

# GESTIÓN DE RUTAS EN LA RECOGIDA DE LECHE. ESTUDIO DE CASO

Carlos Amiama

Jacobo Salgado

José Manuel Pereira

*Universidad de Santiago de Compostela*

## Abstract

The cooperative FEIRACO collects milk from over 600 farms. This cooperative has a fleet of 11 trucks with isothermal tankers and different capacities to perform various daily collection routes. The dairy farms have a collection rate of daily or every two days, and each has an associated volume that has remained relatively stable throughout the year, and a quality, which can vary. Additionally, there are restrictions on access to farms, so that not all vehicles have access to all farms.

This paper studied the application of heuristics (applied to an initial solution generated by the algorithm of Solomon), mainly based on heuristics proposed by Kirkpatrick called simulated annealing. With the use of these techniques we want to reduce the number of km traveled by trucks, creating routes that are compatible with the existing constraints and improving the sequence of arrival of vehicles at the plant, since it has been found that, currently, download queues reduce the efficiency process.

**Keywords:** *Route management; optimization; logistics*

## Resumen

La cooperativa FEIRACO recoge leche procedente de más de 600 explotaciones. Para ello dispone de una flota de 11 cisternas isotérmicas, de diferentes capacidades, que realizan varias rutas de recogida diarias. Las explotaciones tienen una cadencia de recogida diaria o cada dos días y cada una tiene asociado un volumen, que se mantiene relativamente estable a lo largo del año, y una calidad, que puede variar. Adicionalmente existen restricciones de acceso a las explotaciones, de forma que no todos los vehículos pueden acceder a todas las explotaciones.

En este trabajo se ha analizado la aplicación de técnicas heurísticas (aplicadas a una solución inicial generada con el algoritmo de Solomon), fundamentalmente basadas en la heurística propuesta por Kirkpatrick denominada "recocido simulado". Se ha perseguido, con la utilización de estas técnicas, disminuir el número de km recorridos por los camiones, generando rutas que fuesen compatibles con las restricciones existentes y mejorar la secuencia de llegada de los vehículos a la planta, ya que se ha detectado que actualmente existen colas de descarga que restan eficiencia al proceso de recogida.

**Palabras clave:** *Gestión de ruta, optimización; logística*

## 1. Introducción

Debido a la gran presión de los mercados, en especial de la agricultura, cada vez más liberalizados y globalizados, y en donde es muy complicado competir, se hace de vital importancia, aumentar la eficiencia en todos y cada uno de los aspectos de mercado, para alcanzar productos de calidad diferenciada a precios competitivos, que permitan mantener la actividad del sector agrario Gallego.

En la industria láctea, los costes en la recogida de materia prima, cada vez adquieren más importancia debido a la constante escalada de los precios de la energía. Por ello, es necesario optimizar este proceso, evitando así que su peso específico disminuya considerablemente la cuenta de resultados de la cooperativa. La cooperativa objeto de estudio, recoge leche a más de 600 ganaderos, lo que supone la realización de un gran número de rutas todos los días del año.

La recogida de leche, es un proceso en el que intervienen multitud de factores y restricciones, por lo que conseguir una adecuada gestión de las rutas de recogida, es un reto para cualquier industria láctea. Identificar la ruta que garantiza el mínimo coste de recogida de la leche es un problema de rutas (VRP) y a su vez una variante del problema del viajante (TSP) (Hesse, 1997). Se han desarrollado innumerables aplicaciones que proporcionan soluciones factibles, con distintas configuraciones en función del tipo de operación, el tiempo del que se disponga para la toma de decisiones, el objetivo, y las restricciones a considerar (Bräysy *et al.*, 2008).

En estudios previos Dooley *et al.* (2005) utilizaron para resolver el problema de recogida de leche la heurística del vecino más cercano, que genera una solución inicial, en asociación con algoritmos genéticos que buscaran mejorar esa solución (Merz and Freisleben, 1999).

