

SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE ROUTE MANAGEMENT OF MILK COLLECTION

Amiama Ares, Carlos; Salgado Paz, Jacobo José; Loza García, José Ramón

Universidad de Santiago de Compostela

Most dairies made planning the collection of raw material manually, based on their experience. High energy prices make the cost of milk collection is an item that justifies the investment in tools that allow us to optimize this process.

In this paper we develop a new spatial decision support system (SDSS), which solves the problem in two steps. First an algorithm using heuristic techniques (Simulated Annealing), which generates solutions in a short period of time, is applied. Second, we have developed a graphical interface that allows to the operator to interact and make changes quickly and intuitively in the routes generated by the routing algorithm. The SDSS displays all the information necessary for to allow the operator to apply their own criteria. In addition, the operator can also perform a wide variety of simulations "What-if" to find the solution that minimizes costs.

Keywords: *DSS; GIS; Route management*

SISTEMA ESPACIAL DE AYUDA A LA DECISIÓN PARA LA GESTIÓN DE RUTAS DE RECOGIDA DE LECHE

La mayoría de las industrias lácteas realizan la planificación de la recogida de materia prima de forma manual, basándose en su experiencia. Los elevados precios de la energía hacen que los costes de recogida de leche sea una partida lo suficientemente importante para justificar la inversión en herramientas que nos permitan optimizar al máximo este proceso.

En este trabajo se ha desarrollado un sistema espacial de ayuda a la decisión (SDSS) novedoso, que resuelve el problema en dos pasos. En primer lugar se aplica un algoritmo utilizando técnicas heurísticas (Simulated Annealing), que genera soluciones en un corto período de tiempo. En segundo lugar, se ha desarrollado un interface gráfico, que permite interactuar y realizar cambios de manera rápida e intuitiva en las rutas generadas por el algoritmo de ruteo. El SDSS muestra toda la información necesaria para que el operador pueda aplicar sus propios criterios, y así flexibilizar la solución propuesta por el heurístico adaptándola a una realidad cambiante. Además, el operador también puede realizar una amplia variedad de simulaciones de tipo "What-if" para encontrar la solución que minimiza los costes.

Palabras clave: *DSS; GIS; Gestión de rutas*

1. Introducción

Debido a la gran presión de los mercados, en especial de la agricultura, cada vez más liberalizados, y 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 en el sector agrario.

En la industria láctea, los costes en la recogida de materia prima adquieren, cada vez, más importancia debido a la constante escalada de los precios de la energía. Por eso es necesario optimizar este proceso, evitando que su peso disminuya a cuenta de resultados de la cooperativa. La recogida de leche es un proceso en el que intervienen multitud de factores y restricciones, por el que conseguir una adecuada gestión de las rutas de recogida, es un reto para cualquier industria láctea.

En los últimos años se está avanzando en los enfoques heurísticos y metaheurísticos para resolver problemas de ruteo de vehículos. 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 VPR" (Ruiz, et al., 2004), o también los llamados "Distance constrained VRP" donde la duración de cada ruta está limitada a una cantidad determinada, (Mendoza, et al., 2009). Otro ejemplo aun mas reciente los podemos encontrar en los problemas "Trunk and Trailer Route Problems" (Derigs, et al., 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 & 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, et al., 2005).

Recientes estudios apuntan hacia la conveniencia de dar planificador un papel más importante en el proceso de resolución de problemas (Van Wezel, et al., 2011; Gacias, et al., 2012). En esta línea se ha enfocado el presente trabajo, desarrollando una herramienta donde la interacción de la DSS con el ser humano sea fundamental.

2. Objetivo

El objetivo principal de este trabajo ha sido desarrollar un sistema de ayuda a la decisión espacial, que facilite al operador de rutas la solución del problema logístico de la recogida de leche. El objetivo no es substituir al operador logístico, ya que este tiene un superior conocimiento de la realidad que cualquier sistema basado en algoritmos heurísticos. Este sistema, debe ser lo suficientemente ágil y flexible para adaptarse a los posibles cambios que ocurran en la flota de vehículos o en las granjas lecheras. Este programa, ha de poder utilizarse como herramienta de planificación estratégica de la compañía realizando simulaciones de tipo "What-if".

