

Sistema de Ayuda a la Decisión Espacial para la Distribución de Concentrado en Alimentación Animal

Spatial Decision Support System for Concentrate Feed Distribution in Animal Feeding

Amiama, C.*^a; Carpena, L.^b; Loza, J. R.^a

^a Grupo de Modelización, Energía y Mecanización en Biosistemas. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo (España).

^b Grupo de investigación Modelización, Optimización e Inferencia Estadística. Facultad de Informática. Universidad de La Coruña. Campus de Elviña s/n. 15071 A Coruña (España).

* carlos.amiaama@usc.es

Fecha de recepción: julio de 2018 / **Fecha de aceptación:** septiembre de 2018

Resumen

La gestión de la distribución de concentrados es un proceso que requiere un gran esfuerzo organizativo, dado al gran número de elementos de la cadena de suministro involucrados. En este trabajo se relaciona un estudio de caso, en el que se ha desarrollado e implementado una herramienta de ayuda a la decisión espacial para la gestión de la logística de distribución de concentrados. El objetivo cuando se habla de una gestión eficaz de la distribución no ha de relegarse únicamente a una búsqueda en la reducción de km recorridos por los vehículos, sino que ha de plantearse desde una óptica más ambiciosa, persiguiendo una mejor organización de la producción y una nivelación de la actividad. Consecuentemente la logística de distribución, no involucrará solamente a los vehículos de transporte, sino que requerirá involucrar a las áreas de producción, de pedidos y de transporte, como se ha evidenciado en este trabajo. La gestión de rutas ha de integrarse con una adecuada capacidad de previsión de consumos, que permita servir pedidos con anterioridad a la fecha en la que se alcanza el stock de seguridad, considerando además la capacidad productiva de la planta de fabricación. Para evaluar la viabilidad de la herramienta diseñada, se han comparado los resultados relativos a km recorridos y toneladas repartidas, previos a su implementación, con los obtenidos con posterioridad. Los resultados obtenidos reflejan un significativo ahorro, derivados de la utilización de las herramientas desarrolladas. Si bien estos ahorros han provenido en mayor medida de una mejor gestión de los pedidos que de una mejora en la gestión de las rutas de los vehículos, consecuentemente serán necesarios esfuerzos adicionales en la herramienta

de gestión de rutas, con el fin de reducir la participación del gestor en la reelaboración de las rutas propuestas por el sistema de ayuda a la decisión espacial.

Palabras clave: tiempos, movimiento, transporte, dieta animal.

Abstract

The management of the distribution of concentrates is a process that requires a great organizational effort, given the large number of elements of the supply chain involved. In this work a case study is related, in which a spatial decision aid tool for the management of concentrate distribution logistics has been developed and implemented. The objective when talking about effective distribution management should not be relegated only to a search in the reduction of km traveled by vehicles, but should be considered from a more ambitious perspective, pursuing a better organization of production and a leveling of the activity. Consequently, the logistics of distribution will not only involve transport vehicles, but will require the involvement of the production, ordering and transport areas, as evidenced in this work. Route management must be integrated with an adequate consumption forecasting capacity, which allows orders to be served before the date on which the safety stock is reached, considering also the production capacity of the manufacturing plant. To evaluate the viability of the tool designed, the results relative to km traveled and tons distributed prior to its implementation were compared with those obtained afterwards. The results obtained reflect a significant saving derived from the use of the developed tools, although these savings have come more from a better management of the orders than from an improvement in the management of vehicle routes. Consequently, additional efforts will be necessary in the route management management tool in order to reduce the participation of the manager in the re-elaboration of the routes proposed by the spatial decision support system.

Keywords: Times, movement, transport, animal diet.

