

## Visualización avanzada de información logística SCM en GIS

Alejandro Rodríguez<sup>1</sup>, Rubén Ruiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Sistemas de Optimización Aplicada, Instituto Tecnológico de Informática, Universidad Politécnica de Valencia, Pza. Ferrándiz Carbonell, 2 03801 Alcoy, España arodriguez@doe.upv.es

<sup>2</sup> Grupo de Sistemas de Optimización Aplicada, Instituto Tecnológico de Informática, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46021 Valencia, España rruiz@eio.upv.es

**Palabras clave:** SCM GIS redes flujos logísticos

### 1. Introducción

En los últimos años el interés por la gestión de la cadena de suministro (*SCM – Supply Chain Management*) ha aumentado notablemente (Mentzer 2001). Una prueba de ello es el creciente número de artículos científicos que aparecen en la literatura donde se muestran diversas técnicas y modelos matemáticos que ayudan a la toma de decisiones de los diferentes agentes de una cadena logística. Éstos modelos se pueden clasificar en función del nivel de toma de decisiones: desde el nivel estratégico como los problemas de localización, diseño de redes logísticas, análisis de *clusters*; hasta el nivel táctico-operativo, como técnicas de previsión multi-producto y multi-agente, gestión de inventarios para proveedores de diferentes niveles, gestión de requerimientos de materiales, entre muchas otras.

Este interés creciente se debe, en nuestra humilde opinión, a dos razones principales: por un lado, es una nueva rama de investigación científica fructífera para los autores; por otro lado, cada vez son más las empresas que siguen los pasos de las grandes multinacionales del sector del automóvil, que estuvieron entre las pioneras a la hora de demostrar el potencial de mejora de la competitividad que se encuentra en los modelos de confianza e integración con los proveedores cercanos, y que con el tiempo, a su vez han propagado este efecto '*aguas arriba*' en la cadena de valor. En este sentido, a medida que avanza esta difusión, la ciencia ayuda a empresas de menor tamaño y recursos a beneficiarse de la experiencia y conocimiento adquirido por las grandes. Sin embargo, se hace más patente la necesidad de acercar dichos modelos al nivel de experiencia y a la falta de recursos de los agentes destinatarios.

### 2. Objetivos

En este trabajo\* no se pretende hacer un repaso ni una crítica del estado del arte de los modelos SCM (Wu 2000), sino que se propone una herramienta de visualización que puede ayudar a la hora de acercar los modelos a aquellos agentes que no disponen del perfil de conocimiento y nivel de experiencia que algunos modelos avanzados requieren, en el proceso aumentamos la usabilidad, capacidad de análisis e interpretación.

Por tanto, el objetivo principal ha sido el desarrollo de una herramienta que permita visualizar, interactuar y analizar la ingente cantidad de datos, variables y resultados que son requeridos por los modelos SCM (niveles de inventario, previsiones de demanda, capacidades

