

VRP-XML: lenguaje de marcas extensible para los problemas de rutas de vehículos.

Alejandro Rodríguez Villalobos¹

¹ Dpto. de Organización de Empresas. Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Universidad Politécnica de Valencia. Pza. Ferrándiz-Carbonell, 03801 Alcoy. arodriguez@doe.upv.es

Resumen

En este artículo se presenta el trabajo realizado para la definición de una estructura de etiquetas VRP-XML que define los elementos de un documento que facilita el intercambio de datos en el contexto de los VRP (Vehicle Routing Problems). Todavía no existe un estándar consolidado para el intercambio de datos en este ámbito de trabajo, por lo que el objetivo de este artículo es proponer una estructura y conjunto de elementos que ayuden a este fin. En el artículo se subraya la importancia, la aplicación práctica y el modelo básico de este tipo de problemas. Se ilustra la relación entre el modelo VRP-XML y el sistema de información empresarial. Por último se muestran las líneas de futuro y posibles extensiones al modelo propuesto.

Palabras clave: rutas de vehículos, XML, VRP, logística, redes

1. La importancia del transporte y la gestión de flotas

El transporte es uno de los sectores que más aporta a la generación de riqueza (aprox. 5,8% del Valor Añadido Bruto Nacional de España). La estabilidad en términos de crecimiento del PIB que presenta el transporte por carretera parece ajena a oscilaciones cíclicas de la actividad económica general; con unas tasas de crecimiento sensiblemente superiores a las de las ramas de actividad en las que se encuadra. El transporte por carretera muestra un comportamiento netamente superior al resto de los modos y actividades de transporte (ferroviario, marítimo y aéreo) en cuanto a generación de valor por parte de los operadores españoles.

Por el contrario, el sector del transporte está integrado en su mayoría por pequeñas empresas, con desigual situación frente a la formación de sus trabajadores. Una gran parte del tejido empresarial se mantiene con estructuras anticuadas en su funcionamiento y la formación no forma parte de su cultura. Según un estudio del Ministerio de Fomento realizado en el 2001: el equipamiento informático del sector es escaso y su hábito de uso mínimo (Fomento 2001).

Las técnicas de investigación operativa relativas a la de gestión de flotas y el uso de tecnologías de la información pueden ayudar a contrarrestar los desequilibrios existentes entre la importancia del sector y su capacidad-calidad de servicio.

Dentro de la denominación de problemas de rutas de vehículos (*Vehicle Routing Problem - VRP*) realmente se engloba todo un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas. Desde aquellos más sencillos hasta algunos mucho más complejos que incluso hoy en día son materia de investigación.

Los problemas de rutas de vehículos (*VRP*) tratan determinar el conjunto de rutas de una flota de vehículos para dar servicio a un conjunto de clientes. Este tipo de problemas es de los más importantes, y de los más estudiados dentro de los problemas de optimización combinatoria. Dantzig y Ramser fueron los primeros en introducir este tipo de problemas en 1954, cuando describieron una aplicación real concerniente a la distribución de gasolina para estaciones de servicio. Además se propuso una formulación matemática del problema, y una aproximación algorítmica. Unos años después, Clarke y Wright (1964) aportaron una propuesta de algoritmo voraz (*greedy algorithm*) que mejoraba la aproximación algorítmica de Dantzig y Ramser (1959). A partir de estos dos trabajos iniciales, ha surgido toda una fértil línea de investigación y desarrollo que ha crecido mucho en los últimos años. En la actualidad hay incluso soluciones informáticas (Figura 1) en el mercado para este tipo de problemas.