Introducción

El ahorro de costes asociado a una mejora en la eficiencia de la gestión de los vehículos de transporte ha sido abordado por numerosos investigadores, ya que el transporte es un elemento fundamental en la cadena de suministro, ya que puede alcanzar hasta un 15 % del coste final del producto (Mauleón, 2006). Los problemas de rutas de vehículos, conocidos generalmente como VRP (acrónimo de *Vehicle Route Problem*) tratan de diseñar el conjunto óptimo de rutas para una flota de vehículos que han de servir a una serie de clientes desde o para uno o varios centros de procesado. Generalmente, se pretende minimizar los km recorridos o los costes del transporte. Este problema combinatorio es NP-Hard (Garey y Johnson, 1979), limita en gran medida la utilización de métodos exactos para su resolución, ya que los tiempos computacionales precisos para obtener soluciones factibles son muy elevados. Adicionalmente, suele ser difícil adaptar los modelos de programación entera a variaciones del VRP, como pueden ser la existencia de ventanas de tiempo, capacidades limitadas de los vehículos, vehículos compartimentados, existencia de múltiples almacenes, posibilidad de entrega y recogida. En consecuencia, ha de recurrirse a la utilización de métodos heurísticos y metaheurísticos, que proporcionan soluciones razonables para problemas con un gran número de variables, en tiempos relativamente reducidos. Se han desarrollado soluciones en diferentes contextos, con distintas variaciones del VRP (Kritikos y Ioannou, 2013; Derigs et al., 2013). En el ámbito de la distribución de concentrados Ruiz et al.

(2003) abordan un caso similar a este estudio de caso; se centran en la solución del VRP, obviando aspectos relativos a la previsión de demanda y capacidad de producción, de especial interés en este escenario.

En la actualidad, se está incrementando el interés por el uso de sistemas de ayuda a la decisión (SAD) que permitan abordar los problemas logísticos desde un enfoque operacional, integrando sistemas de información geográfica (SIG) que aumenten la versatilidad del sistema (Faiz et al., 2014; Amiama et al., 2015). Estos sistemas son denominados sistemas de ayuda a la decisión espacial (Sade). Adicionalmente, en los últimos años han aparecido estudios que apuntan hacia la conveniencia de dar al planificador un papel más importante en la resolución de problemas (Gacias et al., 2012; Sicilia et al., 2014), de forma que el gestor de rutas pueda modificar las rutas propuestas por el Sade.

El principal objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un Sade que facilite la gestión del proceso de distribución de concentrados al responsable de la planificación de una fábrica. No se pretende desarrollar una herramienta que reemplace al gestor logístico, sino que ha de generar soluciones que el operador evaluará y mejorará en su caso, fruto de su visión espacial del problema y de su conocimiento de la realidad.

Descripción del Problema

La planta de producción de concentrados, objeto de estudio, se sitúa Galicia (España)

y se caracteriza por fabricar diversas fórmulas para distintas especies (vacuno, porcino, aviar, etc.) y para distintos estadios (lactación, engorde, crecimiento, etc). La planta trabaja de lunes a viernes y su capacidad de producción ronda las 40 t.h⁻¹, estando condicionada por el número de fórmulas distintas a fabricar. Adicionalmente, es preciso considerar que la fábrica dispone de 16 silos en los que almacena fórmulas, no pudiendo mezclar en cada silo fórmulas distintas. Este aspecto será determinante a la hora de planificar las primeras rutas, ya que no podrán planificarse más pedidos que las fórmulas capaces de almacenar. Cada día se reparten en torno a 200 t de concentrado, distribuidas entre un número medio de 45 clientes, de un total de 450, con distancias que oscilan entre los 3 y los 200 km desde la planta de producción. La planta cuenta con una flota de 7 camiones, con una capacidad que varía desde las 8 a las 15 t y un número de tolvas (espacios en los que se compartimenta la carga de los camiones) entre 5 y 7. Los camiones poseen una carga máxima autorizada que no puede excederse y la jornada del camionero no excede las 8 horas. El contenido de cada tolva ha de ser destinado a un único cliente, ya que el camión no dispone de sistema de pesado. Existen restricciones de acceso de camiones a silos y además existe una fidelización de determinados clientes a camioneros específicos. Adicionalmente, existen camioneros que inician en su casa, la primera ruta del día, al estar muy distante de la planta de producción. Estas rutas son producidas y cargadas el día anterior a su distribución (facilitando la logística de almacenamiento de fórmulas para las

primeras rutas). El camionero recibe un precio por km recorrido y por t entregada, exigiéndose una ocupación mínima por tolva.

En el escenario inicial las rutas se planifican el día anterior al servicio, previa recepción de solicitudes de los clientes. Adicionalmente es preciso contemplar la existencia de una serie de pedidos urgentes, en número variable, que se generan el mismo día que han de ser entregados, y que exigen replanificar las rutas de los vehículos o en muchas ocasiones, crear rutas específicas para servir a esos clientes de última hora. Del análisis inicial de pedidos se concluye que existe un incremento de los pedidos en los últimos días de la semana (los clientes temen quedarse sin concentrado, el fin de semana) y los primeros días del mes (derivados de problemas de tesorería en las explotaciones). Estos picos en las solicitudes generan discontinuidades en la planta de producción y dificultan la optimización de las rutas de reparto.