3. Metodología

En este trabajo, se trata un problema de enrutamiento de vehículos (VRP), aplicado a la realidad de una industria láctea in Galicia (España). Esta industria recoge leche procedente de granjas ubicadas en el noroeste español. El ámbito territorial en el que trabaja esta industria, se caracteriza por una elevada dispersión y un reducido tamaño de las granjas.

Cada día, más de 300.000 litros de leche han de ser recogidos, visitando a una media de 274 explotaciones. Las granjas son visitadas cada día o cada dos días dependiendo de su producción y de su capacidad de almacenamiento. Como consecuencia las rutas de aprovisionamiento de leche son cíclicas, y se repiten cada dos días. Todas las granjas están distribuidas en un radio de entre 5 a 95 Km de distancia desde la industria láctea.

Actualmente intervienen en la recogida 11 camiones con capacidades que van desde los 10.000 a los 16.000 litros. Se diferencian los camiones de tres ejes (4 unidades), que pueden acceder a todas las granjas, y los camiones de cuatro ejes (7 unidades), que no pueden acceder a un total de 30 explotaciones, debido a su gran tamaño. En la planificación de las rutas es necesario considerar además que los transportistas parten, para realizar la primera ruta de la jornada, de sus domicilios.

En la actualidad el proceso de generación de rutas no está informatizado y se realiza de forma manual, basándose en el profundo conocimiento de la zona de trabajo que tienen los técnicos de la industria láctea. Para realizar estas rutas, los técnicos solamente se apoyan en una hoja de cálculo para realizar cálculos elementales. Se diferencian 3 calidades de leche, que se recogen separadamente, no pudiendo mezclar e una misma ruta leche de calidades diferentes. La leche de calidad 1 se recoge en primer lugar y, a continuación se recoge la leche de calidad 2 y 3, atendiendo a un criterio de minimización de los km recorridos por la flota. Los camiones, tienen asignadas diferentes zonas geográficas atendiendo al criterio de proximidad al domicilio del camionero, si bien dichas áreas no son conjuntos disjuntos.

Adicionalmente han de considerarse las siguientes restricciones en la planificación de las rutas a realizar:

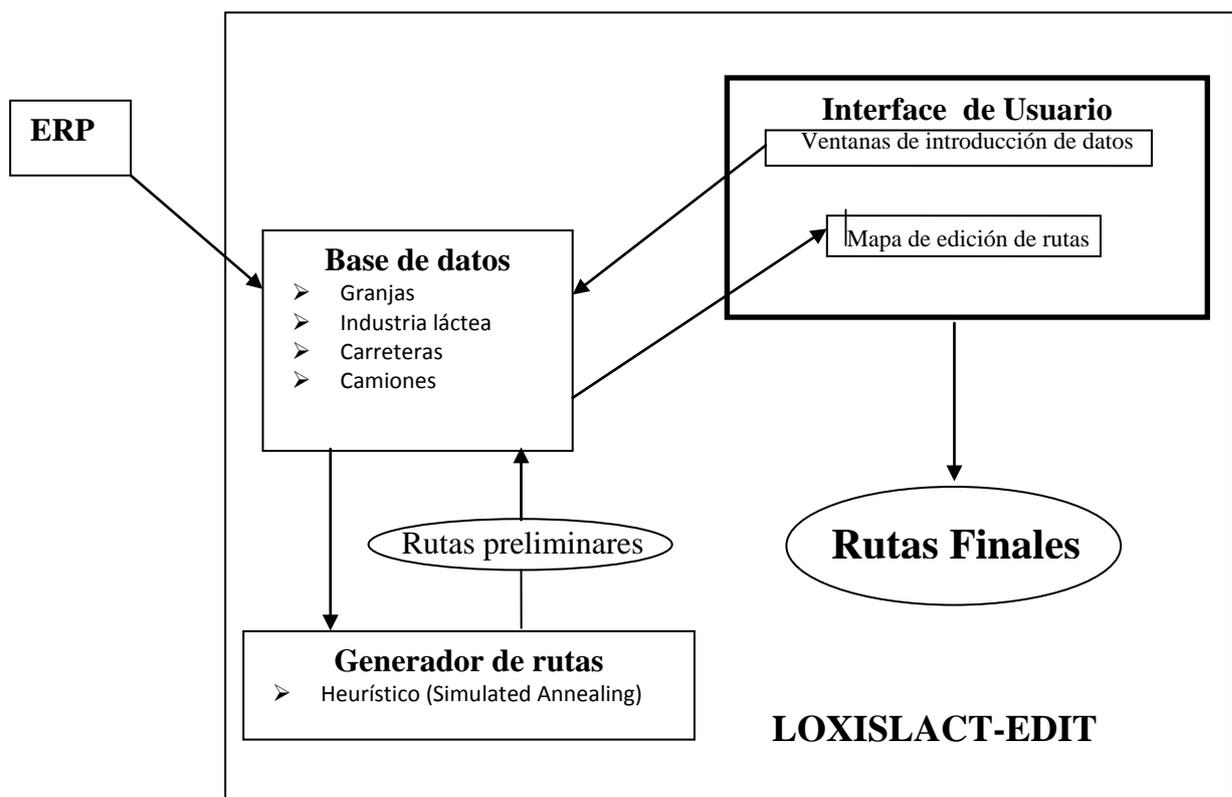
- a. El horario de actividad de la industria láctea es desde las 7:00 a.m. hasta las 19:00 p.m.
- b. El peso máximo permitido del camión no puede exceder las limitaciones impuestas por las regulaciones locales.
- c. La jornada laboral del transportista no podrá exceder las limitaciones impuestas en las leyes locales.
- d. Debe de evitarse asignar camiones a granjas que le resulten inaccesibles.
- e. Todos los días se debe recoger una cantidad similar de leche para evitar picos de producción.
- f. Las granjas tienen una ventana de tiempo para el ordeño en la que no se podrá recoger la leche. Además la recogida ha de ser siempre o bien antes de la hora de ordeño o después de la hora de ordeño, pero no podrán alternarse (por razones de capacidad de almacenamiento).
- g. Existen dos muelles de descarga de leche, por lo que se ha de evitar que coincidan más de dos camiones realizando la descarga.
- h. Se debe perseguir lo máximo posible, un reparto equitativo del trabajo entre transportistas.

Manejar toda esta información sin la ayuda de una herramienta informática, es una tarea extremadamente compleja, que, a pesar del profundo conocimiento que tienen los técnicos de la factoría, da como resultado rutas de recogida de leche que contienen errores, que son poco flexibles y que poseen margen de mejora.

4. Resultados

Loxislact-Edit, se divide en tres componentes, la base de datos, el interface de usuario y el generador de rutas. La integración de estos tres componentes se representa en el diagrama de flujo de información (Figura 1). Adicionalmente se ha añadido la capacidad de intercomunicación con el gestor de recursos de la empresa (ERP), para importar los Kg de leche producidos por los productores de leche y la calidad producida por cada granja.

Figura 1. Diagrama de flujo de información en Loxilact-Edit



La dinámica de trabajo consiste en:

- La base de datos se actualiza continuamente con los datos del ERP de la empresa, así como como con la información que introduce el planificador a través del interface de usuario.
- A partir de esta información el generador de rutas elabora una propuesta de rutas, que se visualiza en el interface de usuario (mapa de edición).
- El planificador valida la ruta propuesta o la modifica para adecuarla a sus necesidades, utilizando el mapa de edición de rutas.
- La ruta definitiva se exporta a un informe para su entrega a los transportistas.

