

## **SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE ROUTE MANAGEMENT OF FEED DELIVERY**

Amiama Ares, Carlos; Loza García, José Ramón; Bueno Lema, Javier

Universidad de Santiago de Compostela

The need for progress in achieving more efficient route management systems, involves the integration of heuristic algorithms with GIS. The result are spatial decision support systems (SDSS). These systems must to be integrated with enterprise resource planning systems (ERP), in order to keep constantly updated information.

We have developed a SDSS and we have implemented a planning software to estimate customer demand and be able to streamline the entire process of creating routes, all with full compatibility with the ERP in the factory.

Savings can not be reduced to an improvement in transport efficiency by better management of routes, particularly applied to feed delivery process. It

must also be computed:

- A time-saving in information management by integrating information from the ERP system on the spatial decision support developed.
- Environmental savings from lower CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere by the shorter distances travelled by trucks.

**Keywords:** DSS; GIS; CVRPTW

## **SISTEMA ESPACIAL DE AYUDA A LA DECISIÓN PARA LA GESTIÓN DE RUTAS DE REPARTO DE PIENSO**

La necesidad de avanzar en la consecución de sistemas de gestión de rutas más eficientes, hace necesario la integración de algoritmos heurísticos con sistemas de información geográfica. El resultado son sistemas de ayuda a la decisión (SAD) espaciales. Estos sistemas han de integrarse a su vez con los sistemas de planificación de recursos empresariales de la empresa (ERP), con el objeto de mantener actualizada la información.

Se ha desarrollado una herramienta basada en la filosofía de los sistemas espaciales de ayuda a la decisión (SDSS). Dentro del propio sistema SDSS, se ha implementado un software de planificación para estimar la demanda de los clientes y así poder agilizar todo el proceso de creación de rutas.

El ahorro no puede reducirse a una mejora en la eficiencia en el transporte, por una mejor gestión de rutas sino que ha de computarse además:

- Un ahorro de tiempo en la gestión de la información por la integración de la información del ERP de la empresa en el sistema de ayuda a la decisión espacial desarrollado.
- Un ahorro medioambiental derivado de la menor emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el menor recorrido efectuado por los vehículos de transporte

**Palabras clave:** DSS; GIS; CVRPTW

Correspondencia: Escuela Politécnica Superior. Att. Carlos Amiama. Campus universitario s/n. C.P. 27002. Lugo

## 1. Introducción

En la actualidad, una parte importante del precio que pagan los ganaderos por los concentrados para la alimentación animal derivan de los costes de transporte de los mismos desde la fábrica hasta las granjas de destino. Los elevados costes actuales de los combustibles fósiles, cuya tendencia en los últimos años está, además de una mala gestión y/o planificación desde las fábricas de piensos, llevan a un importante incremento del coste de transporte y por ende del precio total del pienso. Esta situación hace cuando menos analizable la búsqueda de nuevas soluciones para dicho problema que mitiguen en la medida de lo posible los costes de distribución,

El problema del ruteo de vehículos (VRP) tratado desde un punto de vista heurístico es capaz de proporcionar soluciones próximas a las óptimas con tiempos de computación razonablemente cortos para problemas similares al que se nos presente en este proyecto. Actualmente se está procediendo a la integración de los sistemas de información geográfica para dar lugar a los sistemas de ayuda a la decisión espacial, SDSS.

Algunos autores como Ruiz, et al., (2003), en un caso de estudio similar al que nos atañe, desarrollaron un SDSS en el que se trata de reducir la complejidad del problema mediante la clusterización de los clientes que se han de servir. El software desarrollado por el citado autor trata de resolver la problemática de una planta de fabricación de piensos de la empresa Nanta en Valencia, España.

En el presente proyecto se ha optado por el desarrollo de un software a medida frente al software comercial existente (al igual que en el citado caso) por diversos motivos. El principal argumento que sustenta esta decisión es la ingente cantidad de restricciones que se plantean durante el proceso de distribución de piensos (restricciones de producción de la fábrica, horarios de la fábrica, restricciones de acceso, asignación de determinados camiones a diferentes áreas geográficas, ventanas de tiempo variables en cuanto a la fecha de entrega, etc). Estos condicionantes son difícilmente incorporables a software prediseñado, ya que la inmensa mayoría del software presente en el mercado está orientado hacia la gestión de procesos logísticos más controlables y predecibles en el tiempo o bien gestión de visitas de los departamentos comerciales. Todo ello, unido a que la práctica totalidad de las Industrias de fabricación de concentrados de alimentación animal realizan la planificación de las rutas de distribución de manera manual, hacen que el desarrollo de un software a medida sea el método elegido para intentar solventar el problema logístico que se nos presenta.