A la vista de la situación de partida, se ha concluido que el enfoque no debiera de restringirse a abordar únicamente el VRP, tal y como se ha realizado en proyectos anteriores (Amiama et al, 2015), sino que debería integrar la gestión de pedidos, con el objeto de conseguir ahorros significativos en el número de km recorridos. Abordar el problema considerando únicamente los pedidos recibidos originará ineficiencias en las rutas, al darse situaciones en que, en días consecutivos, se tendrán que servir clientes próximos entre sí y muy alejados de la planta de producción. Adicionalmente, permanecerían los pedidos urgentes que,

como se ha comentado, obligarán a realizar replanificaciones.

Descripción del Sistema de Decisión Espacial

El sistema se ha estructurado en tres módulos, complementarios entre sí.

Módulo para gestión de pedidos. Tener capacidad de anticiparse a los pedidos permitirá tener más grados de libertad en la generación de rutas, al poder incluir en la determinación de las rutas de una jornada a los clientes que finalizan el concentrado en esa jornada, a los que finalizan en la anterior, y así sucesivamente. El servicio a un cliente con anterioridad a su solicitud estará siempre supeditado a no superar su capacidad de almacenamiento y a su aceptación explícita. La dificultad estriba en determinar el consumo diario medio (CDM) para cada fórmula en cada explotación, dado que existen clientes que no son rigurosos excesivamente en la alimentación o bien, no son abastecidos en exclusiva por la planta. Por ello se ha optado por diferenciar los clientes que realizan pedidos con una cadencia inferior a 20 días del resto. Para estos clientes el CDM se ha obtenido como una media móvil de orden 10, acorde con la Eq (1).

$$CDM = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} (E_i)}{(FE_i - FE_{i-10})} \quad (1)$$

Siendo:

E_i : kg repartidos en la entrega "i".

FE_i : fecha en la que se produce la entrega "i".

No obstante, y dado que la fluctuación en el consumo en algún caso es elevada, se ha considerado establecer unos intervalos de confianza para cada fórmula de cada cliente, cuya amplitud dependerá de la variación en el consumo en el período considerado. El intervalo viene definido por la Eq (2), considerando la función de distribución como una normal.

$$[CDM - (Z \cdot s_c), CDM + (Z \cdot s_c)] \quad (2)$$

Siendo:

CDM: consumo diario medio.

Z: Valor definido para el nivel de probabilidad elegido en la función normal.

s_c : Desviación típica del consumo.

Para pedidos de cadencia igual o superior a 20 días se ha utilizado la Eq (3).

$$CDM = \frac{E_{i-1} + R}{(FE_i - FE_{i-1})} \quad (3)$$

Siendo:

CDM: consumo diario medio

E_{i-1} : kg repartidos en la entrega "i-1"

R: Remanente a la fecha de pedido

FE_i : fecha en la que se produce la entrega "i".

En la figura 1 puede observarse la interfaz del módulo para la gestión de pedidos.

MOD. Nº SOCIO	NOME	DIRECCION	TELEFONOS	SILO	DATA SOLICIT.	KILOS	D. FIN C. ALTO	D. FIN C. MEDIO	D. FIN C. BAJO	MÁXIMO HOJE	CAPACID. D. REM.	OBSERVACIONES
10080001	BUSTO-CORZON SAT	BUSTO CORZON	836054759 836054759	Katal 2	15/05/14	1500	15/05/14		18/05/14	7.150	7.150	-2
10080001	BUSTO-CORZON SAT	BUSTO CORZON	836054759 836054759	Lactacio n	15/05/14	8000	15/05/14		16/05/14	10.100	10.100	-4
1812	CAMILO MANUEL BLANCO PAIS	PORQUEIRA B ARZON	981192600 667105915	Punteo			15/05/14	18/05/14	21/05/14	3.140	3.140	-3
9996	CASTRO S.C.	FONTEAMENEIRO VISANTOÑA	981580418 619961130	Lactacio n			15/05/14			4.460	4.460	-4
83739	COROCEIRO E I L SL	PLZA EUROPA 1 PLANTA 6 PUERTA B	629359092	Tenreir os 2			15/05/14	16/05/14	17/05/14	8.093	8.093	-11
6535	DE ARO COOPERATIVA S ANTONIO	CAMINO REAL SN SAN VICENTE DE ARO	699073023 Jose Anto 616925917	Lactacio n			15/05/14	19/05/14	23/05/14	7.500	7.500	-6

Figura 1. Interfaz del módulo de pedidos.

