

## DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA SIG PARA LA LOGÍSTICA INVERSA DE PRODUCTOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL

Antonio Gallardo Izquierdo, Alejandro Arenal Monfort, María Dolores Bovea Edo, Francisco  
J. Colomer Mendoza

Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción  
Universitat Jaume I

### Abstract

Currently, manufacturers of consumer goods have to take on more and more responsibility for the whole life cycle of their product, from its creation to the end of its useful life. Thus, once it becomes waste, either because it has stopped working properly or because it is no longer wanted, the manufacturer has to consider how it will be collected and processed. Reverse logistics refers to the efficient management of the flow of materials which are to be reused, reprocessed, recycled or destroyed.

The peculiarity of these wastes is that they are generated in the places where they are sold or used, with no specific frequency and in varying amounts.

In this work we present a design for a computer tool, which was developed as an application of a GIS, for the reverse logistics of these products. The tool allows the user to georeference the collection points on a map, estimate the amounts generated at each point and specify the collection points with a certain frequency, as well as the routes to be followed to collect the waste and transport it to the recycling plant. The tool has been verified by designing the collection of used mercury-vapour lamps in Castellón

**Keywords:** *GIS; waste; reverse logistics*

### Resumen

Actualmente, los productores de bienes de consumo en muchos casos se tienen que responsabilizar de todo el ciclo de vida de su producto, desde su creación hasta su eliminación. En este sentido, cuando el bien se convierte en un residuo el productor se tiene que plantear su recogida y tratamiento. La logística inversa trata de la gestión eficiente del flujo de materiales destinados a su reutilización, reprocesamiento, reciclaje o eliminación.

La peculiaridad de estos residuos (electrodomésticos defectuosos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, pilas gastadas, medicamentos caducados, etc.) es que se generan sin una determinada frecuencia y en cantidades diversas.

En este trabajo se presenta el diseño de una aplicación de un sistema de información geográfica (SIG), para la logística inversa de este tipo de productos. Dicha herramienta permite georreferenciar los puntos de generación en un mapa, estimar las cantidades generadas en cada punto, determinar los puntos de recogida con una determinada frecuencia, diseñar las rutas de recogida y transporte hasta la empresa gestora del residuo y calcular las necesidades materiales y humanas para dicha gestión. Para su verificación se

ha realizado el diseño de la recogida de lámparas mercuriales usadas en la provincia de Castellón

**Palabras clave:** SIG; residuos, logística inversa

## 1. Introducción

Las sucesivas legislaciones exigen cada vez más que el productor de un bien sea responsable del producto que ofrece, desde su creación hasta después del final de su vida útil, y que los gestione de forma adecuada y respetuosa con el medio ambiente.

Actualmente, ya se está regulando la recogida y gestión de algunos artículos al final de su vida útil, y es de esperar que en el futuro la mayor parte de los productores tengan responsabilidad legal de los residuos que vayan a generar sus productos. Por tanto, se tendrán que diseñar sistemas de recogida selectiva de una gran cantidad de residuos diferentes.

Existen varias definiciones para el significado de la logística inversa (Rogers y Tibben-Lembke, 1999; Kokkinaki, 2001; Leite, 2002). Según Dowlatshahi (2000) se define como una cadena de suministro que es rediseñada para gestionar eficientemente el flujo de productos destinados al reprocesamiento, la reutilización, el reciclaje o la destrucción, usando correctamente todos sus recursos. Amini y Retzlaff-Roberts (1999) la definen como la gestión de las habilidades y actividades involucradas en la reducción, gestión y destrucción de residuos peligrosos tanto de los embalajes como de los productos.

Una de las actividades principales de la logística inversa es la recogida de los productos usados con el fin de dirigirlos nuevamente a una cadena de valor (Beaulieu, 2000). Ésta es una de las partes más complejas de la logística inversa, donde se manejan aspectos de diseño como: Los tiempos adecuados de recogida; la planificación de las rutas de recogida; los puntos de transferencia del sistema, y el análisis de los grupos involucrados en el sistema. El trabajo de investigación que aquí se presenta se centra en esta etapa del proceso de la logística inversa. La utilización de estos conceptos y metodologías contribuirán a hacer el sistema de recogida más eficiente.