Son muchos los autores (Luís Santos, et al., 2007; Van Wezel, et al., 2011; Gacias, et al., 2012), que hacen hincapié en la importancia del papel del operador para enriquecer las soluciones ofrecidas por la heurística. Por lo tanto, se hace imprescindible el desarrollo de un módulo que permita esa interacción.

Un ejemplo actual que tiene en cuenta el problema de la capacidad de los vehículos y diferente accesibilidad de los diferentes camiones a diferentes clientes "Trunk and Trailer Route Problems", lo encontramos en el trabajo de Derigs, et al., (2013)

En su artículo Tang, et al., (2005) se describe un heurístico de búsqueda tabú para el problema del equipo de Orientación (TOP). La primera parte es una variante del problema conocido de enrutamiento en el que se construyen una serie de recorridos de los vehículos de tal manera que se maximizan los clientes visitados y se limita la longitud de cada recorrido. Los resultados de los experimentos computacionales sobre el conjunto de los problemas demuestran que la técnica propuesta produce constantemente soluciones de alta calidad e supera a otros heurísticos publicados.

Existen otros muchos ejemplos en los que se consiguen soluciones muy buenas al problema de enrutamiento aplicadas en otros ámbitos como son o transporte de animales vivos al

matadero (Oppen, et al., 2007), rutas de transporte urbano, (Pacheco et al., 2009), logística aplicada os operadores navieros (Kjetil Fagerholt, 2002), etc.

## 2. Objetivo

El objetivo que se persigue en el presente trabajo es el desarrollo de un software de ayuda a la decisión espacial (SDSS), que, aplicado en conjunto con la experiencia del operador de logística de la fábrica, permita realizar una mejor gestión de las rutas de distribución de pienso. El objetivo último de esta mejora en la gestión, es conseguir ahorrar en costes de distribución y de producción.

Los costes de distribución se verán reducidos por el descenso en el número de kilómetros empleados por la flota de camiones que actualmente participa en la distribución de concentrados de la industria. Este descenso en kilómetros se traduce en un descenso en los costes debido a que la tarifa instaurada en la fábrica se basa en un precio básico por tonelada distribuida más otro precio por los kilómetros recorridos.

Por otra parte, el descenso en los costes de producción vendrán asociados principalmente a la posibilidad de no actividad de la fábrica los sábados. También se pretende poder hacer una mejor planificación de la producción, concretamente en lo relativo a la fabricación de conjunta de fórmulas similares, que limiten las paradas técnicas y de limpieza necesarias cuando se produce un cambio de formulación.

Todos estos ahorros descritos llevan consigo otros ahorros no fácilmente trasladables al ámbito económico, como son los beneficios medioambientales derivados de un descenso en las emisiones de CO<sub>2</sub>

El sistema estará basado por una parte en un módulo de planificación de pedidos, que incluya una base de datos con toda la información relativa a clientes, fábrica, transportes y red de carreteras, por otra parte un módulo de generación automática de rutas basado en algoritmos heurísticos. Por último se desarrollará un módulo de visualización y edición sobre la cartografía, de las rutas generadas previamente. Todo este proceso ha de ser intuitivo, ágil y sobre todo flexible ya que la planificación de rutas es una actividad que se realiza diariamente y está sujeta a cambios de última hora, como pueden ser la inclusión de pedidos urgentes o la avería de alguno de los camiones de la flota.

## 3. Metodología

En el presente trabajo tratamos con el problema real de una industria de fabricación de piensos de Galicia (España), la cual abastece a un total de 535 clientes, de los cuales, aproximadamente 50 son servidos diariamente.