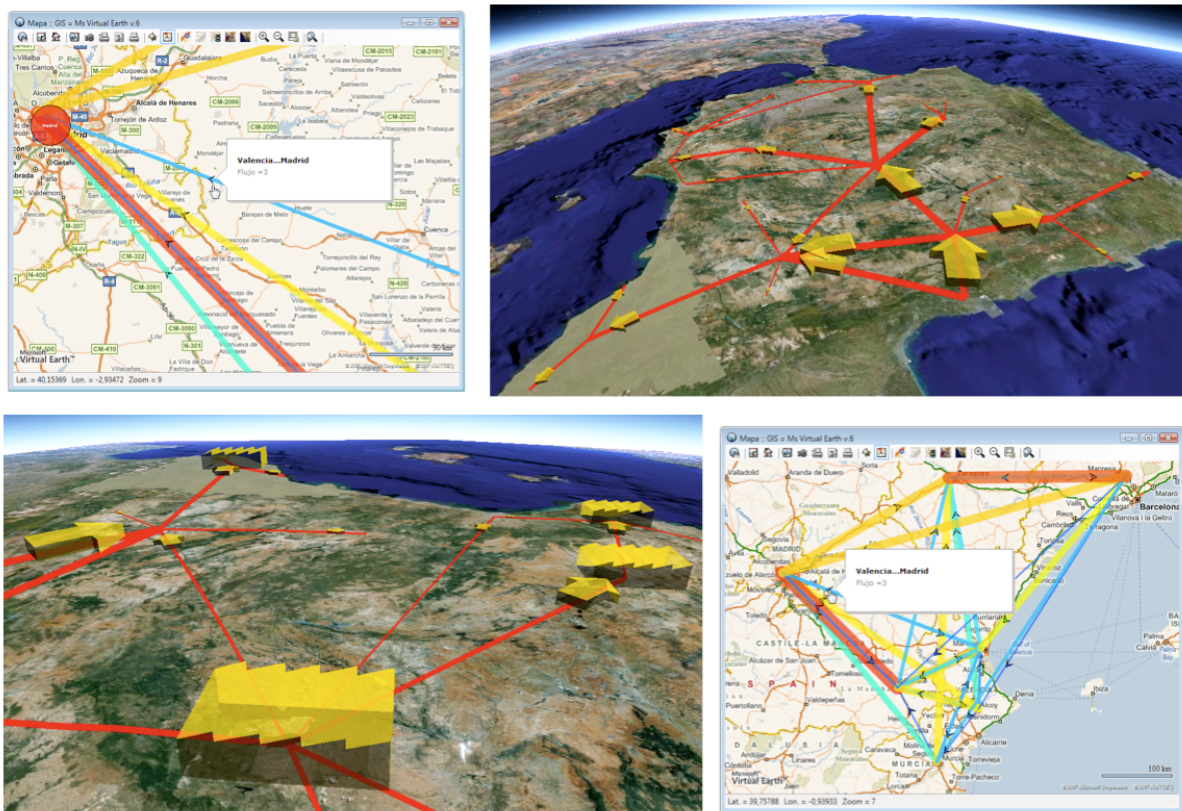
---

\* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, con referencia IAP-020100-2008-11, titulado "OACS - Optimización Avanzada de la Cadena de Suministro".

de producción, costes, flujos logísticos, tiempos de servicio, entre otros parámetros e indicadores). De este modo se pretende acercar y facilitar la interpretación de dichos modelos.

### 3. La dimensión geográfica

El modo en el que se realiza la interacción con los datos logísticos, y su visualización es una de las aportaciones clave de este trabajo. Podríamos decir que el desarrollo se centra en el aprovechamiento de la dimensión geográfica como medio para la adecuada visualización e interpretación de las variables logísticas (Figura 1). Para ello, se ha diseñado una estructura (Figura 2) que es capaz de relacionar los datos y las variables resultado de los cálculos SCM con la información geográfica (*GIS – Geographic Information System*). El SIG es una colección organizada de datos geográficos que permite analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada. La clave, por tanto, es la geolocalización (*geocoding*) de cualquier agente logístico que participe de la cadena (los proveedores, depósitos, clientes, etc.); en este proceso se asocia una latitud y una longitud terrestre a cada uno de ellos, para posteriormente poder representar sobre el territorio las variables a estudiar.



**Figura 1.** Ejemplos de visualización de la cadena de suministro en un Sistema de Información Geográfica (GIS).

En la actualidad el sistema utiliza servicios como *Google Maps*, *Google Earth* y *Ms VirtualEarth*; detrás de esta información geográfica se encuentran empresas consolidadas como *NAVTEQ* y *TeleAtlas* que aseguran una cobertura cartográfica global que se actualiza constantemente (nuevas carreteras, cambios en los sentidos de circulación, distancias y tiempos, pequeñas poblaciones, imágenes aéreas, etc.). Además el sistema es capaz de exportar la información a otros formatos GIS estándar o de incorporar en el futuro conexión con otros GIS (como por ejemplo *Open Street Maps*).

#### 4. Infraestructura y funcionalidad

En la estructura diseñada (Figura 2), es muy importante la conectividad con las bases de datos que contienen toda la información (Rai et al., 2006): proveedores, materiales, medios y vías de comunicación, costes, flujos logísticos, etc. A partir de esta información, se realizan todos los cálculos o simulaciones necesarias en el módulo SCM, mediante la utilización de los algoritmos necesarios (según el análisis a realizar). Los resultados son almacenados y asociados a sus coordenadas geográficas. Posteriormente otro módulo se encarga de procesar dicha información para la correcta representación geográfica, haciendo las llamadas necesarias al servicio GIS que proporciona los mapas del territorio seleccionado.