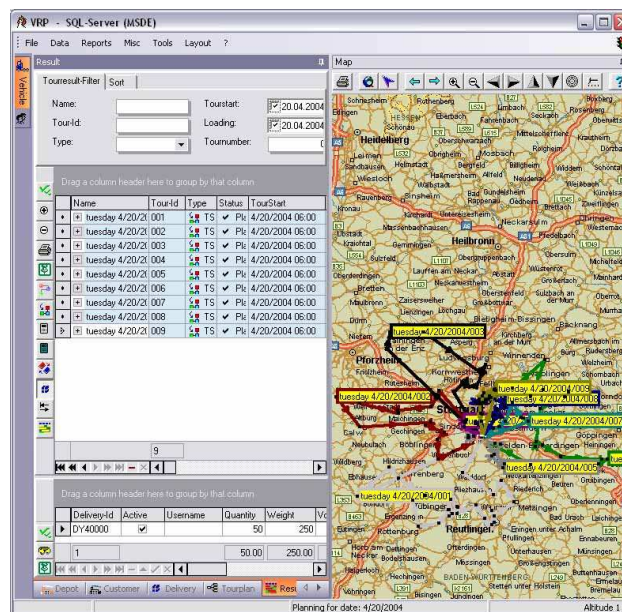


Figura 1. Pantalla de ejemplo de un software CVRP (*free-routing*).

Paradójicamente, es el creciente coste del combustible el que devuelve al escenario el interés por resolver y analizar este tipo de problemas. Su aplicación es visible y de gran importancia para la resolución de otros problemas reales en la dirección de operaciones y la logística. Por ejemplo: problemas de preparación de pedidos en un almacén (*picking*), de rutas de vehículos, planificación de transporte urbano, planificación de recogida de residuos o de aprovisionamiento, problemas de reparto o distribución, sistemas de navegación GPS, planificación de movimientos de robots, vehículos autoguiados (AGV), etc.

Este gran interés en este tipo de problemas se deriva por un lado, y como se ha visto anteriormente, en el sentido práctico de su aplicación en problemas reales (y la consecuente oportunidad de disminución de costes de transporte), y por otro lado en la gran complejidad matemática de este tipo de problemas. Al igual que la mayoría de los problemas VRP, el problema CVRP es de complejidad NP-completo. Esto es así, porque el número de posibles soluciones crece exponencialmente con el número de nodos del grafo (clientes o puntos de paso), y rápidamente sobrepasa las capacidades de cálculo de los ordenadores más potentes. Los problemas de unos 50 clientes pueden ser resueltos mediante métodos y formulaciones exactas (Fisher 1994), sin embargo, los problemas de mayor complejidad sólo pueden ser resueltos de manera óptima en algunos casos particulares, dada su gran complejidad numérica.

El Problema CVRP básico trata de determinar los recorridos de k vehículos de capacidad C_k que partiendo de un origen común deben pasar por un conjunto de lugares de interés (clientes) para recoger o distribuir mercancías según una demanda d_i , y volver de nuevo al origen de manera que la distancia total recorrida (el coste o el tiempo empleado) por el conjunto de vehículos sea mínima. En el tipo de problema más sencillo no se tiene en cuenta el horario de entrega o recogida en cada lugar de interés (ventanas horarias).

A partir de este problema básico aparecen todo un conjunto de extensiones o particularizaciones. Por ejemplo, la función objetivo podría ser:

- minimizar el número total de vehículos (o conductores) requeridos para dar servicio a todos los clientes.
- minimizar los costes fijos asociados con el uso de los vehículos (o los conductores)
- minimizar el coste total de transporte (coste fijo más variable de la ruta)
- balancear las rutas, por tiempo de viaje o carga de vehículo
- minimizar las penalizaciones asociadas para un servicio parcial a los clientes

A continuación, se muestra el modelo matemático de tres subíndices para el problema básico CVRP (1):

$$\begin{aligned} \min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} & \quad (1) \\ \text{s.a.} & \\ \sum_{k=1}^K y_{ik} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} & \\ \sum_{k=1}^K y_{0k} = K & \\ \sum_{j \in V} x_{ijk} = \sum_{j \in V} x_{jik} = y_{ik} \quad \forall i \in V, k = 1 \dots K & \\ \sum_{i \in V} d_i y_{ik} \leq c_k \quad \forall k = 1 \dots K & \\ \sum_{i \in S} \sum_{j \notin S} x_{ijk} \geq y_{hk} \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, h \in S, k = 1 \dots K & \\ x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, k = 1 \dots K & \\ y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, k = 1 \dots K & \end{aligned}$$