El primer paso a la hora afrontar el proyecto es la elaboración de una base de datos cartográfica en la que se recojan la ubicación exacta de las explotaciones, así como la red viaria con las velocidades de paso reales de los camiones por los diferentes tramos. Es muy importante la creación de esta red con datos reales. Los datos fueron recogidos por GPS que monitorizaron los movimientos de los camiones de la flota durante 2 meses. Las especiales características orográficas y de los viales de la zona de estudio hacen que existan numerosas restricciones de acceso de los camiones a las explotaciones. De ahí la necesidad de creación de una red a medida.

Por otro lado, el problema principal de esta industria radica en el poco control existente sobre el estado de los silos de almacenamiento de los clientes, por lo que, salvo en algunos casos en los que los pedidos se producen cada intervalos de tiempo muy regulares, desde la fábrica no se tienen previsiones fiables acerca de la fecha de finalización del pienso. A este problema se une el de la poca antelación con que los socios comunican la necesidad

de ser servidos, ya que en el mejor de los casos, lo hacen de hoy para mañana, y lo más frecuente es que necesiten el pienso el mismo día que realizan el pedido. Ante estas circunstancias, en la actualidad el proceso de generación de rutas es eminentemente manual, con la única ayuda de los registros de entregas de fechas anteriores.

Dadas estas limitaciones, aparte del módulo de creación de rutas, se hace imprescindible la creación de un sistema que permita realizar una previsión fiable de la fecha de próximo pedido para cada una de las diferentes fórmulas que consume cada explotación. Este sistema ha de integrarse a su vez con los sistemas de planificación de recursos empresariales de la empresa (ERP), con el objeto de mantener permanentemente actualizada la información. Para un correcto funcionamiento de esta parte del sistema, será de vital importancia el rigor por parte de los operadores que ingresen los pedidos en el sistema a la hora de anotar el remanente de pienso existente a fecha de realización del pedido, ya que ello nos permitirá afinar mucho más en la previsión del próximo pedido.

Los clientes de esta fábrica realizan pedidos con un tamaño medio de entre 1500 y 4000Kg, esto se traduce en que en la gran mayoría de los casos, van a ser necesarias más de un pedido para completar la capacidad de los camiones y poder así realizar rutas más eficientes. Las características de los camiones son las que se muestran en la Tabla1.

**Tabla1. Características de los camiones**

ID	PMA(Kg)	Capacidad de las tolvas (Kg)
1	7700	2000 2000 2000 2000 1500
2	15140	3000 3000 3000 3000 3000 2500
3	9440	1700 1700 3500 1700 1700 3000
4	7700	1600 1200 1200 1200 1200 1200 900
5	8500	2000 1000 2000 1000 1000 900 1800
6	8600	2200 2200 2200 2200 1800
7	8600	2300 2300 2300 3000

Teniendo ya una base fiable de la planificación con una buena previsión los pedidos que se van a realizar a 2 o 3 días vista, es cuando se hace realmente útil el software de generación automática de rutas. Las restricciones planteadas a la hora de crear las rutas son las siguientes:

Restricciones relativas a los camiones:

- La jornada laboral no debe exceder el máximo permitido por la legislación vigente.
- No se debe de superar el PMA de cada camión.
- No se deben mezclar diferentes fórmulas en una misma tolva de un camión.
- Los camiones que inicien sus rutas desde el domicilio del conductor, deben de tener tiempo para volver a casa dentro de su jornada.

Restricciones relativas a los pedidos:

- Las solicitudes deben de ser atendidas antes de su fecha límite de entrega y, si no es posible, avisar correctamente de dicha circunstancia.
- Las solicitudes no pueden superar la capacidad de producción máxima de la fábrica.

- Las solicitudes deberán ser atendidas por camiones que puedan acceder a las explotaciones.