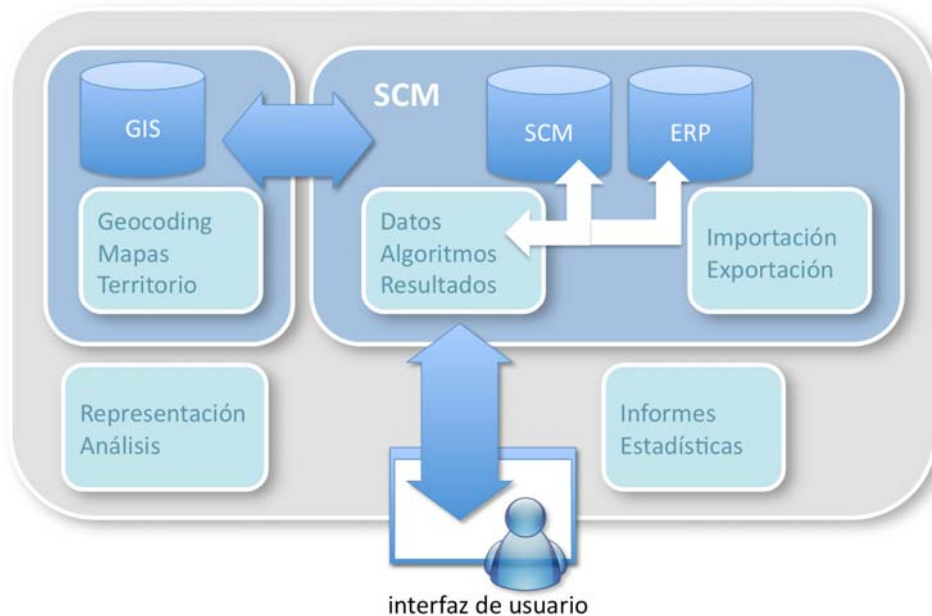


Figura 2. Esquema de la infraestructura desarrollada.

Cabe mencionar que esta estructura es modular y abierta, lo que permite la incorporación de nuevos módulos con nuevas funciones, y la importación o exportación de/hasta otros sistemas y formatos.

La interfaz de usuario facilita el acceso a cada una de las vistas de la información (tablas, datos, mapas, gráficos e informes, etc.), y permite cierto grado de interacción en el análisis de los resultados (meta-información, filtros, ordenación y agregación, capas de visualización sobre el GIS, cálculo y representación de diferentes escenarios, y comparativas entre otras).

#### 5. Arcos y nodos de la red logística

Los modelos SCM tratan de explicar y mejorar el comportamiento de los actores logísticos que forman parte (o viajan a través) de una red o cadena de valor, es por ello, por lo que toda la información relativa al estudio de la red se puede asociar fácilmente a los nodos de la misma (proveedores a diferentes niveles, productores, transformadores o montadores, almacenes o centros de distribución, mayoristas, clientes finales, etc.); o a los arcos que los conectan (relaciones servidor-cliente, productor-consumidor, competidor o '*coopetidor*', vías o medios de transporte, etc.). Como dichos nodos además están geo-localizados, se puede trasladar todas las propiedades de la red y sus elementos a una proyección geográfica.

Ahora bien, en este trabajo se ha tratado de encontrar la mejor forma de representar gráficamente dicha información. A continuación se expondrán algunos ejemplos que ayudarán a comprender su alcance y utilidad.

## 6. Análisis y representación de variables asociadas a los nodos

Existen multitud de variables y ratios que se pueden asociar a los nodos de una red logística. Algunas de éstas podrían ser: la demanda prevista, el consumo, la facturación en un intervalo de tiempo, la producción, la rotación, la productividad, los costes de operación fijos y variables, la rentabilidad actual y calculada, la calidad del servicio, los tiempos de respuesta, el nivel de inventario actual o recomendado, la frecuencia de los servicios o pedidos, entre otros muchos otros indicadores y parámetros.

El objetivo es que el usuario, pueda fácilmente representar y analizar la importancia relativa de cada uno de ellos dentro de la cadena logística; por ejemplo: ¿cuál es mi proveedor más importante desde el punto de vista logístico?, ¿cuál de mis centros de producción o distribución proporciona más cobertura en la red?, ¿cuál es la relación con los flujos logísticos?, ¿cómo se está comportando uno de los nodos medido con un determinado parámetro de eficiencia logística?, etc. Para ello, el usuario selecciona las localizaciones y las variables a analizar de la red (o una porción de ella). En función de los datos, el sistema calcula las relaciones necesarias y construye un mapa que representa (con iconos, por tamaños y colores) la importancia relativa de cada uno de ellos.