Para un conjunto i, j de nodos del grafo, se expresa la función objetivo que intentará minimizar el coste total de todos los arcos recorridos en la solución. La variable binaria X_{ijk} indica si el vehículo k tendrá una ruta utilizando el arco ij . Mientras, la variable binaria Y_{ik} indica si el nodo i con demanda d_i será atendido por el vehículo k con capacidad C_k . Como se puede ver en la primera restricción cada nodo cliente deberá ser atendido únicamente por un vehículo (en el problema básico CVRP). En cambio del nodo origen 0 pueden partir todos los vehículos K de la flota. A continuación aparecen las restricciones de continuidad donde el vehículo que llegue a un cliente deberá también partir desde él. Tan sólo faltan las restricciones de capacidad: la demanda atendida por un vehículo (suma de d_i) no debe exceder su capacidad C_k . En el caso en que todos los vehículos tengan la misma capacidad, los valores C_k serán iguales. Por último aparecen las condiciones de Miller y Tucker (1960), y la definición de variables binarias.

Para el modelado, resolución y análisis de este tipo de problemas, es necesario gestionar una enorme cantidad de información: datos sobre las características de la flota de vehículos, los planes de ruta, los cargamentos, depósitos y recogidas, información geográfica, las restricciones y la función objetivo, etc. Además este tipo de problemas son dinámicos y cambian en el tiempo, sus datos deben de estar soportados por una estructura flexible, capaz no sólo de atender tal cantidad de información según los actuales requerimientos de la empresa, sino también los futuros del sistema logístico (ampliación del número de clientes, de la flota de vehículos, nuevas restricciones, etc.).

2. El modelo VRP-XML

El XML (*eXtensible Markup Language*) es una parte del lenguaje SGML (*Structured Generalized Markup Language*) definido en 1998 por el W3C (*World Wide Web Consortium*). XML se diseñó para que fuera fácil de implementar e interoperar con SGML y HTML. El conocido HTML es una aplicación específica de SGML, mientras que XML es un sublenguaje de SGML. Es más correcto decir que XML es un conjunto de reglas para el diseño de etiquetas semánticas (*tags*), es un lenguaje de *meta-markup* que fue pensado para definir otros lenguajes.

Actualmente XML es muy popular y se considera muy adecuado para estructurar, describir e intercambiar información, debido entre otras cosas a que: permite la reutilización e intercambio de datos, facilita la automatización e interacción con aplicaciones externas e internas; fue diseñado para esto. Facilita las transacciones entre bases de datos, aplicaciones y documentos. Ofrece a operarios, clientes y proveedores, información segura y actualizada, independiente del medio de conexión y del protocolo de comunicación (ver Figura 2). XML es legible, muestra el significado y las relaciones de la información contenida, permite gestionar y manejar datos, estructurados o no; incluye habilidades hipertextuales. Es extensible y adaptable a necesidades futuras, y específicas de una empresa o de una relación en concreto. Es personalizable a cada usuario. Permite diseños en 3 capas, separando datos, lógica y presentación.

Estas características, resuelven los problemas que aparecen en el intercambio de datos y la interoperabilidad en el ámbito de la investigación operativa y la logística.