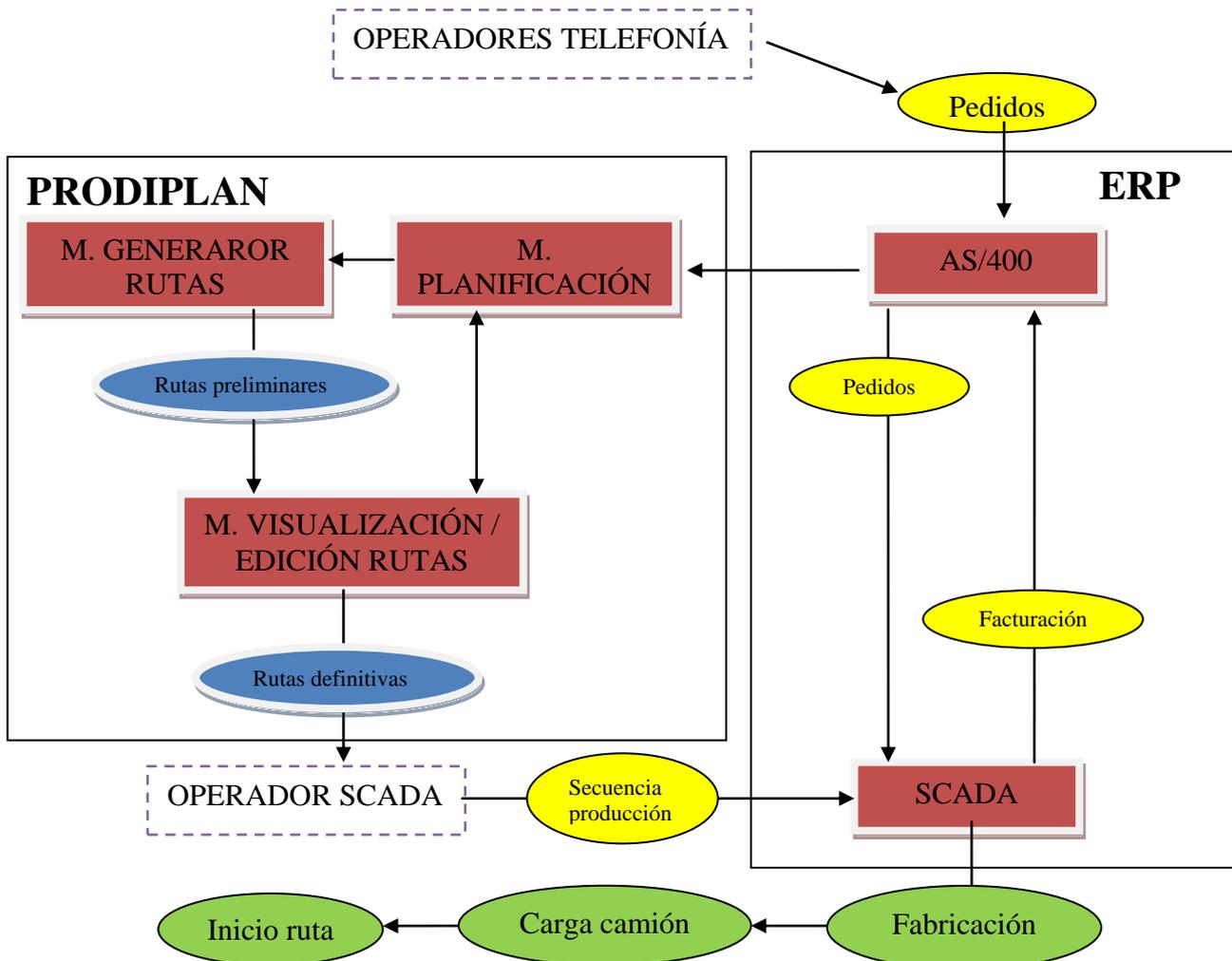
#### 4. Resultados

El modo de trabajo asociado a la utilización del programa Prodiplan, se puede resumir de la siguiente forma:

Los operarios de telefonía encargados de recoger los pedidos, introducen los datos en el sistema ERP de la empresa, concretamente en el AS/400, estos datos son capturados y procesados por el módulo de planificación de pedidos. A continuación los datos relativos a los pedidos confirmados más los que aun no estando confirmados son, según la aplicación, susceptibles de ser servidos en un corto período de tiempo, son exportados con un formato que permita al módulo de generación de rutas crear la planificación de las rutas que satisfaga los pedidos, además de cumplir las restricciones citadas en el apartado anterior. A continuación esas rutas creadas son exportadas al módulo de visualización y editado de las rutas sobre cartografía, dónde el operario puede realizar los cambios en las rutas que considere oportunos. Finalmente las rutas definitivas se exportan en un informe que se transmite a otro operario encargado del control del software de producción SCADA, (que está en constante actualización con el AS/400) que produce el pienso y lo envía a las tolvas de los camiones en función de las rutas que se le han propuesto.

