59,40	51,70	51,70	53,80	61,40	65,10	45,00	62,00	73,00	48,10	34,80	34,80	34,80
7	11,50	2,30	53,80	67,40	66,80	28,00	63,40		7,60	68,90	22,70	18,40	18,60	7,50	68,10	66,50	41,80	6,90	4,00	16,10	41,60	41,60	47,70	47,70	16,20	57,30	10,10	26,30	54,00	65,00	22,50	32,60	32,60	32,60
8	5,00	44,60	52,80	66,30	65,80	27,00	62,30	7,60		67,80	21,60	13,60	9,20	0,12	66,90	65,40	26,90	5,20	4,90	9,80	26,80	26,80	46,50	46,50	7,00	56,20	5,00	25,10	53,00	64,00	21,30	31,50	31,50	31,50
9	49,40	56,30	23,30	0,60	9,50	44,90	73,00	68,90	67,80		46,70	41,00	49,10	65,60	2,30	2,60	26,80	62,90	66,60	57,50	28,90	28,90	21,80	21,80	57,30	11,30	48,60	45,30	19,00	2,60	48,60	45,30	45,30	45,30
10	23,30	21,90	32,20	47,30	46,70	8,50	48,40	22,70	21,60	46,70		13,90	13,20	21,60	46,80	45,30	21,00	18,90	22,80	13,20	20,90	20,90	30,70	30,70	11,50	36,10	24,50	2,20	34,00	45,00	0,75	15,70	15,70	15,70
11	9,90	15,80	35,40	51,00	49,90	17,00	58,50	18,40	13,60	41,00	13,90		2,00	14,10	41,60	40,10	15,80	16,10	15,30	13,00	15,80	15,80	23,70	23,70	10,20	30,90	10,20	13,80	29,00	40,00	14,20	26,30	26,30	26,30
12	10,80	16,50	26,70	49,70	49,10	16,30	57,20	18,60	9,20	49,10	13,20	2,00		14,00	49,40	47,90	23,60	16,00	15,20	13,10	23,60	23,60	31,50	31,50	10,30	38,70	10,10	12,70	36,00	48,00	13,10	25,20	25,20	25,20
13	4,80	11,90	52,60	66,20	65,60	26,80	62,20	7,50	0,12	65,60	21,60	14,10	14,00		66,90	65,30	40,50	5,20	5,00	9,70	26,80	26,80	46,50	46,50	6,90	56,20	5,00	25,10	53,00	64,00	21,30	31,40	31,40	31,40
14	48,80	55,30	22,50	2,80	11,80	44,00	72,00	68,10	66,90	2,30	46,80	41,60	49,40	66,90		24,00	25,30	61,40	65,30	56,00	27,30	27,30	20,30	20,30	55,70	9,70	66,90	43,80	18,00	3,00	44,90	39,70	39,70	39,70
15	47,30	53,70	20,90	3,20	12,10	42,50	70,60	66,50	65,40	2,60	45,30	40,10	47,90	65,30	24,00		25,10	61,20	64,90	55,70	27,10	27,10	20,00	20,00	55,50	9,50	50,70	43,60	18,00	3,00	44,70	39,50	39,50	39,50
16	23,20	29,70	12,20	27,30	26,70	18,20	55,80	41,80	26,90	26,80	21,00	15,80	23,60	40,50	25,30	25,10		37,10	41,00	31,70	3,90	3,90	8,20	8,20	27,10	15,50	27,50	20,30	14,00	26,00	21,40	24,40	24,40	24,40
17	6,90	13,40	49,90	63,50	62,90	24,10	59,50	6,90	5,20	62,90	18,90	16,10	16,00	5,20	61,40	61,20	37,10		3,60	9,40	37,00	37,00	43,00	43,00	6,50	52,70	6,80	21,60	50,00	62,00	17,90	28,00	28,00	28,00
18	6,74	5,30	53,80	67,40	66,80	28,00	63,40	4,00	4,90	66,60	22,80	15,30	15,20	5,00	65,30	64,90	41,00	3,60		21,30	40,50	40,50	46,60	46,60	10,90	56,20	6,50	25,20	54,00	65,00	21,40	31,50	31,50	31,50
19	14,30	15,30	44,50	58,10	57,50	18,70	54,10	16,10	9,80	57,50	13,20	13,00	13,10	9,70	56,00	55,70	31,70	9,40	21,30		31,40	31,40	37,40	37,40	2,40	47,10	13,80	16,00	47,00	58,00	12,20	22,40	22,40	22,40
