

03-005

### **Tools for the improvement of the efficiency in the feed distribution**

Carlos Amiama Ares; Martin Barrasa Rioja; José Manuel Pereira González; Javier Bueno Lema

Universidad de Santiago de Compostela;

Feed cost has the greatest impact on the financial viability of dairy farms. Consequently, there are two ways to reduce this cost, to reduce consumption or to decrease the purchase cost. Therefore, the purchase cost can be reduced fundamentally by two ways, the reduction of purchase price of the raw materials and the reduction of the costs of distribution. In this work we will focus on this last aspect.

At this study we expect to make an analysis of the implementation impact of decision support tools on the distribution cost of feed. We will focus the study on the use of techniques widely tested in the field of operational research, but with reduced implementation in the distribution of feed. We will also study the incidence of aspects such as number of routes, flexibility in delivery dates and the time invested in routes in the validity of the results obtained.

**Keywords:** Decision support; route management; cost analysis

### **Herramientas para la mejora de la eficiencia en la distribución de concentrados**

El coste del concentrado es el que mayor impacto tiene sobre la viabilidad financiera de una explotación de vacuno de leche. Consecuentemente existen dos vías para disminuir este coste, disminuir el consumo o disminuir el coste de adquisición. A su vez el coste de adquisición puede reducirse fundamentalmente por dos vías, la reducción de precio de compra de las materias primas y la reducción de los costes de distribución. En este trabajo nos centraremos en este último aspecto.

En este estudio se pretende hacer un análisis del impacto que tendrá la implementación de herramientas de ayuda a la decisión en el coste distribución de concentrados. Centraremos el estudio en la utilización de técnicas ampliamente contrastadas en el ámbito de la investigación operativa, pero con reducida implantación en la distribución de piensos. Asimismo se estudiará la incidencia que tienen aspectos tales como el número de rutas, la flexibilidad en las fechas de entrega y el tiempo de las rutas en la validez de los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** Ayuda a decisión; gestión de rutas; análisis costes

Correspondencia: carlos.amiama@usc.es



## 1. Introducción

Una de las partidas de gasto más importantes que afrontan las explotaciones de vacuno de leche es el concentrado necesario para cubrir las necesidades nutricionales. Consecuentemente cuanto menor sea el precio del concentrado mayor será el beneficio obtenido por las explotaciones. En la actualidad los elevados costes de los piensos derivan de aspectos coyunturales ligados a los elevados precios de las materias primas, así como los elevados costes de los combustibles que encarecen significativamente el transporte de materias primas y producto elaborado. Es precisamente en la mejora de este último aspecto en el que se centrará este trabajo.

El transporte es un punto crítico en la cadena de suministro, pudiendo alcanzar hasta un 15 % del coste final del producto (Mauleón, 2006). Cuando se realiza la gestión de rutas se optimizan los costes atendiendo a una serie de criterios, centrándose fundamentalmente en la minimización de la distancia recorrida y del tiempo de distribución. También es de crucial importancia un correcto dimensionamiento de los vehículos, acorde a la cantidad a transportar (López, 2005). El problema matemático del enrutamiento es muy complejo. Numerosos autores han trabajado tratando de optimizar las rutas realizadas por vehículos, básicamente con la utilización de métodos heurísticos y metaheurísticos, que proporcionan soluciones razonablemente buenas en tiempos computacionales reducidos (Pisinger & Ropke, 2007; Corberán, Martí & Romero, 2000; Corberán, Martí & Sanchís, 2002). Alguno de estos enfoques, empiezan a tener en cuenta las diferencias existentes entre los diferentes camiones que conforman la flota de vehículos, los llamados "Heterogeneous VRP" (Ruiz, Maroto & Alcaraz, 2004), o también los llamados "Distance constrained VRP" donde la duración de cada ruta está limitada a una cantidad determinada, (Mendoza, Medaglia & Velasco, N, 2009). Otro ejemplo aun mas reciente los podemos encontrar en los problemas "Trunk and Trailer Route Problems" (Derigs, Pullmann & Vogel, 2013), donde los vehículos y remolques que conforman la flota pueden acceder o no a determinados clientes en función de su tamaño. Aunque la ciencia avanza rápido en el campo del ruteo de vehículos, todavía son muy pocas las monografías que se enfrenten a problemas reales, en donde el numero de restricciones es alto.