El proceso se puede resumir en el diagrama de flujo de la Figura 1

Figura 1. Diagrama de flujo con el funcionamiento de Prodiplan



#### 4.1. Módulo de planificación

El módulo de planificación de pedidos de Prodilact, consta de una base de datos desarrollada sobre Microsoft Acces en la que gracias a la interconexión con el software del ERP de la fábrica (AS/400), se capturan en tiempo real las peticiones y las expediciones. En ella se recoge toda la información requerida para la planificación de las rutas:

- Clientes: identificación de socio, titular, dirección, coordenadas geográficas, teléfono, número y tamaño de los silos de almacenamiento, fórmula que consume, consumo diario medio, camiones accesibles
- Transportes: coordenadas geográficas de la base del transportista, peso máximo autorizado, número de tolvas, capacidad de las tolvas, velocidad de descarga.
- Fábrica: coordenadas geográficas, dirección, capacidad de producción, horario de trabajo, tiempos de funcionamiento.
- Red de carreteras: matriz de tiempos y distancias todos a todos.

Además de almacenar toda la información descrita anteriormente, la función principal de este módulo es la de mostrar al operario cual es la fecha prevista de finalización de pienso para cada silo de cada socio. Esta información se representa con tres fechas, que nos darán a su vez una idea de la fiabilidad de la previsión:

(F.S.C.A. – F.S.C.M. – F.S.C.B.)

Dónde;

- F.S.C.M. es la fecha prevista de finalización del silo calculada con el consumo medio diario.
- F.S.C.A. es la fecha prevista de finalización del silo con un consumo alto.
- F.S.C.B. es la fecha prevista de finalización del silo con un consumo bajo.

Para el cálculo del consumo medio diario alto y bajo, se han modelizado los consumos medios diarios históricos de cada pareja socio-silo a una distribución normal. En función de la desviación típica del consumo de la última entrega y según con qué nivel de confianza se quiera trabajar (configurable en la pantalla principal por parte del operador), se calculan dichos consumos que finalmente se traducen en las fechas F.S.C.A. y F.S.C.B.

Figura 2. Interface principal del módulo de planificación

MOD.	Nº SOCIO	NOME	DIRECCION	TÉLFONOS	SILLO	DATA SOLICIT.	KILOS	D. FIN C. ALTO	D. FIN C. MEDIO	D. FIN C. BAJO	MÁXIMO HOXE	CAPACID.	D. REM.	OBSERVACIÓNS
	10111	ADELAIDA CAAMAÑO CAMBEIRO	COLUNS Nº20	981877050 627701520	Lactacion		400	01/06/14	03/06/14	04/06/14	3.955	4.180	1	
	10081001	ATAN OS CARBALLOS SOC. COOP. GALLEGA	ATAN N 20 MAZARICOS	981852218- 653523115	Lactacion	02/06/14	6300	02/06/14		03/06/14	6.278	7.600	1	
	8730	CASEIRO SC	ERMIDA SN GOSENDE	895188 658628448	Lactacion	02/06/14	8000	02/06/14		03/06/14	11.319	12.000	1	
	5841	GANADERIA DUBRA S.C.	PEREIRAS 6 RESTANDE	696880 635079764	Lactacion	02/06/14	8000	02/06/14		03/06/14	10.046	11.000	1	
	9310	ISIDORO CAAMAÑO LADO Y OTRA S.C.	COLUNS N 29	852191 666703556	Xatas		480	02/06/14	03/06/14	04/06/14	2.649	2.800	1	
	2326	JESUS BARROS FUENTES	VILAR CAMPOS TEO	809153 636633198	Lactacion 2	02/06/14	3000	02/06/14		03/06/14	6.474	6.650	1	

En esta pantalla ilustrada en la Figura 2 podemos observar la información básica ordenada por fecha prevista de finalización del pienso para cada socio. Existe además un código de colores para identificar el estado de los pedidos, por ejemplo, figuran en verde aquellos pedidos que han sido confirmados pero aún no han sido servidos o amarillo para aquellos pedidos que no se han entregado de manera íntegra. En el momento en que entre en el

sistema el registro de la expedición de ese pedido, automáticamente se recalculará la nueva fecha prevista de finalización, en base al recalculeo del consumo diario medio.

Desde esta pantalla, el operador puede acceder mediante diferentes formularios a realizar cambios relativos a datos de clientes, o a transportes o bien dar de alta algún nuevo cliente o transporte.