20	22,30	28,80	14,40	29,50	28,90	17,40	59,40	41,60	26,80	28,90	20,90	15,80	23,60	26,80	27,30	27,10	3,90	37,00	40,50	31,40		0,00	10,20	10,20	25,80	17,50	22,20	18,90	16,00	28,00	20,00	26,00	26,00	26,00
21	22,30	28,80	14,40	29,50	28,90	17,40	59,40	41,60	26,80	28,90	20,90	15,80	23,60	26,80	27,30	27,10	3,90	37,00	40,50	31,40	0,00		10,20	10,20	25,80	17,50	22,20	18,90	16,00	28,00	20,00	26,00	26,00	26,00
22	30,50	46,80	7,90	22,40	23,10	25,50	51,70	47,70	46,50	21,80	30,70	23,70	31,50	46,50	20,30	20,00	8,20	43,00	46,60	37,40	10,20	10,20		0,00	36,40	10,70	47,40	27,00	10,00	20,00	28,20	20,20	20,20	20,20
23	30,50	46,80	7,90	22,40	23,10	25,50	51,70	47,70	46,50	21,80	30,70	23,70	31,50	46,50	20,30	20,00	8,20	43,00	46,60	37,40	10,20	10,20	0,00		36,40	10,70	47,40	27,00	10,00	20,00	28,20	20,20	20,20	20,20
24	11,50	15,30	44,40	52,70	57,40	18,50	53,80	16,20	7,00	57,30	11,50	10,20	10,30	6,90	55,70	55,50	27,10	6,50	10,90	2,40	25,80	25,80	36,40	36,40		46,80	11,00	15,80	44,00	56,00	12,20	22,10	22,10	22,10
25	38,30	44,70	11,70	11,70	9,80	33,30	61,40	57,30	56,20	11,30	36,10	30,90	38,70	56,20	9,70	9,50	15,50	52,70	56,20	47,10	17,50	17,50	10,70	10,70	46,80		37,70	34,50	6,90	14,00	35,60	30,40	30,40	30,40
26	0,50	8,10	34,40	53,10	44,90	29,70	65,10	10,10	5,00	48,60	24,50	10,20	10,10	5,00	66,90	50,70	27,50	6,80	6,50	13,80	22,20	22,20	47,40	47,40	11,00	37,70	26,70	53,00	65,00	22,90	33,00	33,00	33,00	
27	26,90	25,40	30,80	45,90	41,30	7,10	45,00	26,30	25,10	45,30	2,20	13,80	12,70	25,10	43,80	43,60	20,30	21,60	25,20	16,00	18,90	18,90	27,00	27,00	15,80	34,50	26,70		30,60	44,00	1,60	13,40	13,40	13,40
28	35,10	41,50	0,90	19,00	9,10	30,60	61,90	54,00	53,30	18,60	33,90	28,90	36,40	52,80	18,00	18,00	14,10	50,10	53,80	47,00	16,10	16,10	10,00	10,00	44,40	6,90	53,40	30,60		16,00	30,90	36,00	36,00	36,00
29	48,40	54,50	16,00	3,00	11,80	43,80	73,30	65,40	64,40	2,60	45,40	40,30	47,80	64,30	3,00	3,00	25,50	61,60	65,30	58,40	27,60	27,60	20,40	20,40	55,80	13,80	64,80	44,00	16,00		43,80	47,50	47,00	47,50
30	23,10	21,60	31,90	47,00	46,50	8,20	48,10	22,50	21,30	48,60	0,75	14,20	13,10	21,30	44,90	44,70	21,40	17,90	21,40	12,20	20,00	20,00	28,20	28,20	12,20	35,60	22,90	1,60	30,90	43,80		15,00	15,00	15,00
31	33,20	31,70	28,20	41,80	41,20	10,20	34,80	32,60	31,50	45,30	15,70	26,30	25,20	31,40	39,70	39,50	24,40	28,00	31,50	22,40	26,00	26,00	20,20	20,20	22,10	30,40	33,00	13,40	36,00	47,50	15,00	0,00	0,00	0,00
32	33,20	31,70	28,20	41,80	41,20	10,20	34,80	32,60	31,50	45,30	15,70	26,30	25,20	31,40	39,70	39,50	24,40	28,00	31,50	22,40	26,00	26,00	20,20	20,20	22,10	30,40	33,00	13,40	36,00	47,50	15,00	0,00	0,00	0,00
33	33,20	31,70	28,20	41,80	41,20	10,20	34,80	32,60	31,50	45,30	15,70	26,30	25,20	31,40	39,70	39,50	24,40	28,00	31,50	22,40	26,00	26,00	20,20	20,20	22,10	30,40	33,00	13,40	36,00	47,50	15,00	0,00	0,00	0,00