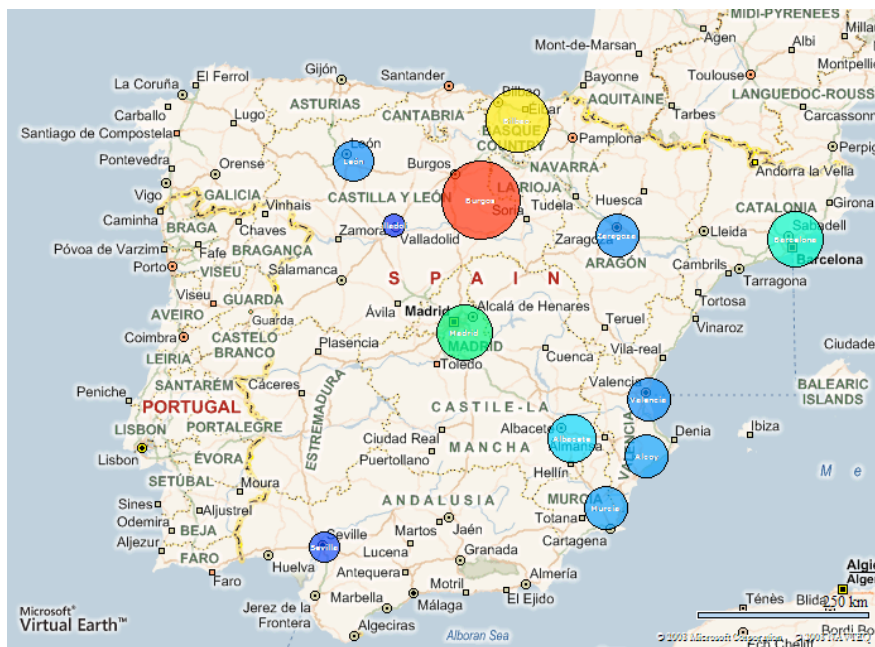


Figura 3. Ejemplo de representación de variables asociadas a nodos, el tamaño y color es relativo a su valor.

El mapa anterior (Figura 3) muestra diferentes proveedores mediante círculos de tamaño proporcional a su importancia relativa. Los colores ayudan a la interpretación de dicha importancia. El código de colores puede ser personalizado por el usuario; por ejemplo, con un gradiente térmico que presentará los más importantes (más calientes), en comparación con los menos importantes (más fríos) de la red.

### Mejorando la percepción y el análisis visual

Sin embargo, para los círculos (o iconos) pequeños o aquellos que están rodeados de otros más pequeños es difícil distinguir las diferencias visualmente. Esto es debido a una conocida ilusión óptica. Lo que realmente ocurre, es que el ojo humano tiene una falsa percepción del tamaño que está en función del tamaño de los círculos de alrededor. El ojo humano está diseñado para comparar, para buscar diferencias. Sin darnos cuenta comparamos cada círculo con sus adyacentes, de manera que lo veremos grande o pequeño en relación a los circundantes. Algunas investigaciones psicológicas han revelado que, si bien las personas son

capaces de calcular (estimar visualmente) las longitudes, tienden a subestimar las áreas y los volúmenes. En otras palabras, cuando se le preguntó a las personas que eligiera un círculo del doble de tamaño de uno dado en un conjunto de círculos de diferente tamaño, la mayoría de la gente eligió un círculo que era aproximadamente 1'8 veces el tamaño del original (menor que el doble). Esta estimación subestimada, empeora a medida que aumenta el tamaño del objeto original, y además es peor para volúmenes que para áreas (Slocum 2005). Parece además que el ojo humano es mejor midiendo distancias, que áreas y que volúmenes. La solución es aplicar un método que corrija esa percepción aparente de escala al tamaño de los símbolos utilizados; la compensación de Flannery (Figura 4):

La escala proporcional en mapas de símbolos fue el principal foco de investigación de James Flannery, un estudiante de Arthur Robinson, uno de los fundadores de la Academia de Cartografía Americana. La investigación de Flannery sobre mapas de símbolos se basó en las investigaciones de 1920 sobre la percepción humana de los círculos y otros símbolos en gráficos estadísticos. La disertación de Flannery de 1956, fue uno de las primeras en geografía que utilizó la metodología psicofísica. Después de miles de experimentos de percepción, Flannery desarrolló un método para compensar la mencionada subestimación.