Las bondades de este módulo es que no solamente tenemos una previsión fiable de la fecha de finalización del silo, sino que además nos ofrece una idea de la fiabilidad de esa previsión (en función de la amplitud del intervalo de fechas).

Esta información, junto con la pronta notificación de los pedidos por parte de los clientes, es de vital importancia para poder afrontar con garantías la fase de generación automática de rutas.

Ya solamente con este módulo, independientemente del generador de rutas, se mejora muy notablemente el grado de conocimiento por parte de los encargados de producción de la evolución del nivel de pienso en los silos de los clientes. Ello permite reducir los costes relacionados con la producción.

#### **4.2. Módulo generador de rutas.**

Los datos de entrada en esta parte de la aplicación son los pedidos confirmados (el cliente ha confirmado que quiere pienso) más los que son susceptibles de ser servidos en un rango de fechas configurable (pero que aún no han sido confirmados).

El generador automático de rutas es un software de que utiliza el algoritmo simulated annealing (Kirkpatrick, et al., 1983) a partir de una solución inicial. El criterio de inserción de la solución inicial sigue el criterio de Mole y Jamerson (Mole, Jameson, 1976) en el cuál, sobre una ruta ya conformada, se busca el mejor punto de inserción entre nodos, sin reordenar los que fueron insertados previamente.

El algoritmo antes citado utiliza una serie de movimientos que modificarán la secuencia de los pedidos en busca de una mejor solución.

Movimientos intraruta:

- Movimiento de intercambio interno: este movimiento escoge una ruta al azar y dentro de la misma un pedido aleatorio, este pedido intercambia la posición con el inmediatamente anterior.
- Movimiento de intercambio interno aleatorio: igual que el anterior solo que el intercambio es aleatorio.
- Movimiento de inversión parcial de ruta: en este caso el movimiento selecciona dos posiciones aleatorias dentro de una ruta, e invierte el sentido de la ruta desde una posición a otra.
- Movimiento de bloque en ruta: este movimiento se basa en mantener un bloque fijo e insertarlo en el mejor sitio lugar posible de la ruta, pero sólo en rutas con más de tres pedidos.

Movimientos interruta:

- Movimiento de intercambio externo determinista: en este movimiento insertamos un pedido de una ruta aleatoria en otra pero en base a criterios deterministas es decir, buscando entre todas las rutas factibles, aquella en la que su inserción suponga un menor coste.

- Movimiento de intercambio externo doble: para este movimiento intercambiamos dos pedidos al azar entre dos rutas al azar, es menos efectivo que en el caso anterior ya que aquí las restricciones no se tienen en cuenta.

Todos estos movimientos buscan satisfacer la siguiente función de coste (expresión 1)

$$f(s) = \sum_{i=1}^N Ckg_i * numkg_i + Ckm_i * numkm_i \quad (1)$$

Dónde N es el número de camiones, numKg<sub>i</sub> y numKm<sub>i</sub> representan el número de kilos transportados y kilómetros recorridos por cada camión i en una ruta y ckg<sub>i</sub> y ckm<sub>i</sub> representan el precio que se abona por Kilogramo y por Kilómetro respectivamente.

El módulo generador de rutas es una potente herramienta que permite a los operarios conseguir, en tiempos de computación razonablemente cortos (en función de las iteraciones deseadas), rutas perfectamente factibles.

Estas rutas, incluso sin el posterior editado manual, conforman continuamente soluciones que provocan un ahorro económico si lo comparamos con la solución real.