En este trabajo se ha realizado un análisis de la situación actual de la recogida de leche, identificando los elementos críticos que menguan la eficiencia del proceso. Posteriormente se han evaluado los resultados obtenidos con una herramienta para gestión de rutas, analizando los ahorros obtenidos en términos económicos y de tiempo respecto a la situación actual.

## **2. Metodología**

Nuestro estudio se ha centrado en la actividad de recogida de leche en la cooperativa FEIRACO. Se ha monitorizado este proceso con el fin de determinar la problemática actual y evaluar la mejora que las técnicas de gestión de rutas podrían suponer para el mismo. El estudio comparativo se ha centrado en dos jornadas de recogida monitorizadas en enero de 2012. El ámbito del estudio ha abarcado la totalidad de explotaciones recogidas por la cooperativa.

Para la consecución de los objetivos planteados, ha sido necesario realizar una serie de pasos previos, que pueden resumirse en:

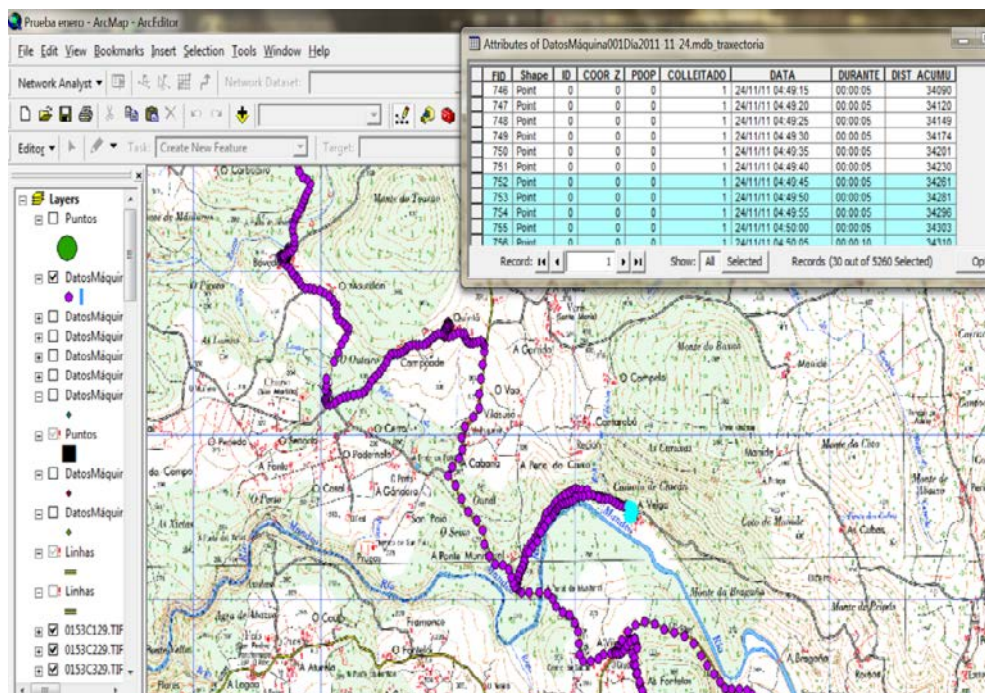
- Creación de una red de caminos digital en un sistema de información Geográfica
- Georreferenciación y caracterización de las explotaciones
- Caracterización de la flota de vehículos de recogida
- Implementación de la heurística

### **2.1 Creación de una red de caminos digital en un Sistema de Información Geográfica**

Ha sido necesaria la recolección de datos de las rutas seguidas por cada uno de los vehículos a analizar, instalando un GPS Datalogger en cada uno de los camiones estudiados, durante un período de dos semanas, durante el mes de junio de 2011.

El GPS se ha configurado para que almacenase la posición del vehículo en tramos de tiempo de 5 segundos. En la figura 1 se muestra un ejemplo de la trayectoria seguida por uno de los vehículos de recogida de leche.