4.1. Base de datos

La base de datos contiene información referente a:

- Productores: Numero de socio, nombre, dirección, coordenadas, calidad de leche producida, periodicidad de recogida, Kg producidos, horario de ordeño, tiempo medio de descarga de la leche al camión de recogida.
- Accesibilidad: Matriz de incompatibilidad entre camiones y granjas.
- Fabrica: Dirección, coordenadas, numero de muelles de descarga, capacidad de producción.
- Transportes: Dirección, coordenadas de su base, matrícula, peso máximo autorizada, horario de trabajo.
- Red de carreteras: Matriz de distancias todos a todos.

Para conseguir la información de la longitud y la velocidad media en las carreteras, así como de los tiempos medios de carga de leche en las granjas productoras, se han monitorizado los camiones de recogida mediante GPS Datalogger. Estos GPS almacenaron la información de las coordenadas cada 5 segundos durante un periodo de 3 meses. Se han volcado esos datos a un GIS, y se ha generado la red de carreteras. Una vez validada la red, la matriz de distancias y tiempos se ha realizado mediante el software Network Analyst® de la compañía ESRI.

El usuario puede acceder mediante el interface de usuario, a determinadas partes de la base de datos, lo que le permite realizar cambios en los datos de las granjas productoras y de los camiones, así como eliminar o añadir granjas o transportes.

4.2. Generador de rutas

Para la construcción de rutas se ha utilizado una técnica de búsqueda local basada en el algoritmo de simulated annealing (Kirkpatrick, et al., 1983). Este algoritmo requiere una solución inicial, generada mediante un algoritmo de inserción secuencial. La función de coste vendrá dada por la expresión 1.

$$F(s) = \sum_{i=1}^N (Ckg_i \times Kg_i + Ckm_i \times Km_i) \quad (1)$$

donde:

N: Número de camiones

Ckg_i : Coste por cada kg trasportado por cada camión

Kg_i : kg transportados por cada camión

Ckm_i : Coste por cada km recorrido por cada camión

Km_i : km recorridos por cada camión

El generador de rutas proporciona una solución que se traslada al mapa de edición de rutas, donde el operador puede aceptarla o realizar los cambios que este estime oportunos, gracias al completo conocimiento de la realidad que este posee.

4.3 Interface de usuario

El interface de usuario permitirá la interacción del operador con la base de datos así como la edición manual de las rutas generadas por el generador de rutas. El interface de usuario tiene 5 módulos.

1. Modulo de Ubicaciones: En este modulo (Fig. 2), el operador puede modificar varios datos referentes a las granjas productoras de leche (Kg diarios producidos, la periodicidad de recogida, el horario de ordeño o la calidad de la leche producida,...). Este modulo también nos permite crear nuevas granjas o eliminar una ya existente. Cualquier modificación en los datos realizada en este y en los demás módulos, queda automáticamente disponible en el mapa de edición de rutas y en el generador de rutas.

Figura 2. Interface para edición de los atributos de las granjas

Locations										
0 = Factory. [1 to 99] = Trucks. [100 to infinite] = Farms										
<input type="button" value="Enlist Trunk"/> <input type="button" value="Enlist Farm"/>										
Partner	Incumbent	Adress	Coordinate. X	Coordinate. Y	Download. Time	Quality	Kg	Periodicity	Hr. St	
0	FEIRACO		524430,0	4749676,0						
1	Candal		566880,0	4770832,0						
2	Jesus Rodriguez		525478,0	4748089,0						
3	Pena		500859,0	4754171,0						
4	Maria Lens		524558,0	4750488,0						
5	Maria Lens		524606,0	4750469,0						
6	Canosa		497358,0	4760457,0						
7	J. J. Lopez		567766,0	4770541,0						
8	Jesus Rodriguez		521746,0	4751571,0						
9	Jesus Rodriguez		525452,0	4748111,0						
10	Brenlla		521724,0	4751565,0						
50	FICTICIO		524430,0	4749576,0						

2. Modulo de transporte: En este modulo (Fig. 3), el operador puede modificar varios datos referentes a los camiones de recogida de leche. Este modulo también permite crear nuevos camiones o eliminar los ya existentes.