#### 4.3. Módulo de visualización y edición de rutas.

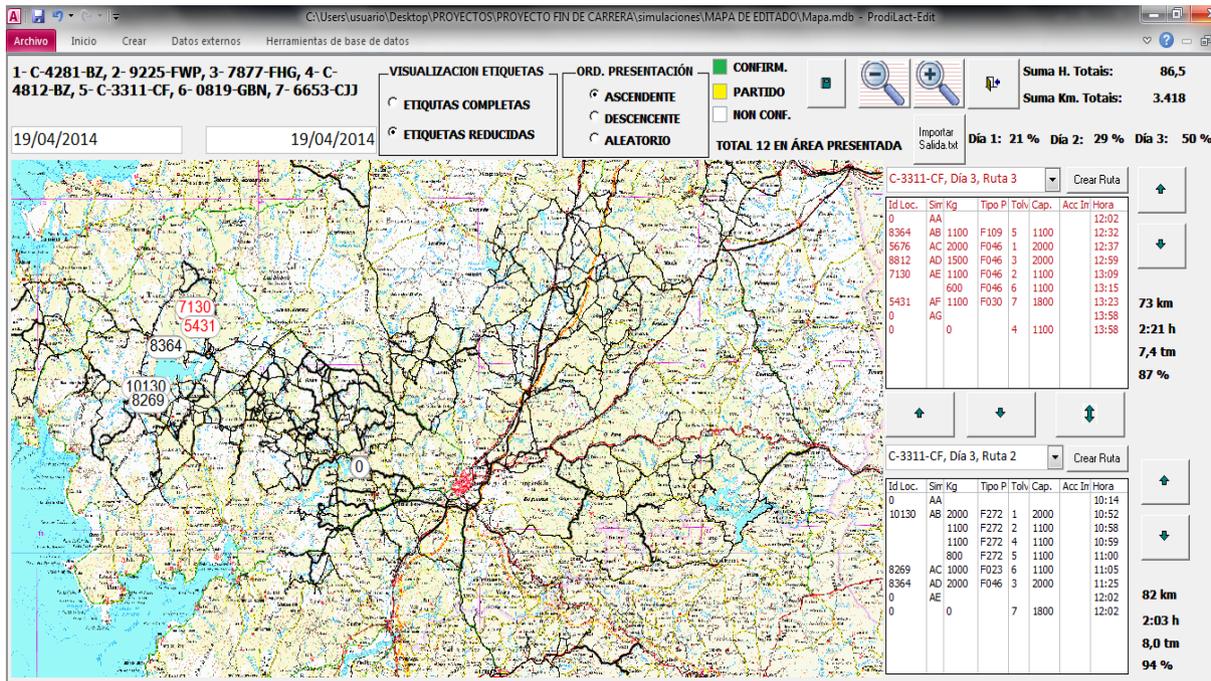
En este último módulo del programa Prodiplan, es dónde se brinda al operario la posibilidad de realizar un editado manual de las rutas generadas en el programa heurístico. Este módulo es sumamente importante ya que permite al usuario ver sobre la cartografía la ubicación de las diferentes explotaciones que conforman cada ruta, para así detectar posibles rutas ineficientes o mejorables mediante las herramientas dispuestas a tal fin.

La edición se realizará respetando los mismos criterios que se emplean cuando se construyen las rutas en el generador de rutas, es decir, respetando horarios de transportistas, pesos máximos autorizados, fecha límite de entrega, etc.

En el interface de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la información en cuanto a tiempo, distancia y capacidad del camión de cada una de las rutas, además de las horas y kilómetros totales, referidos a todas las rutas del día.

Estos parámetros se van actualizando según se vayan realizando cambios en la asignación de pedidos y le proporcionaran al operario una valiosa información acerca de la eficiencia de las rutas, tanto las propuestas por el programa, como las que posteriormente el edita. Dentro de las posibilidades de edición también nos encontramos la posibilidad de borrar o crear nuevas rutas.

Figura 3. Interface del módulo de visualización y edición de rutas



Por último, y una vez que el operador valida las rutas que ha editado, puede generar un informe que hará llegar al encargado de controlar el software de fabricación.

#### 4.4. Resultados experimentales

Para evaluar el comportamiento y las potencialidades del software Prodiplan se ha realizado un estudio comparativo de los costes de distribución reales antes de la implantación del software, frente a los costes previsibles una vez implantado el sistema.

Concretamente se ha analizado un periodo de 3 días con una actividad de la fábrica moderada, (en torno a 40 pedidos diarios). Los resultados se muestran en la (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados y comparación del uso de Prodiplan frente a su no utilización

	Escenario real (sin Prodiplan)	Escenario posible (con Prodiplan)	% mejora
Distancia recorrida (Km)	3632	3176	12,6
Tiempo (h)	107,2	95,1	11,3
Cantidad distribuida (t)	432,4	432,4	0
Coste (€)	4920	4730	3,9

Si extrapolamos los ahorros obtenidos en el periodo de estudio a un año, nos encontramos que los ahorros en la fase de distribución ascenderían a unos 15960€.