Para el diseño de una red de recogida se manejan datos geográficos y alfanuméricos. La mejor forma de trabajar con esta información es utilizando los sistemas de información geográfica (SIG). Un SIG se define como un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos (Burrough y Mcdonnell, 1997). Se ha escogido el *software* ArGIS Desktop porque está muy consolidado en el sector de los SIG, tienen un elevado número de extensiones y aplicaciones y gran facilidad para automatizar procesos.

## 2. Objetivo

El objetivo principal del trabajo es diseñar una herramienta informática para el diseño de la logística de la recogida de productos al final de su vida útil, cuya principal característica es la dificultad en predecir las cantidades/unidades producidas y cuyo volumen de generación no es grande, de manera que su recogida no se produzca todos los días, como ocurre por ejemplo con los residuos urbanos (Gallardo et. al, 2010).

Como objetivos secundarios se definen los siguientes:

- Aplicar conocimientos de logística inversa para optimizar el sistema de recogida.
- Aplicar los GIS en el diseño de los sistemas de recogida.

- Resolver el funcionamiento de un sistema de recogida en el que las rutas son variables, aprovechando las nuevas tecnologías disponibles.
- Estudiar la posibilidad de incluir otros elementos de gestión como plantas de tratamiento y de transferencia.
- Hacer el sistema de recogida lo más respetuoso posible con el medio ambiente.
- Verificar la herramienta con un caso real, concretamente las lámparas mercuriales en la provincia de Castellón.

### 3. Diseño conceptual del modelo

El modelo conceptual de la herramienta se puede ver en la figura 1. Su objetivo es generar un sistema para recoger y transportar un residuo hasta una instalación de acopio o de tratamiento (reparado, reutilizado, reciclado o destruido). Los residuos con los que se trabajará serán aquellos que se generan de forma aleatoria (electrodomésticos defectuosos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, pilas gastadas y ropa usada, entre otros), cuyo volumen de generación no es grande y no es necesaria la recogida diaria.

Las entradas al sistema son:

- *Estudio de las propiedades y la generación del residuo:* Será necesario conocer las propiedades del residuo, puntos de generación/recogida y las estimaciones de generación. El objetivo es determinar cómo hay que almacenarlo y las características de deben cumplir el contenedor.
- *Tecnología de la información:* La herramienta necesita tratar y adquirir gran cantidad de información. El *software* principal de trabajo es el sistema de información geográfica. Se necesitarán otros elementos como ordenadores, GPS y sensores de medida, como soporte físico de esta herramienta. También se necesitará una serie de programas informáticos, como hojas de cálculo para realizar simulaciones y bases de datos para almacenar datos.
- *Contenedores:* Se trata del soporte físico donde se depositará el residuo. Su diseño deberá cumplir con los requisitos que impongan las propiedades del residuo. Deberán llevar un sistema para comunicar su estado de llenado.
- *Mano de obra:* Personal necesario para realizar los diferentes estudios, implantar la tecnología de la información, realizar el ruteo y utilizar el programa que genera las rutas, entre otras actividades.
- *Vehículo de recogida:* Para realizar la recogida y transporte de los residuos es necesario una flota de vehículos.
- *Combustible:* Tipo de combustible utilizado y su consumo diario.
- *Modelos de recogida ya implantados:* La herramienta podrá utilizar modelos de recogida ya implantados y mejorarlos, si fuese necesario.
- *Local:* Necesidades de espacio para desarrollar la actividad. Si se incluyen plantas de transferencia y de tratamiento, habrá que prever espacio para estas otras actividades.
- *Metodologías de trabajo:* Será necesario diseñar metodologías de trabajo para poder estandarizar y optimizar el uso de la aplicación informática diseñada.
- *Datos económicos:* Son necesarios para poder realizar el presupuesto de inversión y explotación, con los que poder estudiar la viabilidad del proyecto. Estos datos serán el precio de los vehículos, los ordenadores, los sensores, los programas informáticos, la mano de obra, locales, contenedores, etc.

Figura 1: Modelo conceptual de la herramienta



Las salidas del sistema son:

- *Modelo de recogida selectiva*: La herramienta proporciona el diseño de un modelo de recogida selectiva a medida de las características del residuo y de la zona elegida.
- *Costes*: La herramienta proporciona los costes de todas las actividades y elementos del sistema.
- *Presupuesto*: El sistema proporciona los presupuestos de inversión y explotación que permitirán conocer si es viable la implantación de la actividad.