Módulo para la generación de rutas. Las rutas se han generado en dos etapas. Inicialmente se ha construido una solución inicial, mediante un heurístico de inserción secuencial (Solomon, 1987). En la segunda etapa se ha implementado una técnica de búsqueda local basada en el algoritmo “simulated annealing” (Kirkpatrick et al., 1983). Se han testado 4 movimientos intra-ruta y 2 movimientos inter-ruta con distintas probabilidades.

La función de coste viene definida en la Eq (4).

$$F(s) = \sum_{i=1}^N (Ct_i \times t_i + Ckm_i \times km_i) \quad (4)$$

Siendo:

N: Número de camiones.

Ct_i : Coste de cada tonelada transportada por el camión.

t_i : Toneladas transportadas por cada camión.

Ckm_i : Coste por cada km recorrido por cada camión.

km_i : km recorridos por cada camión

En el área de estudio, dada la heterogeneidad de la flota de transporte, se diferencia el precio asociado a la cantidad de concentrado transportado y el precio por km recorrido, para evitar perjuicios a los camiones con rutas más largas y menos capacidad (Amiama et al., 2011). El generador de rutas proporciona una solución que es transferida al editor de rutas.

Módulo para la edición de rutas. Este módulo permite interactuar al gestor de rutas con la base de datos, editando manualmente las rutas generadas por el generador de rutas. El módulo permite visualizar la posición geográfica de los clientes a visitar en cada ruta, la secuencia de visita, el tipo de fórmula y la cantidad a suministrar, la hora aproximada de servicio, así como los km recorridos en cada ruta. El gestor podrá realizar movimientos intra-ruta o inter-ruta, evaluando el resultado obtenido, en relación con la solución proporcionada por el generador de rutas. La aplicación impide la realización de movimientos “prohibidos” por incumplir alguna de las restricciones impuestas al algoritmo.

Resultados

La implementación de la herramienta se ha realizado en dos etapas, dada la variabilidad en la incertidumbre asociada a cada una de ellas. En una primera etapa se ha evaluado el impacto de la implantación del módulo de gestión de pedidos y en la segunda etapa, se ha evaluado el impacto de implementar los módulos de generación y edición de rutas.

En relación al módulo de gestión de pedidos, en la figura 2 puede observarse cómo a partir de la implantación de este módulo, en julio de 2014, se ha pasado de (valor medio) 9.01 km.t^{-1} a 8.24 km.t^{-1} . Destacar que en esta primera etapa, las rutas son generadas por el gestor, proporcionando la aplicación únicamente información acerca de los clientes susceptibles de ser servidos en un plazo determinado.

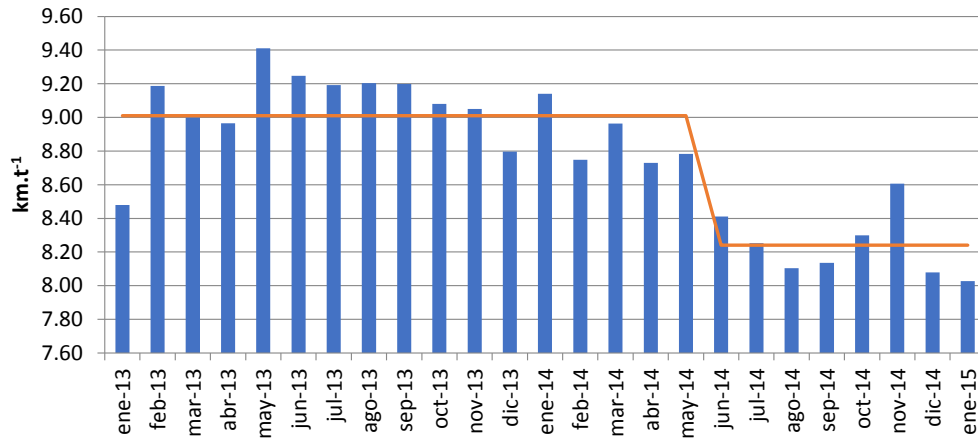


Figura 2. Evolución de los km recorridos por t distribuida.