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0				
2	2	2	0	4	2	8	2	6	2	0	2	0	6	0	0	6	4	2	6	0	0	10	0	0	1	1	0	4	0	0	0	0	0	0				
3	0	8	1	4	8	12	2	12	4	0	1	0	4	16	4	8	4	10	6	5	4	16	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
4	1	0	0	2	0	16	2	6	0	0	0	1	2	16	4	4	0	6	9	5	4	16	4	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
5	0	0	0	0	0	8	4	6	0	0	3	0	4	8	2	4	2	2	3	5	4	15	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0				
6	2	0	0	2	8	8	4	9	0	0	0	0	2	8	6	2	2	8	0	10	4	10	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2				
7	0	0	0	3	8	16	4	15	0	0	1	0	4	16	4	2	4	8	6	0	4	10	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0				
8	0	0	0	0	4	16	4	12	0	4	2	0	8	16	6	10	2	8	0	10	4	16	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
9	0	0	0	0	4	8	4	12	2	0	2	0	4	4	4	8	0	4	12	5	0	15	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
10	2	0	1	2	4	16	1	12	0	0	1	0	4	12	2	8	2	4	0	5	0	15	0	2	0	2	2	0	3	0	0	0	0	0				
11	0	2	0	4	8	16	3	0	0	2	2	0	0	16	0	4	4	12	0	10	0	10	0	0	1	3	0	0	3	0	0	0	0	0				
12	1	0	0	0	0	8	2	6	2	0	1	0	0	8	2	0	0	2	6	0	0	10	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
13	1	0	0	4	12	16	4	6	2	0	2	0	6	16	4	4	0	4	9	5	0	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
14	2	0	0	2	8	16	4	12	0	0	1	0	2	16	6	2	4	8	0	5	0	15	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
15	4	2	0	2	8	16	6	6	0	0	1	0	4	16	4	10	0	14	6	15	0	10	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
16	0	0	1	0	6	12	2	12	0	0	4	1	4	8	4	6	0	4	3	10	0	15	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
17	2	0	0	4	0	4	3	1	0	0	0	0	4	8	0	4	2	4	0	5	0	10	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
18	2	0	0	0	2	0	2	6	0	0	0	2	4	8	2	4	0	2	3	5	0	10	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19	2	0	0	4	6	16	4	12	0	4	1	0	0	8	4	2	2	8	6	10	0	10	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
20	0	0	0	2	8	8	4	12	1	4	1	0	6	16	2	8	2	8	0	15	0	15	0	2	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0				
21	0	0	0	2	4	8	1	9	2	4	1	1	12	16	2	10	4	12	6	10	0	15	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
22	2	0	0	2	6	16	1	15	0	2	2	0	8	16	2	8	0	12	3	15	0	5	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
23	2	0	2	4	6	4	2	12	0	0	0	0	2	16	4	6	0	8	0	20	4	15	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
24	0	0	0	6	4	16	2	9	0	0	0	1	4	16	6	6	4	6	3	15	0	10	0	2	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0			
25	0	2	0	2	12	16	4	12	0	0	1	2	8	16	6	8	4	10	6	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0		
26	1	2	0	4	10	16	4	12	2	0	1	0	8	16	6	6	4	12	3	20	4	15	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
27	2	4	0	8	4	16	3	12	0	0	2	1	0	8	4	4	4	4	6	5	0	15	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
28	2	0	0	8	4	16	2	15	2	0	0	2	4	16	0	8	0	8	3	15	0	15	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
29	4	0	2	4	2	12	4	6	1	0	3	2	4	8	2	10	0	8	6	5	0	15	0	2	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0		
30	2	0	0	2	4	16	3	12	0	0	0	0	8	16	2	0	0	12	0	15	0	10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
31	2	2	0	2	0	16	1	12	0	0	0	0	6	0	2	4	0	6	6	10	0	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
32	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	1	0	0	4	4	4	0	4	0	15	0	10	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
33	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	2	0	0	4	2	0	0	3	0	4	2	1	4	8	2	2	0	2	3	10	0	10	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	0	0	0	4	4	4	2	9	1	0	1	0	4	8	4	4	0	4	0	5	0	10	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	0	2	0	0	12	8	2	15	2	0	1	1	8	12	4	0	4	6	0	15	0	10	0	2	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	0	0	2	2	4	16	2	15	2	0	1	0	4	8	6	6	8	6	6	10	0	15	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	0	0	0	0	8	8	4	6	1	0	0	0	4	16	4	4	4	2	6	10	0	15	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	0	0	1	0	2	12	2	3	2	0	2	0	4	0	2	2	0	6	0	5	0	10	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	0	0	0	2	4	16	3	6	1	0	0	0	4	16	6	2	0	2	3	20	4	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	0	2	1	0	4	16	2	12	2	0	1	2	4	16	0	6	0	6	12	10	0	15	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	0	0	0	2	4	16	2	15	0	4	0	1	6	16	2	0	0	6	6	5	0	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	2	0	0	4	4	8	8	12	2	0	0	0	4	8	4	0	2	2	0	10	0	5	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	0	0	1	2	4	8	4	12	2	0	0	0	4	8	8	0	0	4	0	5	0	10	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47	2	4	1	0	8	12	0	12	1	0	0	0	12	16	2	2	0	6	6	5	0	15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48	0	0	0	0	4	8	2	12	0	0	0	0	0	8	2	0	2	8	3	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	2	1	0	2	4	1	9	0	0	0	2	8	0	2	4	0	4	0	10	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	1	0	0	2	4	8	0	3	2	0	1	0	2	8	2	2	0	6	3	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	15	0	10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
52	0	0	1	6	2	0	0	6	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0