Debido a los requisitos de datos y la complejidad de los problemas de transporte, ha habido un interés creciente en el uso de los Decision Support Systems (DSS) para analizarlos desde el nivel operativo. En la actualidad un nuevo camino se está abriendo en el campo de la logística con la integración de los sistemas GIS (Geographic Information Systems). Tarantilis y Kiranoudis (2002) desarrollaron un sistema de apoyo a las decisiones espaciales complejas para el VRP en el que utilizaron un GIS. Muchos de estos sistemas que se apoyan en GIS incorporan algoritmos de solución exactos y heurísticos. A estos sistemas se les denomina Spatial Decision Support Systems, SDSS, (Jha & Schonfeld, 2004; Maria, Coutinho-Rodriguez & Current, 2005).

Ya directamente relacionado con el problema a abordar en este trabajo Derigs, Pullmann y Vogel (2013) abordaron la gestión de rutas teniendo en cuenta vehículos de diferente capacidad, con restricciones de accesibilidad a distintas explotaciones (Truck and Trailer Route Problem).

En este trabajo se analizará el impacto que, sobre la eficiencia en la distribución de concentrados, tendrá la implementación de una serie de herramientas de ayuda a la decisión. Para ello implementaremos técnicas metaheurísticas que nos proporcionen las rutas a realizar, evaluando los resultados y realizando una serie de simulaciones para determinar la validez de los resultados obtenidos.

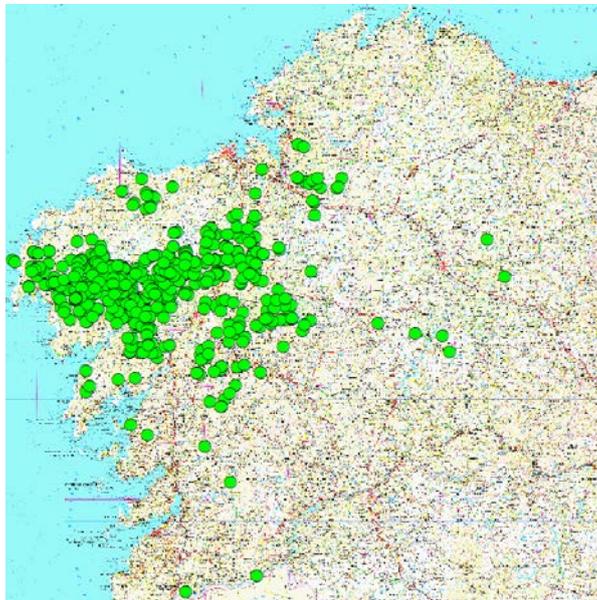
## 2. Material y métodos

### 2.1 Definición del problema a abordar

Para el desarrollo y validación de la herramienta propuesta se ha partido de las condiciones reales de una fábrica de pienso ubicada en el extremo noroeste de la península ibérica. La fábrica produce una serie de fórmulas destinadas a distintos tipos de explotaciones y cuenta con una flota de 7 vehículos (de capacidades y número de tolvas variable) para la distribución del concentrado.

El estudio se centrará en el mes de agosto de 2015. En este período la fábrica ha abastecido de pienso a un total de 437 explotaciones, ubicadas fundamentalmente en la provincia de A Coruña (véase figura 1). En relación a la tipología de los pedidos, las entregas de mayor tamaño se corresponden con fórmulas de lactación, a continuación de terneros y por último los de recría.

**Figura 1. Distribución de explotaciones**



### 2.2 Descripción del heurístico implementado

La herramienta se ha diseñado combinando un heurístico constructivo, en la que solución se ha construido paso a paso hasta obtener una solución factible mediante un heurístico de inserción secuencial (Solomon, 1987) y una metaheurística basado en el algoritmo "simulated annealing" (Kirkpatrick, Gelatt & Vecchi, 1983). A partir de una serie de alteraciones de la solución inicial (movimientos) se han ido construyendo otra serie de soluciones factibles, estableciendo un criterio de parada.