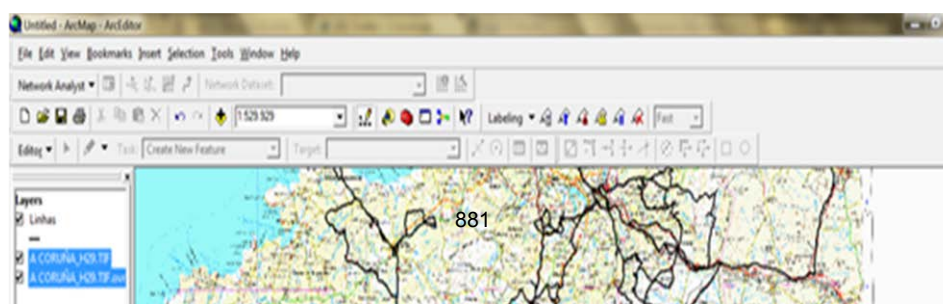
Figura 1: Visualización de una ruta seguida por un camión.



Se ha desarrollado una aplicación que, a partir de los datos capturados por el GPS genera la red de las vías de tránsito, y le asigna una impedancia a cada arco definida por los atributos “distancia” y “velocidad de tránsito”. La velocidad se ha determinado a partir de la distancia del arco y el tiempo necesario para recorrerlo. A partir de la información GPS se ha obtenido además el tiempo de carga de la leche a la cisterna para cada uno de los socios. En la figura 2 se muestra la red con las vías consideradas para la recogida.

Ha sido necesario además definir las restricciones de acceso de los vehículos a las explotaciones, obteniendo esta información a partir de entrevistas con los transportistas y los técnicos de la cooperativa.

Figura 2: Red digital de caminos completa



## **2.2 Georreferenciación y caracterización de las explotaciones**

La georreferenciación de las explotaciones se ha realizado a partir de la interpretación de los datos capturados por los GPS instalados en los camiones. La posición de las explotaciones, junto con la red viaria generada permitirá, con el uso de Network Analyst, determinar las distancias entre las distintas explotaciones y desde las explotaciones hasta la central lechera.

Ha sido necesario definir además los datos referentes a los Kg producidos en cada explotación, así como la cadencia de entrega (diaria o cada dos días). También ha sido necesario definir la calidad de la leche recogida, ya que existen restricciones asociadas a la misma. Esta información se ha conseguido directamente de los albaranes que los transportistas rellenan en cada entrega.

La información relativa a las horas de ordeño de los ganaderos (la recogida no puede realizarse durante este período) se ha obtenido mediante entrevistas telefónicas con los ganaderos.

## **2.3 Caracterización de la flota de vehículos de recogida**

Cada uno de los vehículos utilizados en la recogida se ha identificado por su capacidad, número de compartimentos y accesibilidad a las explotaciones. Además se ha definido un horario de trabajo para cada uno de los vehículos.

## **2.4 Implementación de la heurística**

Para la generación de las rutas se construye una solución inicial por adaptación a este contexto del algoritmo de Solomon (1987). Posteriormente se intenta una optimización de la solución inicial con el metaheurístico denominado "recocido simulado" (Kirkpatrick *et al.*, 1983). La función de calidad considera no solamente la distancia recorrida, sino el grado de cumplimiento de las restricciones consideradas (coincidencias en ventanas de ordeño, coincidencias en muelle de descarga, duración de la jornada de trabajo, ...).

## **2.5 Análisis de costes**

Para el cálculo de los costes fijos anuales se ha seguido la metodología propuesta en el Observatorio de Costes De Transporte Por Carretera (MFOM, 2006). Los datos, tanto para costes fijos como variables, se han obtenido directamente de los transportistas y de los suministradores, realizando una serie de cuestionarios. En la figura 3 se muestran los costes fijos y variables considerados.

**Figura 3. Esquema de costes de operación**



### 3. Resultados

El análisis de los resultados obtenidos se ha realizado partiendo de la situación actual de la central lechera, y determinando la repercusión, en términos de km recorridos y horas trabajadas, que la utilización de la herramienta de ayuda a la decisión tiene sobre estos valores. El estudio se realiza en períodos de dos días, ya que existen granjas que se recogen diariamente y granjas cuya cadencia de recogida es cada dos días. La evaluación de los resultados obtenidos se ha realizado diferenciando ahorros en términos de distancia y tiempo, y en términos de costes monetarios (€).