MATRIZ DE DEMANDA
(SEMANA-PROVEEDOR)

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmecánico

RUTAS PARA LA SEMANA 3

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-2-16-0	16	73,00	4	2
2	0-5-0	8	64,40	3	1
3	0-6-0	12	23,00	3	1
4	0-7-11-20-23-21-0	16	88,40	7	5
5	0-8-17-0	16	17,10	4	2
6	0-13-19-0	10	28,80	4	2
7	0-14-0	16	97,60	3	1
8	0-18-0	10	13,48	3	1
9	0-22-0	16	61,00	3	1
10	0-25-4-9-15-3-0	15	68,42	7	5

DISTANCIA TOTAL(km).	535,20
PRECIO TOTAL(€).	244,05

RUTAS PARA LA SEMANA 4

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-1-7-18-0	9	22,44	5	3
2	0-4-15-12-16-23-0	15	160,10	7	5
3	0-6-0	16	23,00	3	1
4	0-8-26-13-0	9	19,80	5	3
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-19-0	9	28,60	3	1
7	0-20-25-21-0	11	79,60	5	3
8	0-22-0	16	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	492,14
PRECIO TOTAL(€).	224,42

RUTAS PARA LA SEMANA 6

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-1-16-5-33-17-0	16	102,40	7	5
2	0-4-15-14-0	16	122,70	5	3
3	0-6-0	8	23,00	3	1
4	0-7-18-0	12	22,24	4	2
5	0-8-26-13-0	13	19,80	5	3
6	0-20-0	10	44,60	3	1
7	0-21-22-0	14	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	397,74
PRECIO TOTAL(€).	181,37

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

RUTAS PARA LA SEMANA 7

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-11-16-7-0	14	159,10	7	5
2	0-5-0	8	64,40	3	1
3	0-6-0	16	23,00	3	1
4	0-8-0	15	10,00	3	1
5	0-13-26-18-0	14	23,04	5	3
6	0-14-0	16	97,60	3	1
7	0-19-24-17-0	12	30,10	5	3
8	0-21-22-0	14	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	470,24
PRECIO TOTAL (€)	214,43

RUTAS PARA LA SEMANA 8

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	16	23,00	3	1
2	0-7-18-0	12	22,24	4	2
3	0-8-26-17-0	15	23,70	5	3
4	0-11-15-5-10-0	16	124,30	6	4
5	0-13-21-0	12	53,90	4	2
6	0-14-0	16	97,60	3	1
7	0-16-23-0	14	61,90	4	2
8	0-20-0	10	44,60	3	1
9	0-22-0	16	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	512,24
PRECIO TOTAL(€).	233,58