Figura 3. Interface para edición de atributos de transportes

Trucks		Other Information Truck [1,99]	
Identifier Truck	Registration	MAM	Trunk Driver
1	1431-BYS	14800	Candal
2	3800-HGW	15000	Jesus Rodriguez
3	3874-FWN	14400	Pena
4	7367-GZR	16500	Maria Lens
5	7414-GHX	15000	Maria Lens
6	PO-6996-BP	15000	Canosa
7	4966-FGY	16000	J. J. Lopez
8	C-6760-CD	9000	Jesus Rodriguez
9	5999-GDB	10000	Jesus Rodriguez

3. Modulo de accesibilidad: En este modulo se encuentra la matriz de incompatibilidad Granja-Transporte. El modulo permite definir la accesibilidad de cada vehículo a las distintas granjas.
4. Modulo de modificación de inicio de jornada: En este modulo (Fig. 4), se puede modificar la hora de inicio de jornada laboral de los transportistas para evitar las coincidencias en el muelle de descarga de la industria láctea.

Figura 4. Pantalla de edición de inicio de jornada

Star Time Truck		
Truck	Day	Star Time
1431-BYS	1	4:00:00
1431-BYS	2	4:00:00
3800-HGW	1	4:00:00
3800-HGW	2	4:00:00
3874-FWN	1	4:00:00
3874-FWN	2	4:00:00
7367-GZR	1	4:00:00
7367-GZR	2	4:00:00
7414-GHX	1	4:00:00
7414-GHX	2	4:00:00
PO-6996-BP	1	4:00:00
PO-6996-BP	2	4:00:00

5. Modulo mapa de edición de rutas: El mapa de edición de rutas (ver fig. 5), permite seleccionar dos rutas cualesquiera de la planificación generada por el generador de rutas. En el mapa, se muestran en dos colores diferentes las granjas recogidas por la ruta 1 y por la ruta 2. Para observar mejor la posición de estas granjas o las carreteras utilizadas, podemos hacer zoom sobre el mapa.

Figura 5. Pantalla de edición de rutas

Route 1: 8544-HKK - Route 3 - Day 1 Route 2: 1445-DFR - Route 1 - Day 1

Total Hours Works daily: 06:19 Total Hours Works daily: 11:32

Total kilometers (All Routes): 4,547
Total hours (All Routes): 176,5

Total Kg. Day 1: 48 % Total Kg. Day 2: 52 %

Collecting Conflicts!!

8544-HKK - Route 3 - Day 1						
Partner	Symb	Kg	Quality	Hour	Pen	MW
0	A			07:00		
6188	B	241	2	07:20	2	
8810	C	225	2	07:26	2	X
3051	D	272	2	07:31	2	
3273	E	449	2	07:41	2	
10177	F	2246	2	07:51	2	
8204	G	2307	2	08:13	2	X
8847	H	514	2	08:23	2	
4185	I	516	2	08:35	2	
8830	J	626	2	08:43	2	
8987	K	1102	2	08:50	2	
599	L	835	2	09:04	2	

91 %

1445-DFR - Route 1 - Day 1						
Partner	Symb	Kg	Quality	Hour	Pen	MW
3	A			04:00		
7976	B	692	2	04:10	2	
7919	C	766	2	04:18	2	
7451	D	414	2	04:24	2	
3977	E	698	2	04:32	2	
3276	F	1414	2	04:40	1	
6564	G	220	2	04:44	2	
5207	H	1285	2	04:49	1	
7844	I	242	2	04:55	2	
8120	J	218	2	05:01	2	
8515	K	937	2	05:06	2	
8499	L	807	2	05:13	1	
9110	M	468	2	05:17	2	

95 %

El editor de rutas, permite al operario conocer todos los datos necesarios para la optimización de rutas:

- Visualización grafica de la posición de las granjas visitadas en cada ruta.
- Orden en el que van a ser recogidas las granjas, y la hora prevista de llegada a cada granja.
- Kg de leche que son recogidos en cada ruta.
- Porcentaje de ocupación de las cisternas de los camiones.
- Km recorridos en cada ruta.
- Porcentaje de Kg de leche que son recogidos el día 1 y el día 2.