### 2.3 Restricciones del sistema

La función objetivo estará condicionada por una serie de restricciones del sistema, que será necesario considerar para que la solución obtenida sea de aplicación.

#### Restricciones relativas a los camiones

- La jornada laboral no debe de exceder el máximo permitido por la legislación vigente.

- No se debe de superar a Capacidad Máxima Permitida (CMA) de cada camión.
- No se pueden mezclar en una misma tolva fórmulas diferentes.
- Los camiones que inicien las rutas desde su casa deben de tener tiempo para volver a su origen dentro de su jornada.

#### Restricciones relativas a los pedidos

- Las solicitudes deben de ser atendidas antes de su fecha límite de entrega y en el caso de que no fuera posible la aplicación debe de avisar correctamente.
- Las solicitudes no pueden superar en ningún caso la capacidad de producción de la fábrica.
- Las solicitudes deberán de ser atendidas por camiones que puedan acceder a las explotaciones.

### **2.4 Simulaciones**

Para verificar la utilidad de la herramienta desarrollada se ha procedido a comparar la totalidad de km recorridos para la distribución de pienso durante el mes de agosto de 2015, con los km propuestos por la herramienta de ayuda a la decisión, repartiendo los mismos kg de pienso en los mismos días que han sido suministrados (Simulación 1).

A continuación se procederá a realizar una serie de simulaciones para evaluar el impacto que tiene una relajación en las fechas de entrega sobre los km recorridos. Para ello se han considerado dos escenarios distintos:

- Simulación 2. Un día de holgura. El pienso se entrega en el mismo día en que ha sido entregado o un día antes.
- Simulación 3. Dos días de holgura. El pienso se entrega en el mismo día en que ha sido entregado, el día anterior o dos días antes.

Adicionalmente se procederá a comprobar la incidencia que determinados aspectos pueden tener en los resultados obtenidos. Así se ha analizado:

- Incidencia del número de rutas
- Incidencia del tiempo de cada ruta
- Incidencia del número de pedidos

## **3. Resultados y discusión**

### **3.1 Análisis de distancias recorridas**

Como se ha indicado en el epígrafe de material y métodos se han realizado tres simulaciones, comparando los resultados con la situación real (véase tabla 1).

En la tabla 1 puede observarse como los resultados pueden calificarse de erráticos, ya que el comportamiento del heurístico es muy variable. Centrándonos en la simulación 1 (se mantienen las fechas de entrega respecto a las realmente ejecutadas) podemos observar como en 9 de los 20 días analizados los resultados proporcionados por la herramienta de ayuda a la decisión mejoran las rutas reales. No obstante en 11 de los días los resultados empeoran, siendo también desfavorable la comparativa del número total de km recorridos.

Como era de esperar la adición de holguras a la fecha de entrega del pedido mejora los resultados obtenidos. No obstante los resultados obtenidos en la simulación 2, globalmente siguen siendo peores que los resultados reales. En la simulación 3 los km recorridos son

inferiores a los obtenidos en las rutas reales. Sin embargo existen una serie de días, como por ejemplo el día 10/08/2015, en los que los resultados no solo empeoran al utilizar la herramienta de ayuda a la decisión, sino que con la adición de holguras se incrementan los km recorridos, lo que indica un mal funcionamiento de la herramienta diseñada.

Se ha realizado un contraste de hipótesis para la media utilizando un test t de Student, obteniendo diferencias significativas entre todos los tratamientos considerados para un nivel de significación del 99 %. Estos resultados aconsejan ahondar en el análisis de los datos, indagando sobre que aspectos pueden tener incidencia en el comportamiento del heurístico implementado. Para ello en los epígrafes siguientes se analizará la incidencia que el número de rutas, la duración de las rutas y el número total de pedidos tienen en los resultados obtenidos. Se pretende identificar un límite en el volumen de información a procesar a partir del cual los resultados del heurístico empeoren.