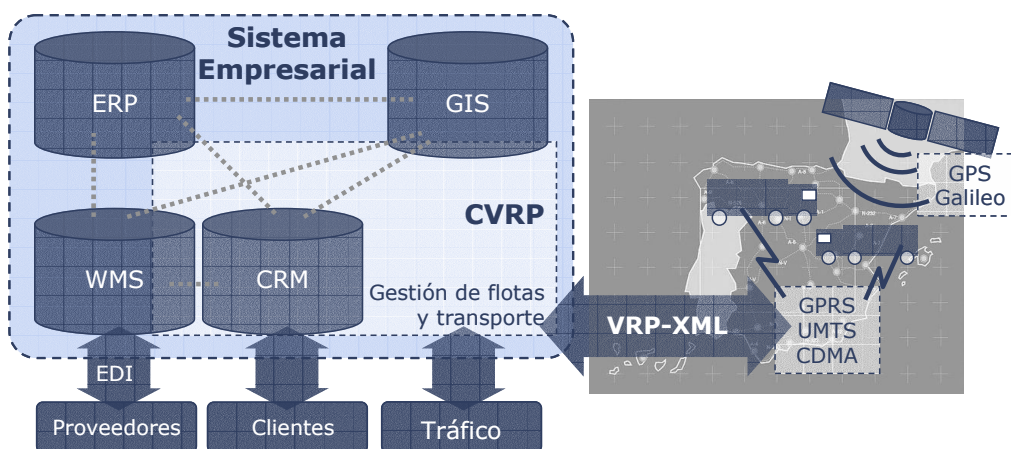


Figura 2. Esquema del sistema de información logístico.

En este artículo se presenta el trabajo realizado para la definición de una estructura de etiquetas VRP-XML que define los elementos de un documento que facilita el intercambio de datos en el contexto de los VRP (*Vehicle Routing Problems*), Fiala 1978. Tal y como se ha justificado (y como se puede observar en la Figura 2), el objetivo de este trabajo es el desarrollo y la propuesta de un formato de fichero (estructura VRP-XML) que sirva de pasarela y de soporte para todo el conjunto de datos e información necesaria en los problemas y operaciones de gestión de flotas y de rutas. En la figura anterior, se puede ver cómo el sistema de información de la empresa, generaría y enlazaría dicho VRP-XML con la lógica del negocio y la operativa de la empresa (vehículos, operadores logísticos, etc.).

Actualmente, no existe todavía un estándar consolidado para el intercambio de datos en este ámbito de trabajo (el EDI está diseñado para otras aplicaciones diferentes a la gestión de rutas). Como cualquier otro fichero de formato XML, el VRP-XML propuesto está construido a partir de etiquetas que definen el tipo de datos que describen. El modelo desarrollado en este trabajo no es una propuesta cerrada, ya que su estructura permite ampliarse definiendo nuevas etiquetas o modificar las existentes. Así por ejemplo, diferentes empresas podrían hacer uso de este estándar (garantizando la compatibilidad con los datos básicos de intercambio) y particularizando parte de la información recogida (extendiendo el modelo según sus propias necesidades).

A continuación, se puede observar (Figura 3) la estructura del conjunto de elementos VRP-XML. La estructura básica propuesta está compuesta por diferentes conjuntos de datos:

- Información general del escenario: descripción, fecha, persona responsable, etc.
- Almacenes depósito: zona de trasbordo, origen de la mercancía, etc.
- Flota de vehículos: tipo de vehículo, capacidad, costes fijos y variables, orígenes y destinos finales de la flota, restricciones de distancia, máximo clientes, disponibilidad horaria del vehículo, etc.
- Clientes: localización, pedido, cantidad demandada, prioridades, ventanas horarias, tiempo de carga, tiempo de descarga, entrega o recogida, etc.

Como se ha comentado antes, esta estructura de datos es extensible y se puede vincular a otros campos relacionados con el VRP, el cálculo y seguimiento de rutas para flotas de vehículos. Facilitando la interrelación e integración de diferentes fuentes y sistemas: EDI, CRM, ERP, *Supply Chain Management*, GRAPHML, GIS, *tracks* de rutas, *waypoints*, gestión de tráfico, etc.

El fichero VRP-XML, podría contener incluso información del seguimiento y control de la flota, parte de la traza de la expedición, o la respuesta de los clientes (datos CRM, de control de calidad, etc.). Dichos datos podrían ser devueltos por lotes al sistema de información de la empresa, o monitorizados. No hay que olvidar que los ficheros de estructura XML fueron diseñados para permitir la interoperabilidad entre diferentes sistemas (empresa-operador-cliente) y dispositivos (terminales en los vehículos), y son ideales para la comunicación vía Internet (GPRS, UMTS, CDMA).