#### 3.1 Análisis de distancia recorrida y tiempos invertidos

En la situación actual existe una flota integrada por 11 camiones, 4 de 10.000 l de capacidad y el resto con una capacidad de 15.000 l. En la tabla 1 se reflejan los kg de leche recogida, los km recorridos por el conjunto de la flota, así como el número de horas de trabajo necesarias para completar el proceso de recogida.

**Tabla 1. Situación actual**

Nº camiones	Km recorridos	Horas trabajadas
-------------	---------------	------------------

<b>11</b>	<b>-4.450</b>	<b>-180h 21´</b>
-----------	---------------	------------------

Del análisis del proceso de recogida, se observa que la mejora en la eficiencia puede alcanzarse fundamentalmente por dos vías, la optimización en las rutas recorridas por los camiones y la mejora en la gestión de las descargas. En la práctica existen determinadas ventanas temporales en las que confluyen un gran número de vehículos en la dársena de descarga (limitadas en su capacidad a un máximo de dos vehículos descargando simultáneamente), lo que origina elevados tiempos de espera para la descarga de los vehículos.

Manteniendo las características de la flota actual, con la utilización de la herramienta de gestión de rutas se conseguirán ahorros en desplazamientos entorno al 23 % (véase tabla 2). Los ahorros en las horas trabajadas no vienen únicamente derivados de menor número de km recorridos, sino que también se obtienen por una mejor gestión en las descargas de las cisternas, al evitarse la confluencia de varios vehículos en las dársenas de descarga.

**Tabla 2. Simulación con flota actual de camiones**

Nº camiones	Km recorridos	Variación	Horas trabajadas	Variación
<b>11</b>	<b>3.891</b>	<b>-12,56 %</b>	<b>166h 24´</b>	<b>-7,75 %</b>

No obstante la potencialidad de estas herramientas proviene de poder simular situaciones distintas a las de partidas. De esta forma se han realizado dos análisis adicionales:

- Reducción del número de camiones aumentando su capacidad
- Incremento de la jornada horaria y eliminación de las restricciones de acceso

En el supuesto de la reducción del número de camiones, se ha considerado que en la cooperativa, a muy corto plazo, se quiere implementar un sistema de control de calidad en los camiones, lo que supondrá una fuerte inversión. Se quiere aprovechar esta circunstancia para reestructurar la flota. Desde la cooperativa quieren dimensionar una flota con 9 camiones, siendo 1 de ellos de 10.000 l, ya que es necesario un camión pequeño para acceder a las explotaciones de mayor dificultad de acceso, y el resto de 16.000 l. En la tabla 3 se reflejan los resultados obtenidos, así como el ahorro conseguido, respecto a la situación actual.

**Tabla 3. Simulación reduciendo la flota y aumentando su capacidad**

Nº camiones	Km recorridos	Variación	Horas trabajadas	Variación
<b>9</b>	<b>3.663</b>	<b>-17,69 %</b>	<b>160h 14´</b>	<b>-11,14 %</b>

Como puede observarse en la tabla 3 la reducción del número de camiones y el aumento de su capacidad repercutiría en una reducción significativa del número de km recorridos, y un ahorro importante sobre el tiempo necesario para completar el proceso de recogida. Consecuentemente puede concluirse que el incremento en la capacidad de los camiones deriva en una mejora en la eficiencia.

Por último hemos realizado una simulación considerando que una de las posibles situaciones futuras que se plantearon en las reuniones mantenidas con la cooperativa, fue que los camiones estuviesen en funcionamiento las 24 horas del día. En esta situación, sería de prever que hubiese un ahorro considerable en el transporte, ya que se necesitarían menos camiones para trabajar. Al trabajar a jornada completa son necesarios únicamente 4 camiones de 16.000 l de capacidad. Se ha supuesto que todas las granjas son accesibles para estos camiones. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 4.