**Tabla 1. Comparativa distancia real/simulaciones (km)**

Fecha	Real	Simulación 1	Simulación 2	Simulación 3
03/08/15	1858	1842	2156	1976
04/08/15	1915	2151	2021	2031
05/08/15	2283	2418	2024	2002
06/08/15	1659	1438	1500	1529
07/08/15	1869	1507	1231	1432
10/08/15	1548	1730	2052	2366
11/08/15	1357	1181	995	1030
12/08/15	1428	1443	1325	1235
13/08/15	1532	1703	1188	1145
14/08/15	1432	1308	1052	595
17/08/15	1039	1282	1434	1488
18/08/15	1324	1296	1249	1269
19/08/15	1182	1206	1453	1423
20/08/15	1570	1656	1589	1457
21/08/15	2022	1787	1412	1218
24/08/15	1445	1687	1859	1805
25/08/15	2162	2400	2378	2047
26/08/15	1377	1577	1398	1482
27/08/15	1144	1056	1117	843
28/08/15	1310	1274	902	1107
<b>TOTAL</b>	<b>29598</b>	<b>31942</b>	<b>30335</b>	<b>29480</b>

### 3.2 Incidencia del número de rutas en los resultados

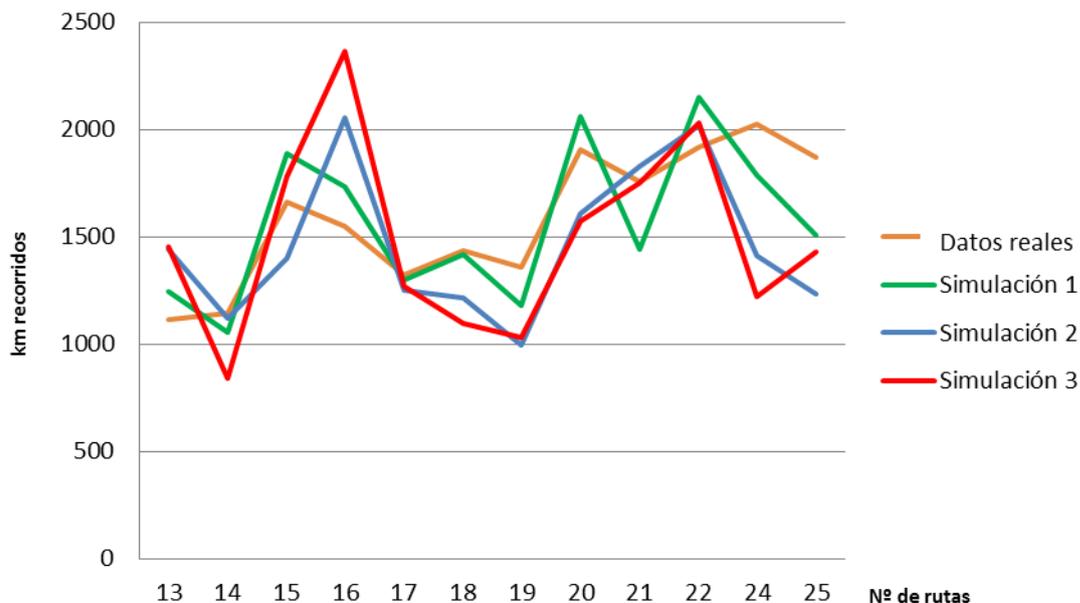
Un primer aspecto a analizar es la incidencia que el número de rutas totales que recorren los camiones en un determinado día, tiene en el comportamiento del heurístico. En la figura 2 se representan el número de rutas realizadas frente al total de km recorridos por la flota.

A priori (aunque no tiene porque ser siempre así) un mayor número de rutas se traducirá en un mayor número de km recorridos, ya que denotará un mayor número de entregas. Este comportamiento puede verse alterado por la existencia de alguna ruta de gran longitud, que

ocupe la mayor parte del tiempo del camión, si bien en general la tendencia será ascendente.

En la figura 2 puede observarse como en el caso de las rutas reales se mantiene el comportamiento previsto, de forma que aunque existen días con un número de rutas menor (p. ej. 15 rutas) en el que los km recorridos son elevados, lo que denota entregas en puntos alejados de la fábrica, en general a mayor número de rutas, mayor número de km recorridos.