Además, el operario puede conocer todos los datos referentes a cada granja, como la calidad de leche que genera, los Kg de leche que produce y la periodicidad de recogida de la propia granja.

El editor de rutas permite al operador, interactuar con la información grafica, de tal manera que podemos seleccionar dos rutas de recogida de leche, y realizar movimientos de granjas entre ellas, siempre y cuando se cumplan todas y cada una de las siguientes restricciones:

- Que el camión pueda acceder a la granja.
- Que no se produzca un conflicto de recogida, es decir, que no se recoja leche en la ventana de ordeño y que se mantenga la prelación respecto a dicha ventana en todas las recogidas.
- Que no se permute el día de recogida en las granjas de recogida diaria.

En caso de que el operador intente realizar un movimiento que incumpla alguna de estas restricciones, el programa impedirá realizar dicho movimiento y emitirá un aviso informándole de la restricción que está incumpliendo. Cualquier movimiento realizado en el editor de rutas conlleva una actualización automática de datos mostrados en el editor. De esta manera, el SDSS ofrece al operador la información que este necesita para tomar decisiones a la hora de modificar las rutas de recogida de leche.

El programa Loxislact-Edit, además de las rutas existentes, también permite crear o eliminar rutas, de tal forma que ampliamos de manera significativa la flexibilidad de la herramienta. Otro de los aspectos que hace que la planificación actual de rutas en la empresa sea ineficiente, es que más de dos camiones coinciden en muchas ocasiones en los dos muelles de descarga que posee la industria en sus instalaciones. Para solucionar este problema el modulo de edición manual de rutas, posee un interface que nos permite observar de manera grafica las horas previstas de llegada de los camiones a los muelles de descarga. Esta ventana informativa nos permite editar el horario de inicio de la jornada laboral de los transportistas para adelantar o retrasar sus llegadas al muelle de descarga.

5. Conclusiones

Loxilact-Edit ha sido diseñado para facilitar a los usuarios en el proceso de generación de rutas, no para automatizar el proceso de toma de decisiones. Con la implementación del GIS en el DSS se proporciona al usuario una herramienta de gran alcance que le permite crear nuevas rutas, realizar cambios sobre ellas, y evaluar planes alternativos frente a los criterios dados. El SDSS permitirá al operador de logística poder considerar todos los aspectos y matices que posee su empresa en particular, y realizar cambios en las rutas para adaptarse a ellos. El operador posee una herramienta que le permite ver de forma instantánea y eficaz,

los resultados de sus propuestas, lo que le permite valorar la decisión de realizar cambios sobre las rutas o dejarlas como están. Este diseño permite aprovechar las superiores capacidades de cálculo de los ordenadores, con las superiores capacidades de reconocer y crear patrones del ser humano.

En general, los beneficios de un SDDS son difíciles de cuantificar. El verdadero valor del SDDS desarrollado es mejorar la capacidad de toma de decisiones del gerente de logística, dándole capacidad para realizar una planificación estratégica a largo plazo, o a actuar rápidamente frente a situaciones inesperadas. Estas ventajas no se pueden medir de forma directa con un análisis costo-beneficio. Sin embargo alguno de los beneficios que aporta el SDDS se pueden medir, como la reducción en los costes de combustible, amortización de los camiones y costes laborales.

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.
- 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), 671-680.
- Maria, J., Coutinho-Rodriguez, J. & Current, J., 2005. "Interactive destination marketing system for small and medium-sized tourism destinations". *Tourism (Zagreb)*, 1(53), pp. 45-54.
- 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.
- 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.
- Tarantilis, C. & Kiranoudis, C., 2002. "Using a spatial decision support system for solving the vehicle routing problem". *Information & Management*, 5(39), 359-375.
- 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).