**Figura 4.** Una escala proporcional (izquierda) y una representación con compensación de Flannery (derecha).

## 7. Análisis y representación de variables asociadas a los arcos

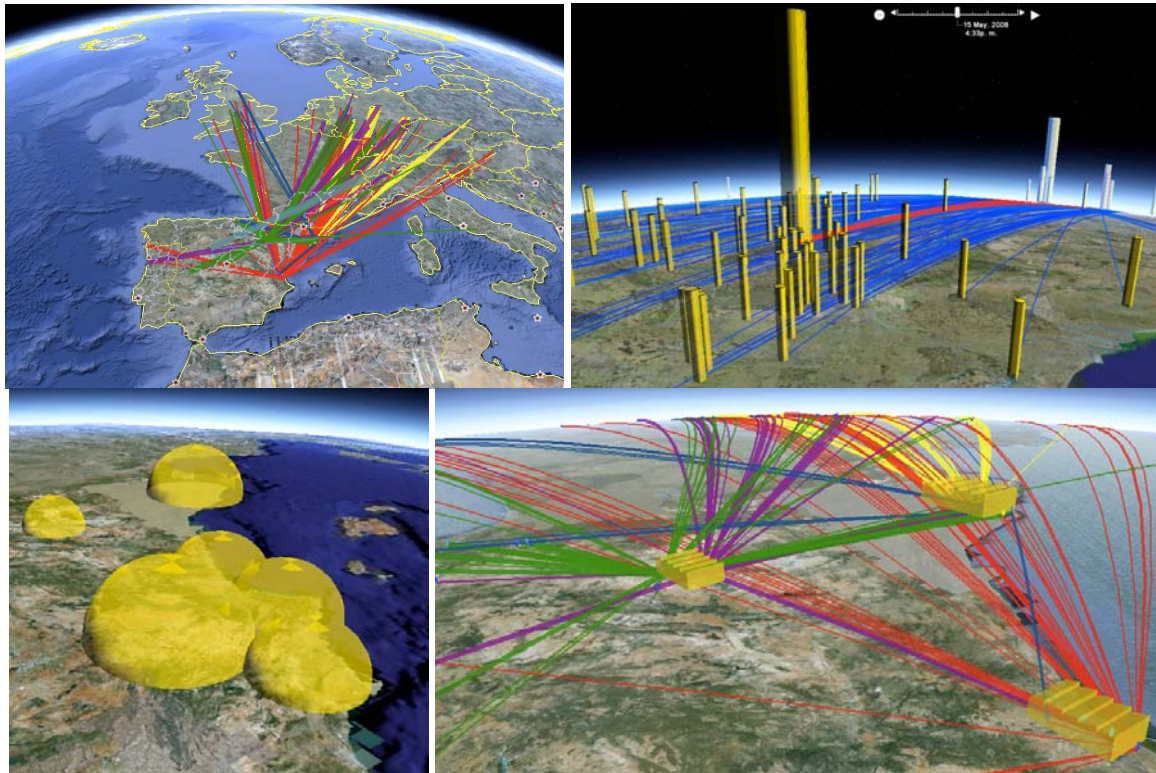
Del mismo modo, existen muchas variables y ratios asociadas a los arcos de una red logística. Algunos ejemplos serían: la frecuencia de los envíos, el volumen o tamaño de los lotes, los flujos de materiales para un conjunto de ítems, los costes y rentabilidad del transporte, el tiempo o velocidad del servicio, la rentabilidad de las operaciones, la relación de cooperación, los retornos o logística inversa, entre otros muchos indicadores.

El usuario puede ampliar su análisis representando las relaciones y flujos entre los agentes logísticos. Es entonces cuando se visualiza la red, la proximidad o lejanía geográfica, la cobertura e internacionalización de la misma, los *clusters* o asociaciones, etc. Cuando el usuario selecciona un conjunto de actores, el sistema representa las relaciones y resultados proveniente de los cálculos SCM y construye un mapa (Figura 1) que mediante códigos de colores, tamaños proporcionales y vectores (grafo dirigido) le ayuda en su análisis.

## 8. La visión tridimensional

Gracias a la utilización de herramientas como *Google Earth*, todo lo anteriormente expuesto, se puede trasladar a un globo terráqueo virtual y tridimensional (Chadil et al., 2008). Es entonces, cuando la cadena logística cobra una nueva dimensión. La tercera dimensión ayuda

a visualizar y comparar las variables en un entorno más natural. Además, para la mente de un occidental (acostumbrado a situar su país en el centro del mapa y el norte geográfico en la parte superior) poder girar el planeta (el territorio) en cualquier dirección espacial y verlo desde cualquier punto de vista puede ayudar a tener ‘nuevas perspectivas’ (Figura 5) sobre el problema logístico que es cada vez más global; nuestra experiencia así lo confirma.