El formato VRP-XML es multi-empresa, multi-nivel y multi-referencia. Esto quiere decir que soporta diferentes niveles de agregación de la información, lo que lo hace muy interesante y útil para manejar información en los diferentes niveles de planificación y control de la cadena de suministro (*Supply Chain Management*).

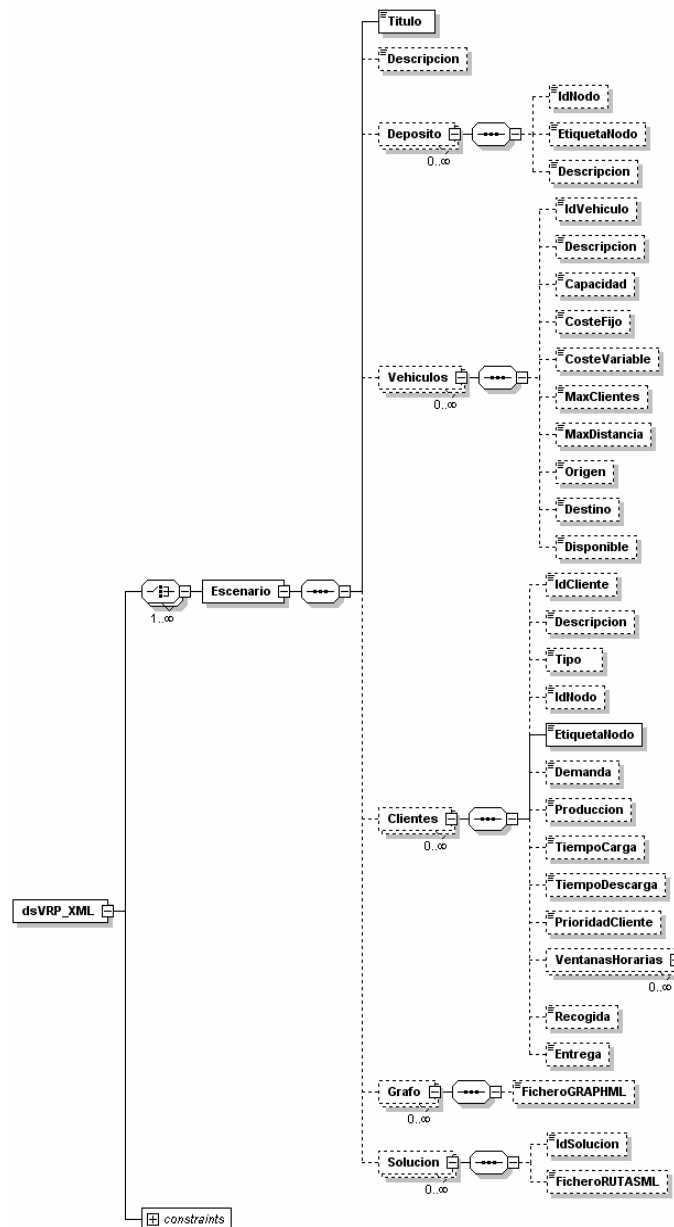


Figura 3. Esquema de la estructura VRP-XML propuesta.

Mientras que en la figura anterior se puede observar el diagrama entidad-relación y la jerarquía propuesta para el conjunto de datos básicos; la siguiente (Figura 4) muestra un ejemplo de las marcas o de las etiquetas propuestas. En este ejemplo, las etiquetas están escritas en castellano para una mejor comprensión de la estructura, pero en el estándar propuesto podrían estar escritas en inglés para facilitar la comunicación global (tal y como se hace en el HTML).

Además de las etiquetas que definen los principales campos (datos), el formato VRP-XML también soporta la inclusión de propiedades o atributos asociados a los campos. Así por ejemplo: `<CosteFijo>1500</CosteFijo>` significaría que la utilización de un vehículo tiene un coste fijo (por uso) de 1.500 unidades de coste; mientras que `<CosteFijo moneda="EUR">1500</CosteFijo>` añade el atributo `moneda` que especifica que se trata de 1.500'00€.