**Figura 2. Evolución de la distancia recorrida en función del número de rutas**



Este comportamiento observado en los datos reales tiende a distorsionarse con la utilización de la herramienta de ayuda a la decisión, de forma que a mayor nivel de holgura considerada parece observarse una acentuación en las diferencias respecto a la situación real. Destaca por su acusada desviación la lectura observada para 16 rutas, que en el caso de la simulación 3 supera en km al resto de días analizados.

Tampoco parece detectarse una correlación entre el número de rutas y la calidad de los resultados obtenidos, de forma que en las fechas con menor número de rutas (y presumiblemente menor complejidad del problema a resolver) los resultados obtenidos no son notablemente mejores que los obtenidos en los días con elevado número de rutas.

### 3.3 Incidencia de la duración de las rutas en los resultados

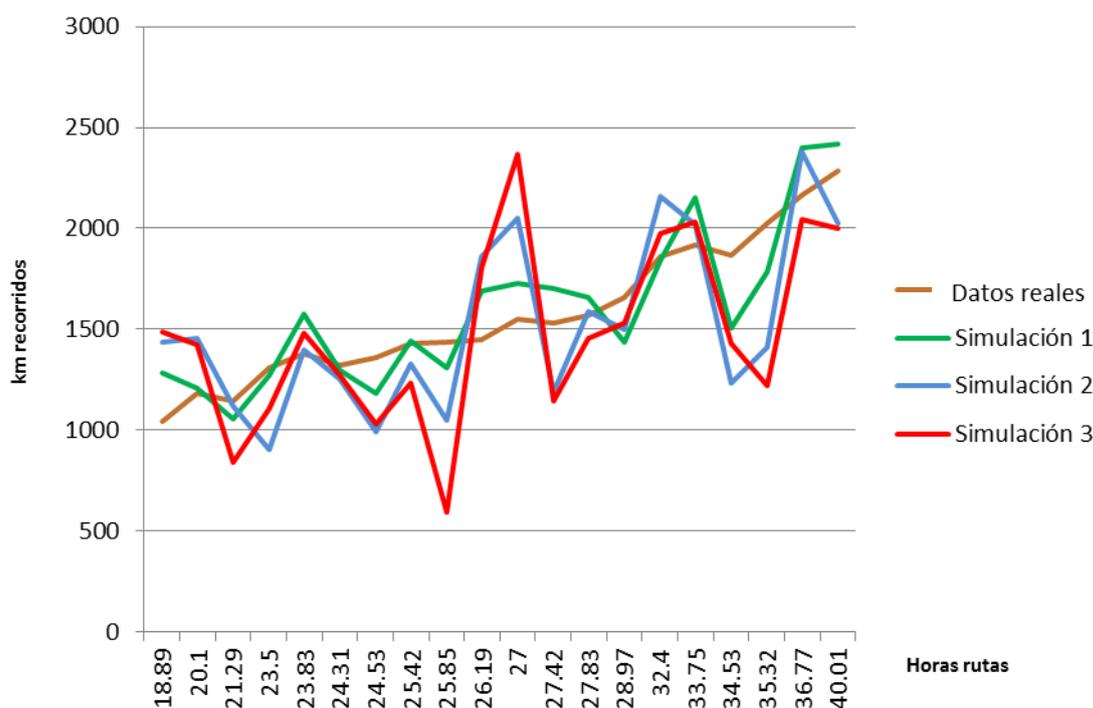
Con el objeto de buscar elementos que expliquen el comportamiento errático del heurístico implementado se ha analizado la incidencia que tiene la duración del total de rutas realizadas diariamente con el número de km recorridos.

En este análisis el comportamiento esperado debiera de corresponderse con una recta con una tendencia ascendente, ya que a más horas invertidas en las rutas, más km recorridos. No obstante, tal y como puede observarse en la figura 3, los datos reales no se ajustan exactamente a una recta, ya que en la duración de las rutas incidirán dos aspectos clave: el número de pedidos servidos en cada ruta y el tipo de vía por la que discurren los vehículos.

En relación al tipo de vía es obvio que cuando los vehículos transitan por vías estrechas, con trazados sinuosos o con mal firme reducen su velocidad de desplazamiento, lo que se traduce en mayores tiempos para cubrir las rutas. Pero también es necesario considerar el número de pedidos servidos en cada ruta, ya que el tiempo de conexión/desconexión del tubo de descarga al silo tiene una gran importancia, así como el propio acceso a la explotación. De esta forma las rutas que destinan toda la carga del camión al mismo cliente serán mucho más rápidas.