RUTAS PARA LA SEMANA 9

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	8	23,00	3	1
2	0-7-18-0	8	22,24	4	2
3	0-8-26-0	13	10,50	4	2
4	0-9-15-14-25-0	12	124,00	6	4
5	0-11-16-5-0	14	76,10	5	3
6	0-13-19-0	16	28,80	4	2
7	0-20-0	5	44,60	3	1
8	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	390,24
PRECIO TOTAL(€).	177,95
RUTAS PARA LA SEMANA 10	

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-3-15-4-20-27-0	12	95,02	7	5
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-8-26-7-0	15	31,60	5	3
4	0-11-16-5-1-0	15	84,10	6	4
5	0-14-29-0	15	100,20	4	2
6	0-18-17-24-13-0	12	28,54	6	4
7	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	423,46
PRECIO TOTAL(€).	193,10

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

RUTAS PARA LA SEMANA 11

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-29-25-2-16-11-0	16	113,20	8	6
2	0-5-10-7-0	13	74,90	5	3
3	0-6-0	16	23,00	3	1
4	0-14-0	16	97,60	3	1
5	0-17-22-0	14	80,40	4	2
6	0-18-26-0	15	13,74	4	2
7	0-20-0	10	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	447,44
PRECIO TOTAL(€).	204,03

RUTAS PARA LA SEMANA 12

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	8	23,00	3	1
2	0-9-15-14-0	12	124,80	5	3
3	0-18-7-11-22-0	15	83,34	6	4
4	0-19-24-8-26-1-0	16	46,20	7	5

DISTANCIA TOTAL(km).	277,34
PRECIO TOTAL(€).	126,47

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

RUTAS PARA LA SEMANA 13

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-1-5-0	13	72,40	4	2
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-18-0	8	22,24	4	2
4	0-8-13-0	12	9,92	4	2
5	0-11-16-9-15-4-0	16	105,00	7	5
6	0-14-0	16	97,60	3	1
7	0-19-20-0	14	68,00	4	2
8	0-22-25-0	16	79,50	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	477,66
PRECIO TOTAL(€).	217,81

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

RUTAS PARA LA SEMANA 14

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-5-20-0	13	71,90	4	2
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-17-18-0	16	28,74	5	3
4	0-8-26-13-0	15	19,80	5	3
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-22-0	15	61,00	3	1
7	0-25-4-15-11-16-1-0	14	155,20	8	6

DISTANCIA TOTAL(km).	457,24
PRECIO TOTAL(€).	208,50
PRECIO TOTAL	217,81

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

RUTAS PARA LA SEMANA 15

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-5-0	8	64,40	3	1
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-8-26-7-0	14	31,60	5	3
4	0-11-16-1-0	15	64,80	5	3
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-18-0	14	13,48	3	1
7	0-19-24-13-0	12	28,40	5	3
8	0-20-0	15	44,60	3	1
9	0-22-0	10	61,00	3	1
10	0-25-4-15-2-0	10	118,70	6	4

DISTANCIA TOTAL(km).	547,58
PRECIO TOTAL(€).	249,70

RUTAS PARA LA SEMANA 16

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-3-15-14-0	13	81,02	5	3
2	0-6-0	12	23,00	3	1
3	0-8-26-7-0	16	31,60	5	3
4	0-11-16-5-0	16	76,10	5	3
5	0-12-22-0	16	72,80	4	2
6	0-18-13-19-0	11	35,74	5	3
7	0-20-0	10	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	364,86
PRECIO TOTAL(€).	166,38

RUTAS PARA LA SEMANA 17

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-25-1-0	8	101,70	5	3
2	0-6-0	4	23,00	3	1
3	0-7-17-13-26-18-0	15	41,84	7	5
4	0-9-14-16-8-0	16	108,90	6	4
5	0-20-22-0	15	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	338,44
PRECIO TOTAL(€).	154,33

RUTAS PARA LA SEMANA 18

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-1-7-18-0	6	22,44	5	3
2	0-12-8-26-13-19-0	16	54,00	7	5
3	0-14-15-5-16-0	16	156,70	6	4
4	0-20-22-25-0	16	81,50	5	3

DISTANCIA TOTAL(km).	314,64
PRECIO TOTAL(€).	143,48

RUTAS PARA LA SEMANA 19

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-14-0	16	122,70	5	3
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-18-0	12	22,24	4	2
4	0-8-26-17-0	16	23,70	5	3
5	0-11-16-5-10-1-0	15	83,70	7	5
6	0-19-20-0	16	68,00	4	2
7	0-22-25-0	11	79,50	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	422,84
PRECIO TOTAL(€).	192,82