**Figura 5.** Ejemplos de un SCM real en un entorno virtual 3D (sector del automóvil).

En las imágenes anteriores, se puede observar como se pueden incorporar múltiples objetos 3D al mapa y con ello simbolizar los diferentes agentes o actores de una cadena de suministro (proveedores, productores, centros de distribución, y mercados); las posibilidades son enormes. Los iconos 3D tienen un tamaño proporcional a la magnitud representada (Shepherd 2008). Además se representan también los flujos logísticos cuyos grosor representa la proporción respecto a toda la red. El color puede indicar también su magnitud o el ítem o variable deseada.

## **9. La dimensión temporal**

Por último, queremos añadir que en el momento de escribir este artículo, seguimos trabajando e investigando en el mejor modo de representar conjuntamente a todo lo anterior la dimensión temporal (el tiempo). El objetivo es poder visualizar el contexto dinámico y temporal de las operaciones logísticas: simulaciones y previsiones, recreaciones de los históricos, que proporcionen al gestor logístico la posibilidad de reproducir y analizar hechos pasados o situarse en hipotéticos escenarios futuros. Esperamos mostrar los resultados en futuros artículos.

## **10. La utilidad de este enfoque**

A medida que aumenta el tamaño de la red, el número de relaciones crece cuadráticamente, y la complejidad del análisis se hace patente. Nótese la diferencia de cara al usuario, entre este tipo de acción y tener que enfrentarse a una hoja de cálculo repleta de datos numéricos (Stadtler 2005).

El sistema no sólo es capaz de ayudar al usuario en los cálculos, selección, agregación, ordenación y filtrado de la información; sino que proporciona un soporte visual imprescindible para comprender la magnitud, el contexto y el significado de las variables. Con todo ello, no sólo se facilita una herramienta útil para la toma de decisiones, sino que además puede servir para representar y comunicar a otros miembros de la organización los objetivos, o las conclusiones de los análisis.

## 11. Aplicaciones a casos reales

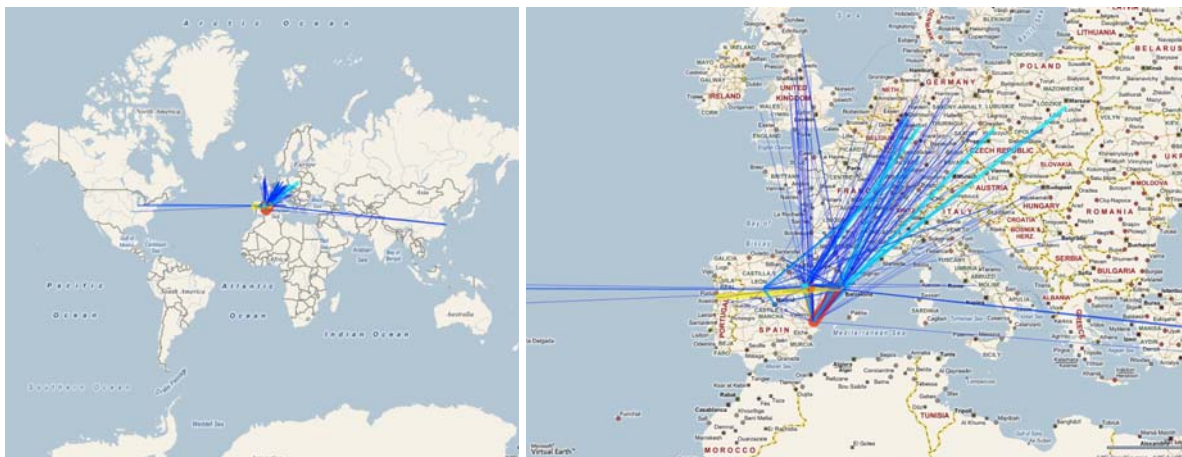
Durante este desarrollo, se ha tenido la oportunidad de testear la funcionalidad de esta herramienta con algunas empresas. A continuación se describen brevemente (y sin mostrar información confidencial de las mismas) un par de dichas experiencias.

## 12. Sector del automóvil

Esta primera experiencia real corresponde a una empresa multinacional proveedora de un montador (o fabricante) de automóviles. Dicha empresa proveedora actualmente está suministrando al montador mediante un complejo sistema JIT (*Just In Time*). La empresa es un proveedor cercano al montador, tanto que está físicamente conectado al mismo, y entrega sus componentes y sub-conjuntos mediante un sistema automático secuenciado y sincronizado con la cadena de montaje del fabricante.