En la figura 3 se observa como el comportamiento real del sistema se ajusta a lo previsto inicialmente. No obstante los resultados obtenidos con la herramienta de ayuda a la decisión proporcionan nuevamente valores muy erráticos, con una elevada dispersión, acentuada con la incorporación de la holgura. Estos resultados dificultan observar un patrón claro de comportamiento que permita inferir que aspecto tiene un mayor peso en los resultados.

**Figura 3. Incidencia del número de horas de las rutas en la distancia**



### 3.4 Incidencia del número de pedidos en los resultados

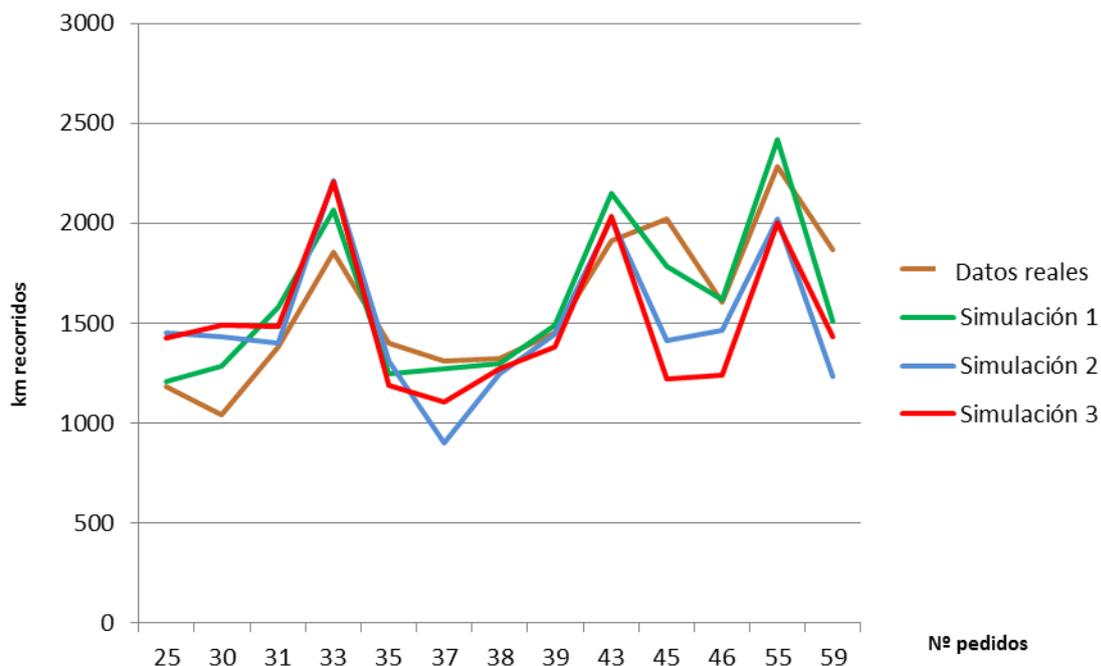
De forma similar a como se ha realizado con el número de rutas se intentará determinar una correlación entre el número de pedidos registrado cada uno de los días analizados con el número de km recorridos.

En la figura 4 se observan los resultados obtenidos. El comportamiento previsto de la tendencia en este análisis debiera de corresponderse con un incremento de los km a medida que se aumenta el número de pedidos. No obstante, si bien esta debe de ser la tendencia observada, puede suceder que un gran número de pedidos se concentren en las proximidades de la fábrica, o bien aparezcan días con un reducido número de pedidos pero

muy alejados de la fábrica, lo que se traduciría en un gran número de km recorridos para atender a las solicitudes.

En cualquier caso debiera de haber una similitud entre las figuras 2 y 4, ya que los días con un bajo número de rutas y muchos km de desplazamiento se corresponderían con días con bajo número de pedidos y una gran distancia recorrida.