Por otra parte y gracias al módulo de previsión de pedidos, se pretende no trabajar los sábados, con el consiguiente ahorro en energía de unos 350€/sábado de media, o lo que es lo mismo 17850€/año.

En resumen, se espera que con la aplicación del software Prodiplan se consigan unos ahorros de aproximadamente 34000€/anuales.

## 5. Conclusiones

Consideramos que Prodiplan es una herramienta potente, muy válida para la resolución de problemas de enrutamiento de vehículos, con un tamaño de clientes para atender en un día similar al que se da en este proyecto, sobre todo si lo comparamos con la metodología actual de para la planificación de las rutas. Su potencialidad no radica solamente en la parte heurística, si no en la interrelación de esta con la experiencia que aporta el operario encargado en temas de planificación.

Las ventajas que proporciona la utilización de este sistema de ayuda a la decisión espacial, vienen por una parte, por un ahorro en los costes de distribución, ya que el número de Km es menor en las soluciones ofrecidas por el programa, que en el caso de las rutas realizadas realmente (sin la utilización del programa). Por otro lado se puede realizar una mejor planificación de la producción de piensos, ya que gracias al módulo de planificación se pueden fabricar fórmulas antes de que el cliente o confirme siempre y cuando energéticamente convenga a la fábrica con el consiguiente ahorro en costes de producción. Otros beneficios que aporta este sistema es la no dependencia, o por lo menos no en tan gran medida como si este sistema no estuviese implantado, de la ausencia por circunstancias varias del encargado de planificación logística, ya que se reduciría el período de aprendizaje al no necesitarse un complejo conocimiento del medio en que se está trabajando.

Cabe destacar que debido al corto período de tiempo que el software está en funcionamiento, no se han podido cuantificar los ahorros en los costes de distribución reales, aunque se esperan que estos ronden los 16000€ estimados previamente.

Por el contrario, sí que se ha podido realizar una planificación mejor, en la que los sábados no hay actividad en la fábrica. Todo ello se ha logrado sin grandes problemas de operatividad ni fiabilidad, salvo casos puntuales no previstos en el alcance del proyecto que precisan de tratamientos especiales.

Por último, cabe decir que los campos de mejora relacionados con este tema, en nuestro modo de ver, pasan por una conjunción aún mejor de las herramientas GIS con las soluciones que nos ofrece la heurística.

## 6. Referencias

- Derigs, U., Pullmann, M. & Vogel, U., 2013. "Truck and trailer routing problems, heuristics and computational experience". *Computers & Operations Research*, Issue 40, 536-546.
- Gacias, B., Cegarra, J. & Lopez, P., 2012. "Scheduler-oriented algorithms to improve human-machine cooperation in transportation scheduling support systems". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Issue 25, 801-813.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. & Vecchi, M., 1983. "Optimization by simulated annealing". *Science*, New Series, 220(4598), 671-680.
- Kjetil Fagerholt, 2004. A computer-based decision support system for vessel fleet Scheduling experience and future research. *Decision Support Systems* 37, 35-47.
- Molw, R.H., Jameson, S.R. 1976; A sequential route-building algorithm employing a generalized savings criterion. *Operational Research*, Quarterly 27, 503-511.
- Oppen J., A. Løkketangen and D.L. Woodruff. 2007. "Collecting animals for slaughter - adding inventory constraints to a real world routing problem". Working paper, Molde University College, 2007:2
- Pacheco, J., Alvarez A., Casado S., González-Velarde J. L., 2009. A tabu search approach to an urban transport problem in northern Spain. *Computers & Operations Research*, Volume 36, Issue 3, Pages 967-979.
- 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.

- Santos, L. Coutinho-Rodrigues, J., John, R.; Implementing a multi.vehicle multi-route spatial decision support system for efficient trash collection in Portugal. *Transportation Research Part A*, 42 (2008) 922-934.
- Tang, H.; Miller-Hooks, E. 2005. A TABU search heuristic for the team orienteering problem. *Computers & Operations Research*. Vol 32. Pp. 1379-1407.
- Van Wezel, W., Cegarra, J. & Hoc, J., 2011. "Allocating function to humans and algorithms in scheduling". *Behavioral Operations in Planning and Scheduling*. Ed.: Springer Science. London (England).