RUTAS PARA LA SEMANA 20

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-5-10-30-24-0	15	65,15	6	4
2	0-6-0	8	23,00	3	1
3	0-8-26-0	15	10,50	4	2
4	0-11-16-9-15-4-0	14	105,00	7	5
5	0-13-17-7-0	12	28,40	5	3
6	0-14-0	16	97,60	3	1
7	0-18-0	8	13,48	3	1
8	0-20-0	15	44,60	3	1
9	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	448,73
PRECIO TOTAL(€).	204,62

RUTAS PARA LA SEMANA 21

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-5-10-7-0	9	74,90	5	3
2	0-6-0	8	23,00	3	1
3	0-8-26-17-0	16	23,70	5	3
4	0-9-15-4-25-0	10	112,20	6	4
5	0-11-16-12-0	12	60,10	5	3
6	0-13-0	12	9,60	3	1
7	0-14-0	16	97,60	3	1
8	0-18-0	12	13,48	3	1
9	0-19-20-0	16	68,00	4	2
10	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	543,58
PRECIO TOTAL(€).	247,87

RUTAS PARA LA SEMANA 22

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-11-16-1-0	16	144,90	7	5
2	0-5-10-30-19-24-7-0	15	83,75	8	6
3	0-6-0	16	23,00	3	1
4	0-8-26-0	16	10,50	4	2
5	0-13-22-0	13	81,80	4	2
6	0-14-0	16	97,60	3	1
7	0-18-0	12	13,48	3	1
8	0-20-0	15	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	499,63
PRECIO TOTAL(€).	227,83

RUTAS PARA LA SEMANA 23

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-3-15-4-25-21-0	16	69,92	7	5
2	0-5-16-1-7-0	16	93,90	6	4
3	0-6-0	4	23,00	3	1
4	0-8-26-13-0	16	19,80	5	3
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-18-0	8	13,48	3	1
7	0-20-0	20	44,60	3	1
8	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	423,30
PRECIO TOTAL(€).	193,02

RUTAS PARA LA SEMANA 24

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-5-0	16	124,60	5	3
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-31-22-25-0	15	113,30	6	4
4	0-12-16-8-0	16	66,30	5	3
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-18-0	6	13,48	3	1
7	0-19-24-17-13-0	13	33,20	6	4
8	0-20-0	15	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	516,08
PRECIO TOTAL(€).	235,33

RUTAS PARA LA SEMANA 25

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-2-0	10	108,40	5	3
2	0-5-31-0	14	75,60	4	2
3	0-6-0	16	23,00	3	1
4	0-7-11-16-12-0	15	80,10	6	4
5	0-8-17-0	16	17,10	4	2
6	0-13-0	8	9,60	3	1
7	0-14-0	16	97,60	3	1
8	0-18-0	10	13,48	3	1
9	0-19-22-0	16	82,20	4	2
10	0-20-0	10	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	551,68
PRECIO TOTAL(€).	251,57

RUTAS PARA LA SEMANA 26

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-1-5-0	11	72,40	4	2
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-8-0	12	10,00	3	1
4	0-9-15-4-25-0	13	112,20	6	4
5	0-13-0	8	9,60	3	1
6	0-14-0	16	97,60	3	1
7	0-18-0	12	13,48	3	1
8	0-19-24-17-7-0	13	41,60	6	4
9	0-20-0	20	44,60	3	1
10	0-21-2-16-11-0	13	74,60	6	4
11	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	546,60
PRECIO TOTAL(€).	249,25

RUTAS PARA LA SEMANA 27

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-2-0	16	108,40	5	3
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-17-19-0	13	42,10	5	3
4	0-8-26-12-0	15	30,90	5	3
5	0-14-20-0	13	98,40	4	2
6	0-18-0	4	13,48	3	1
7	0-22-0	15	61,00	3	1
8	0-27-11-16-5-1-0	14	114,90	7	5

DISTANCIA TOTAL(km).	492,18
PRECIO TOTAL(€).	224,43

RUTAS PARA LA SEMANA 28

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-1-5-16-12-0	16	92,80	6	4
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-19-25-4-9-0	16	143,40	7	5
4	0-8-0	15	10,00	3	1
5	0-13-26-18-0	15	23,04	5	3
6	0-14-0	16	97,60	3	1
7	0-20-0	15	44,60	3	1
8	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	495,44
PRECIO TOTAL(€).	225,92