Para evaluar la bondad del generador de rutas se ha monitorizado la flota de vehículos durante 10 días consecutivos de trabajo. Se han comparado los resultados reales con los propuestos por el Sade, considerando que se servían los mismos clientes y en las mismas cantidades (simulación 1) que en el escenario real. A continuación, se han realizado una serie de simulaciones para evaluar el impacto en la relajación, en las fechas de entrega sobre los km recorridos.

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

Tabla 1. Evolución de los km recorridos por t distribuida.

Fecha	Real	Simulación 1	Simulación 2	Simulación 3
Día 1	1,858	1,842	2,156	1,976
Día 2	1,915	2,151	2,021	2,031
Día 3	2,283	2,418	2,024	2,002
Día 4	1,659	1,438	1,500	1,529
Día 5	1,869	1,507	1,231	1,432
Día 6	1,548	1,730	2,052	2,366
Día 7	1,357	1,181	995	1,030
Día 8	1,428	1,443	1,325	1,235
Día 9	1,532	1,703	1,188	1,145
Día 10	1,432	1,308	1,052	595
TOTAL	16,881	16,721	15,544	15,341

Como puede verse en la tabla 1, los resultados obtenidos han sido muy variables. Tomando como referencia la simulación 1, en la que se han mantenido los pedidos en el día realmente servidos, en la mitad de los días analizados se han obtenido soluciones peores a las reales. Nótese que únicamente se ha contrastado las soluciones obtenidas por el generador de rutas, sin modificación alguna con el editor de rutas. Experiencias previas (Amiama et al., 2015) han demostrado que la interacción del gestor con el editor de rutas mejoran sustancialmente los resultados proporcionados por el generador de rutas.

En general, la adición de días de holgura (simulaciones 2 y 3) mejora los resultados obtenidos, si bien existen determinados días, como los días 5 y 6, en los que esta tendencia se invierte, este comportamiento apunta

a la necesidad de mejorar la heurística desarrollada, previo a su implementación en la planta de producción.

Conclusiones

En este trabajo se ha abordado la mejora en el proceso de distribución mediante un Sade en una planta de producción de concentrados. Se han desarrollado tres módulos y solamente se ha evaluado el comportamiento del módulo de gestión de pedidos y del generador de rutas. La implementación del gestor de pedidos ha permitido ahorros de 0.77 km.t⁻¹ distribuida, lo que supone un promedio de ahorro de 40 000 km en el año. Las soluciones proporcionadas por el generador de rutas han sido muy heterogéneas y si bien en valores medios han

mejorado la solución real, existen días en los que la solución proporcionada empeora. Consecuentemente, son necesarios esfuerzos adicionales para mejorar el comportamiento de la heurística.

Referencias Bibliográficas

- Amiama, C., Pereira, J.M., Carpenente, L. & Salgado, J. (2015). Spatial decision support system for the route management for milk collection from dairy farms. *Transportation Letters*, 7 (5), 279-288.
- Amiama, C., Salgado, J. & Ramil, L. A. (2011). Analysis of transport cost in the supply of animal feed, in Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Proceedings of the XV International Congress on Project Engineering, High Polytechnic School, University of Zaragoza, Huesca, Spain, AEIPRO; 1-8.
- Derigs, U., Pullmann, M. & Vogel, U. (2013). Truck and trailer routing problems, heuristics and computational experience. *Computers and Operations Research*, 40, 536-546.
- Faiz, S., Krichen, S. & Inoubli, W. (2014). A DSS based on GIS and Tabu search for solving the CVRP: The Tunisian case. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 17, 105-110.
- Gacias, B., Cegarra, J. & López, P. (2012). Scheduler-oriented algorithms to improve human-machine cooperation in transportation scheduling support systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25, 801-813.
- Garey, M.R. & Johnson, D.S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman and Company.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. & Vecchi, M. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science, New Series*, 220(4598), 671-680.
- Kritikos, M. N. y Ioannou, G. (2013). The heterogeneous fleet vehicle routing problem with overloads and time windows. *International Journal of Production Economics*, 144, 68-75.
- Mauleón, M. (2006). *Logística y Costes*. Madrid: Díaz de Santos.
- 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.
- Sicilia, J.A., Royo, B., Larrodé, E. & Fraile, A. (2014). A decision support system for a long-distance routing problema based on the ant colony optimization metaheuristic. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 111, 1035-1041.
- Solomón, M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265.