**Tabla 4. Simulación con 24 horas de trabajo por camión**

Nº camiones	Km recorridos	Variación	Horas trabajadas	Variación
<b>4</b>	<b>3.523</b>	<b>-20,83 %</b>	<b>155h 36´</b>	<b>-13,79 %</b>

### 3.2 Análisis de costes

A partir de los datos obtenidos con cada una de las simulaciones, y aplicando la metodología descrita en el epígrafe 2.5 se ha realizado una cuantificación de los costes totales, desagregados en costes fijos y costes variables. Los valores utilizados para la determinación de los costes totales se han actualizado a fecha 31//01/2012. Los resultados se reflejan en la tabla 5. La columna variación se refiere, en términos porcentuales, a la desviación de la solución considerada respecto a la solución inicial.

**Tabla 5. Ahorro conseguido (€) con las diferentes soluciones planteadas**

	Situación actual	11 Camiones	Var.	9 Camiones	Var.	24 Horas	Var.
C. fijos	524.832	512.864		474.358		370.039	
C. variables	396.712	338.725		337.451		318.001	
Total costes	921.544	851.589	-7,59%	811.809	-11,91%	688.040	-25,34%

Como era previsible la opción de trabajo de 24 horas proporcionará mayores ahorros, fundamentalmente derivados de la reducción de los costes fijos.

## 4. Conclusiones

Del estudio realizado puede concluirse que la utilización de metaheurísticas proporciona rutas más eficientes que las realizadas en la actualidad, consiguiéndose una reducción en los km recorridos y una mejor gestión de las descargas, lo que se traduce en ahorros significativos de tiempo.

El incremento de capacidad en la flota de vehículos de recogida derivará en un mayor ahorro en la recogida, al igual que la recogida a jornada completa. En este último caso los ahorros en términos monetarios serán más notables, debido a una reducción en los costes fijos.

## 5. Referencias

Bräysy, O., Dullaert, W., Hasle, G., Mester, D., Gendreau, M., 2008. An effective multi-restart deterministic annealing metaheuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows. *Transportation Science* 42 (3), 371-386.

Dooley, A.E.; Parker, W.J., Blair, H.T., 2005. Modelling of transport costs and logistics for on-farm milk segregation in New Zealand dairying. *Computers and electronics in agriculture*, 40, pp 75-91.

Hesse, R., 1997. *Managerial spreadsheet modeling and analysis*. Unwin, Chicago, Boston, USA.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P., 1983. Optimization by simulated annealing. *Science*, New Series, 220 (4598), pp. 671-680.

Merz, P., Freisleben, B., 1999. Fitness landscapes and memetic algorithm design. In: Corne, D., Dorigo, M., Glover, F. (Eds.), *New ideas in optimization*. McGraw-Hill Publishing Company, Berkshire, England, pp. 245-260.

Ministerio de Fomento, MFOM (2006): "Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera". Publicación trimestral del Ministerio de Fomento.

Solomon M., (1987), "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints", *Operation Research* Vol. 32, p.254-265.

## 6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección Xeral de Innovación, Desenvolvemento e Innovación de la Consellería de Economía e Industria de la Xunta de Galicia, con cargo al proyecto "Loxistat. Sistema telemétrico e de xestión para a mellora da loxística da recollida do leite nas cooperativas agrarias (10MRU028E)".

Agradecimiento especial a la Asociación Galega de Cooperativas Agrarias, FEIRACO y al grupo de investigación de teoría de juegos de la USC, sin cuya colaboración este trabajo no habría sido posible.

## Correspondencia (Para más información contacte con):

Carlos Amiama Ares.  
Área de Proyectos de Ingeniería  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Santiago de Compostela  
Campus universitario s/n 27002 Lugo  
Phone: +34 982 252 231 Ext. 23627  
E-mail : carlos.amiamaa@usc.es