En este caso, el proveedor estaba interesado en analizar la red logística con sus proveedores, esto es, proveedores de segundo nivel del fabricante, y otras empresas de su grupo nacional. Para ello, en primer lugar se recopilieron los datos de todos estos agentes logísticos: demandas en un período temporal, ítems, flujos y relaciones. El siguiente paso, fue geo-localizar todos los elementos de la red.

A continuación, el sistema realizó los cálculos necesarios de flujos logísticos para dicho período temporal, y otras variables como la demanda y la producción total de cada agente. El resultado fue una representación visual de la red (Figuras 5 y 6).



**Figura 6.** Ejemplos de un SCM real en un GIS (sector del automóvil).

Gracias a esta representación, los responsables logísticos de la empresa, pudieron interpretar fácilmente una ingente cantidad de datos, y de este modo percibir de un modo más realista su verdadera situación actual. Interactuando con el sistema pudieron descubrir algunas oportunidades de mejora derivadas del hecho de que gran parte de sus proveedores están situados en países y regiones centro-europeas: ¿sería posible buscar y localizar a otros proveedores alternativos más cercanos? ¿es económicamente rentable y logísticamente posible agrupar envíos desde estos proveedores lejanos para facilitar la gestión de los aprovisionamientos y ahorrar en costes de suministro? (Jharkharia y Shankar 2007). Estas son

algunas de las cuestiones que se desvelaron gracias a la utilización de este sistema y que actualmente están siendo estudiadas.

### 13. Sector farmacéutico

Otra de las experiencias que los autores de este trabajo quieren compartir con la comunidad científica se refiere al sector farmacéutico. En concreto se trata de una empresa distribuidora de medicamentos y otros productos farmacéuticos que se aprovisiona de almacenes de diferentes empresas farmacéuticas y de otras centrales de compras. Esta empresa atiende los pedidos de las farmacias de su localidad y de otras localidades cercanas, a su vez, también aprovisiona a otro almacén de otra localidad que hace lo propio (atender a las farmacias de esta segunda localidad o de otras cercanas de su territorio).

En este caso, se combinan los flujos logísticos de aprovisionamiento, con el problema de reparto varias veces al día de las farmacias desde cada uno de los dos almacenes de la empresa. El interés por esta herramienta surge de la necesidad de analizar estas dos facetas: ¿es correcta mi función de aprovisionamiento? ¿qué oportunidades de mejora puedo explorar?, y por otro lado ¿mi actual modelo de servicio a mis clientes (que fue diseñado en su día) es adecuado, o requiere ser revisado para mejorar el servicio y abaratar costes de distribución?.

De igual modo al caso anterior, fue necesaria cierta labor de campo para recopilar y acondicionar los datos. Tras ello, la herramienta facilitó los análisis, tal y como se puede ver en la (Figura 7). El último mapa (abajo a la derecha) muestra además del aprovisionamiento diario, el reparto a las farmacias locales (4 rutas) por capilaridad desde el segundo almacén de la empresa.