RUTAS PARA LA SEMANA 29

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-1-7-0	8	23,20	4	2
2	0-6-0	12	23,00	3	1
3	0-8-26-18-0	16	23,24	5	3
4	0-11-16-5-0	15	76,10	5	3
5	0-12-20-25-28-4-0	15	105,70	7	5
6	0-14-9-15-3-0	13	61,92	6	4
7	0-19-24-13-0	12	28,40	5	3
8	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	402,56
PRECIO TOTAL(€).	183,57

RUTAS PARA LA SEMANA 30

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	16	23,00	3	1
2	0-8-0	12	10,00	3	1
3	0-13-24-7-0	12	39,40	5	3
4	0-14-0	16	97,60	3	1
5	0-18-0	12	13,48	3	1
6	0-20-0	15	44,60	3	1
7	0-22-0	10	61,00	3	1
8	0-25-4-15-5-1-0	11	142,90	7	5

DISTANCIA TOTAL(km).	431,98
PRECIO TOTAL(€).	196,98

RUTAS PARA LA SEMANA 31

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-2-16-22-0	15	121,70	7	5
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-18-0	7	22,24	4	2
4	0-8-26-1-0	16	27,50	5	3
5	0-13-19-0	12	28,80	4	2
6	0-20-0	10	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	267,84
PRECIO TOTAL(€).	122,14

RUTAS PARA LA SEMANA 32

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-14-15-11-16-7-0	15	182,00	7	5
2	0-18-26-8-24-0	15	36,74	6	4
3	0-20-0	15	44,60	3	1
4	0-22-0	10	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	352,94
PRECIO TOTAL(€).	160,94

RUTAS PARA LA SEMANA 33

Núm. Ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-7-0	2	23	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	23
PRECIO TOTAL(€).	10,49

RUTAS PARA LA SEMANA 36

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-15-14-0	14	122,70	5	3
2	0-11-16-5-10-8-26-0	16	79,50	8	6
3	0-12-22-0	11	72,80	4	2
4	0-19-24-13-18-1-0	12	43,30	7	5
5	0-20-0	10	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	362,90
PRECIO TOTAL(€).	165,48

RUTAS PARA LA SEMANA 37

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	4	23,00	3	1
2	0-8-26-13-0	16	19,80	5	3
3	0-9-15-4-0	9	101,90	5	3
4	0-14-25-0	9	96,80	4	2
5	0-18-7-11-16-5-0	15	95,34	7	5
6	0-20-22-0	15	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	399,84
PRECIO TOTAL(€).	182,33

Optimización de la cadena de abastecimiento de materia prima en una empresa del sector metalmeccánico

RUTAS PARA LA SEMANA 38

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-5-0	12	64,40	3	1
2	0-6-0	8	23,00	3	1
3	0-7-11-22-12-0	14	95,90	6	4
4	0-8-0	15	10,00	3	1
5	0-9-15-2-28-25-0	11	119,00	7	5
6	0-14-0	12	97,60	3	1
7	0-17-24-13-26-0	16	25,80	6	4
8	0-18-0	6	13,48	3	1
9	0-20-0	15	44,60	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	493,78
PRECIO TOTAL(€).	225,16

RUTAS PARA LA SEMANA 39

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-9-15-3-0	12	58,12	6	4
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-11-16-5-0	13	96,10	6	4
4	0-8-26-0	16	10,50	4	2
5	0-13-20-0	14	53,90	4	2
6	0-14-25-0	10	96,80	4	2
7	0-18-0	6	13,48	3	1
8	0-19-24-17-0	16	30,10	5	3
9	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	432,50
PRECIO TOTAL(€).	197,22

RUTAS PARA LA SEMANA 40

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	8	23,00	3	1
2	0-13-26-8-16-0	16	64,90	6	4
3	0-14-0	16	97,60	3	1
4	0-18-7-17-19-0	16	41,34	6	4
5	0-20-0	10	44,60	3	1
6	0-22-0	15	61,00	3	1
7	0-25-9-15-5-0	15	126,90	6	4

DISTANCIA TOTAL(km).	398,34
PRECIO TOTAL(€).	181,64

RUTAS PARA LA SEMANA 41

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	12	23,00	3	1
2	0-7-18-13-0	12	25,30	5	3
3	0-8-11-16-5-25-9-15-3-0	16	108,02	10	8
4	0-20-22-0	15	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	219,32
PRECIO TOTAL(€).	100,01