Un campo de la estructura puede contener cuantos atributos se deseen, e incluso definir valores por defecto para alguno de ellos.

```

<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<dsVRP_XML xmlns="VRP_XML.xsd">
  <Escenario>
    <Titulo></Titulo>
    <Descripcion></Descripcion>
  </Escenario>
  <Deposito>
    <IdNodo></IdNodo>
    <EtiquetaNodo></EtiquetaNodo>
    <Descripcion></Descripcion>
  </Deposito>
  <Vehiculos>
    <IdVehiculo></IdVehiculo>
    <Descripcion></Descripcion>
    <Capacidad></Capacidad>
    <CosteFijo></CosteFijo>
    <CosteVariable></CosteVariable>
  </Vehiculos>
  <Clientes>
    <IdCliente></IdCliente>
    <Descripcion></Descripcion>
    <IdNodo></IdNodo>
    <EtiquetaNodo></EtiquetaNodo>
    <Demanda></Demanda>
  </Clientes>
  ...
</dsVRP_XML>

```

Figura 4. Ejemplo de fichero XML utilizado en VRP-XML.

3. Estado de la propuesta VRP-XML

El modelo aquí presentado ha sido testado en herramientas informáticas prototipo para la planificación y control de flotas. Con datos provenientes de escenarios empresariales reales.

Coincidiendo con este desarrollo, recientemente (Jianjun Shi, 2005) se ha presentado otra iniciativa similar en China. Este artículo analiza las características de la planificación del transporte en grandes ciudades, y la relación existente entre la planificación del transporte y la información sobre la gestión del tráfico. En dicho artículo, se propone un modelo de comunicación (red de comunicaciones) entre el pedido del cliente, la empresa y la gestión del transporte. Por último se menciona (al igual que en el presente artículo) la necesidad de definir un modelo y estructura de datos de intercambio, pero no se dan detalles ni sobre la definición de dicha estructura, ni sobre el estado actual de su desarrollo (al contrario que en el presente artículo). A diferencia del presente trabajo, en el artículo chino, se subraya, la necesidad de integrar la información del tráfico urbano con la información de la planificación del transporte.

Queda patente la necesidad de seguir trabajando en la dirección propuesta en ambos trabajos, aunar esfuerzos, enriquecer las propuestas y difundir los resultados obtenidos entre la comunidad científica y empresarial. La logística moderna no hubiera sido lo que es actualmente, sino fuera por los esfuerzos y los desarrollos realizados por muchas empresas, entidades e investigadores que han facilitado la compatibilidad y la estandarización tanto en el intercambio de información (EDI, códigos de barras, RFID, etc.) como en el de mercancías (contenedores ISO, paletizado estándar, envases y embalajes, etc.).

El artículo presentado aporta *'un grano de arena'* más en este sentido, procurando la integración de sistemas, información y áreas de negocio que hasta ahora no habían sido contempladas.

Referencias

- Clarke G, Wright, J.W.; Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, *Operations Research*, 12, 568-581, 1964.
- Dantzig G.B., Fulkerson D.R. and Johnson S.M.; Solution of a Large-scale Traveling Salesman Problem. *Operations Research* 2, 393-410. 1954.
- Dantzig G. B. and Ramser R.H.; The Truck Dispatching Problem. *Management Science* 6, 80-91. 1959.
- Fiala F.; Vehicle Routing Problems, *GMD-Mitteilungen*, 46, Boon, 1978.
- Fisher M. L., Optimal Solution of Vehicle Routing Problems Using Minimum K-trees, *Operations Research* 42, 626-642. 1994.
- Jianjun Shi et al.; Comercial Vehicle Scheduling Extensible Markup Language VRP-XML. First International Conference on Transportation Logistics. Singapore, July 2005.
- Li F., Golden B., Wasil E.. Very large-scale vehicle routing: new test problems, algorithms, and results. *Computers & Operations Research*, in press. 2004.
- Ministerio de Fomento, Consultrans; Estudio socio-económico del sector del transporte por carretera, 2001.
- Miller, C. and Tucker A., Zemlin R.; Integer programming formulations and traveling salesman problems, *J. of the ACM*, 7 326-329. 1960.