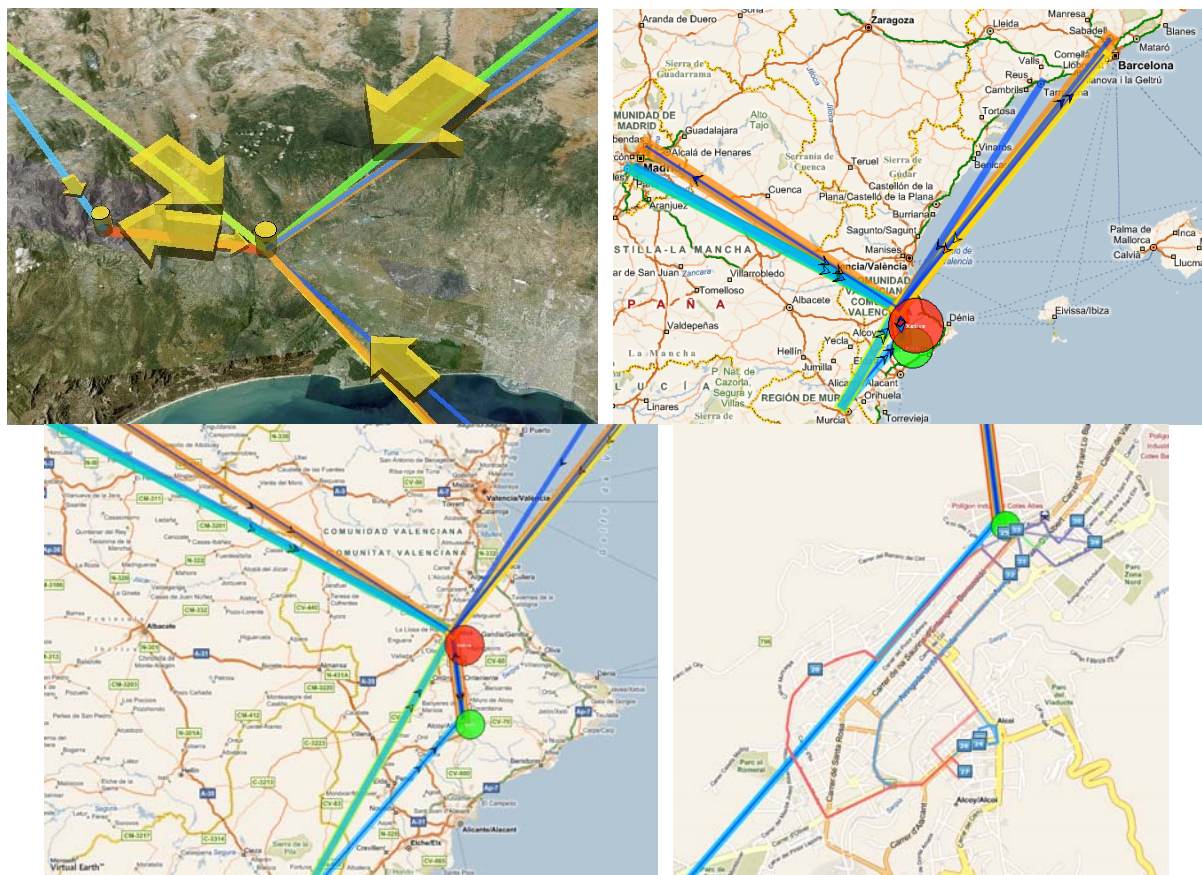


Figura 7. Ejemplos de un S&DCM real en un GIS (sector farmacéutico).



Las conclusiones del análisis permitieron a la empresa hacer patente la necesidad de mejorar su estructura organizativa para disponer de los recursos humanos necesarios para la gestión de la función logística. Es decir, esta empresa en concreto comprendió la necesidad de realizar un cambio de paradigma desde su actual (pero tradicional) modelo de compras y ventas, a otro modelo de logística integral (SCM + CRM + VRP). Para ello, la empresa tendrá que capacitar a las personas adecuadas y transformar parte de sus sistemas de información (Helo y Szekely 2005). La empresa ha detectado que la inversión necesaria en infraestructura, personas y formación es una inversión rentable a medio plazo.

#### **14. Conclusiones**

En este trabajo se ha descrito la infraestructura y la funcionalidad de la herramienta desarrollada. Se ha intentado mostrar la gran utilidad de la dimensión geográfica como medio para la representación y análisis de diversas variables (que se pueden asociar fácilmente a los arcos y a los nodos de la red logística).

Por último, se han expuesto brevemente los resultados obtenidos en un par de aplicaciones a casos reales de análisis de la gestión de la cadena de suministro. Todo ello, puede ayudar a desarrollar futuras líneas de trabajo de otros grupos de investigación o a incorporar a sus líneas la dimensión geográfica aquí presentada.

#### **Referencias**

- Chadil, N., Russameesawang, A., y Keeratiwintakorn, P. (2008). Real-Time Tracking Management System Using GPS, GPRS and Google Earth. En ECTI-CON 2008: Proceedings of the 2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Volúmenes. 1-2, pág. 393–396.
- Helo, P. y Szekely, B. (2005). Logistics information systems - An analysis of software solutions for supply chain co-ordination. *Industrial Management & Data Systems*, 105(1-2):5–18.
- Jharkharia, S. y Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *OMEGA-International Journal of Management Science*, 35(3):274–289.
- Mentzer, J.T. et al. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*. 22(2):1-25
- Rai, A., Patnayakuni, R., y Seth, N. (2006). Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities. *MIS QUARTERLY*, 30(2):225–246.
- Slocum, T. A. (2005). *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. Segunda Edición, Pearson Education, Inc.
- Shepherd, I. D. H. (2008). *Travails in the Third Dimension: A critical Evaluation of Three-dimensional Geographic Visualization*. Capítulo de libro en Dodge, M., McDerby, M. y Turner, M. “Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications”. Wiley.
- Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163(3):575–588.
- Wu, J., Ulieru, M., Cobzaru, M. y Norrie, D. (2000). Supply chain management systems: state of the art and vision. *Management of Innovation and Technology*, 2000. ICMIT 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Conference. Volumen. 2, Pág.. 759-764.