RUTAS PARA LA SEMANA 42

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-5-16-9-15-4-25-0	16	140,00	8	6
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-7-18-0	5	22,24	4	2
4	0-8-13-19-0	13	29,12	5	3
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-20-0	20	44,60	3	1
7	0-21-0	4	44,60	3	1
8	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	364,56
PRECIO TOTAL(€).	166,24

RUTAS PARA LA SEMANA 43

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-3-9-5-2-16-11-0	16	120,52	8	6
2	0-6-0	16	23,00	3	1
3	0-8-26-7-0	16	31,60	5	3
4	0-13-20-0	14	53,90	4	2
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-18-0	6	13,48	3	1
7	0-19-24-12-0	15	37,80	5	3
8	0-22-25-0	16	79,50	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	420,92
PRECIO TOTAL(€).	191,94

RUTAS PARA LA SEMANA 44

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	16	23,00	3	1
2	0-8-0	15	10,00	3	1
3	0-12-22-0	16	72,80	4	2
4	0-13-19-0	12	28,80	4	2
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-18-0	6	13,48	3	1
7	0-20-0	5	44,60	3	1
8	0-25-4-15-5-10-7-0	15	145,40	8	6

DISTANCIA TOTAL(km).	554,28
PRECIO TOTAL(€).	252,75

RUTAS PARA LA SEMANA 45

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	8	23,00	3	1
2	0-7-17-24-13-0	16	36,60	6	4
3	0-8-26-0	16	10,50	4	2
4	0-9-15-4-0	10	101,90	5	3
5	0-18-1-5-14-0	16	135,64	6	4
6	0-20-22-0	15	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	370,64
PRECIO TOTAL(€).	169,01

RUTAS PARA LA SEMANA 46

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-4-9-15-3-0	13	58,12	6	4
2	0-6-0	8	23,00	3	1
3	0-7-18-13-0	12	25,30	5	3
4	0-8-26-0	14	10,50	4	2
5	0-14-25-5-0	13	124,00	5	3
6	0-20-22-0	15	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	303,92
PRECIO TOTAL(€).	138,59

RUTAS PARA LA SEMANA 47

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-2-16-5-1-0	16	108,20	6	4
2	0-6-0	12	23,00	3	1
3	0-8-26-0	13	10,50	4	2
4	0-13-0	12	9,60	3	1
5	0-14-0	16	97,60	3	1
6	0-18-0	6	13,48	3	1
7	0-19-20-9-15-3-0	15	85,42	7	5
8	0-22-0	15	61,00	3	1

DISTANCIA TOTAL(km).	408,80
PRECIO TOTAL(€).	186,41

RUTAS PARA LA SEMANA 48

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	8	23,00	3	1
2	0-8-17-7-0	16	28,60	5	3
3	0-14-15-5-0	14	147,50	5	3
4	0-18-0	8	13,48	3	1
5	0-19-0	3	28,60	3	1
6	0-20-22-0	15	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	304,18
PRECIO TOTAL(€).	138,71

RUTAS PARA LA SEMANA 49

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-3-15-2-16-5-6-0	15	112,92	8	6
2	0-7-13-0	9	23,80	4	2
3	0-12-8-26-18-0	16	38,24	6	4
4	0-20-22-0	15	63,00	4	2

DISTANCIA TOTAL(km).	237,96
PRECIO TOTAL(€).	108,51

RUTAS PARA LA SEMANA 50

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-6-0	8	23,00	3	1
2	0-14-9-15-4-0	14	103,60	6	4
3	0-18-8-13-0	11	16,56	5	3
4	0-19-22-11-16-5-1-0	16	149,60	8	6

DISTANCIA TOTAL(km).	292,76
PRECIO TOTAL(€).	133,50

RUTAS PARA LA SEMANA 51

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-14-15-1-7-0	12	140,30	6	4
2	0-20-0	15	44,60	3	1
3	0-22-32-8-26-0	16	87,70	6	4

DISTANCIA TOTAL(km).	272,60
PRECIO TOTAL(€).	124,31

RUTAS PARA LA SEMANA 52

Núm. ruta	Secuencia	Carga total	Distancia total	Núm. proveedores	Núm. Proveedores sin Depot
1	0-3-15-4-0	9	58,12	5	3
2	0-5-32-22-0	14	93,10	5	3
3	0-8-20-0	16	54,10	4	2
4	0-18-0	4	13,48	3	1

DISTANCIA TOTAL.	218,80
PRECIO TOTAL	99,77