**Figura 4. Evolución de la distancia recorrida en función del número de pedidos**



Del análisis de los datos reflejados en la figura 4 se concluye que, acorde a lo previsto, observando los datos reales a mayor número de pedidos existe una tendencia a que la distancia recorrida aumente. Además se observa una similitud en la gráfica en relación con la figura 2, pudiendo asociar el elevado número de km recorridos para servir 33 pedidos, con el día en que se realizaron 15 rutas, presumiendo que los pedidos se encontraban en zonas muy alejadas de la fábrica de pienso.

En este caso la herramienta de ayuda a la decisión parece aumentar la dispersión observada en los datos reales si bien, a diferencia de lo observado en la figura 2, el incremento de holgura no parece incrementar esta dispersión. A diferencia de los resultados en los epígrafes anteriores, en la figura 2 parece existir una ligera tendencia a empeorar los resultados obtenidos con el heurístico, a medida que aumenta el número de pedidos considerados (comportamiento habitual en las herramientas heurísticas). No obstante, la existencia de una zona central en la que se intercambia la tendencia (en comparación con los datos reales) no nos permite realizar una afirmación categórica.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se ha evaluado el comportamiento de una herramienta de ayuda a la decisión en la gestión de rutas de distribución de piensos, comparando los resultados con los datos registrados en un período de tiempo. Adicionalmente se ha evaluado el impacto

que la adición de holgura en las fechas de entrega de los pedidos tiene sobre los km recorridos.

En nuestro estudio podemos concluir que son necesarios estudios adicionales para depurar la herramienta de ayuda a la decisión desarrollada ya que los resultados generalmente no mejoran la solución real. Se ha analizado si aspectos relativos a la longitud total de las rutas, el tiempo invertido en realizarlas y el número de pedidos totales atendidos tienen alguna incidencia sobre los resultados. No se ha podido determinar con claridad cuales de estos aspectos tienen una mayor incidencia en la variabilidad de los resultados proporcionados por la herramienta. No obstante parece que existe una cierta correlación entre el número de pedidos considerados y la mejora en las soluciones proporcionadas.

Si bien la adición de holgura permite mejorar los resultados obtenidos frente a la situación real, también se ha detectado que este factor origina una mayor dispersión en los resultados, lo que dificulta la implementación de la herramienta en la realidad.

## 5. Referencias

- Corberán, A; Martí, R & Romero, A. (2000). Heuristics for the Mixed Rural Postman Problem. *Computers & Operations Research*, 27(2), pp. 183-203.
- Corberán, A; Martí, R & Sanchis, J. M. (2002). A GRASP heuristic for the mixed Chinese postman problem. *European Journal of Operational Research*, 142 (1), pp. 70-80.
- Derigs, U.; Pullmann, M. & Vogel, U. (2013). Truck and trailer routing problems, heuristics and computational experience. *Computers & Operations Research*, 40, pp. 536-546.
- Jha, M. & Schonfeld, P. (2004). A highway alignment optimization model using geographic information systems. *Transportation Research Part A*, 6(38), 455-481.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. & Vecchi, M. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science, New Series*, 220(4598), pp. 671-680.
- López, A. (2005). Diseño y optimización de la política de mantenimiento de una flota de vehículos. Proyecto Fin De Carrera. Universidad Pontificia De Comillas.
- Maria, J., Coutinho-Rodriguez, J. & Current, J. (2005). Interactive destination marketing system for small and medium-sized tourism destinations. *Tourism*, 1(53), pp. 45-54.
- Mauleón, M. (2006). Logística y Costos. Madrid. Diaz De Santos.
- Mendoza, J.; Medaglia, A. & Velasco, N. (2009). An evolutionary-based decision support system for vehicle routing: The case of a public utility. *Decision Support Systems*, 3(46), 730-742.
- Pisinger D. & Ropke S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 34 (8), pp. 2403-2435.
- Ruiz, R., Maroto, C. & Alcaraz, J. (2004). A decision support system for a real vehicle routing problem. *European Journal of Operation Research*, 3(153), 593-606.
- Solomon, M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265.
- Tarantilis, C. & Kiranoudis, C. (2002). Using a spatial decision support system for solving the vehicle routing problem. *Information & Management*, 5(39), 359-375.