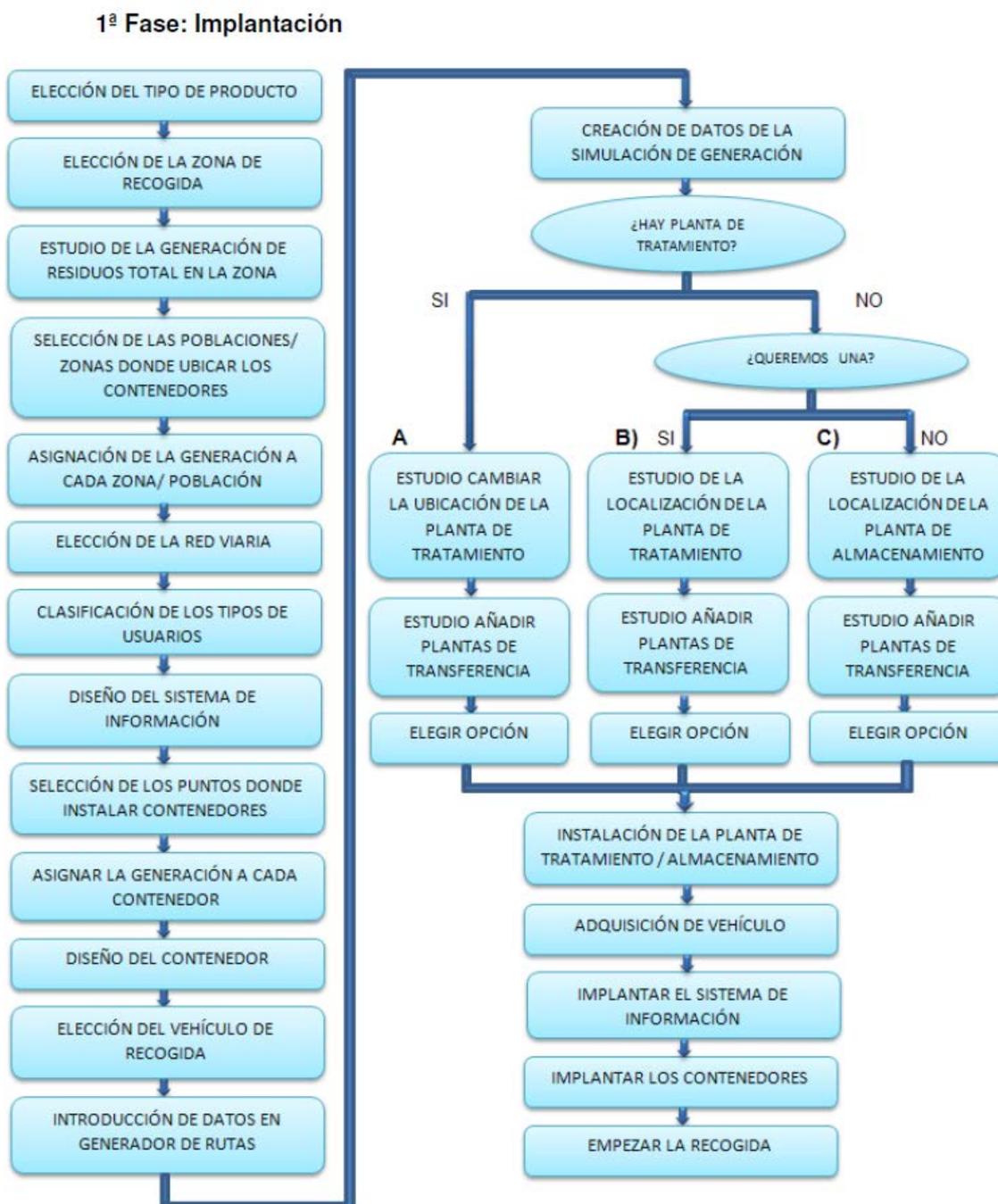
### 3. Metodología de trabajo de la herramienta

En este punto se explica de forma resumida cuál ha sido la metodología seguida para el diseño de la herramienta. Se ha dividido en dos fases claramente diferentes.

La primera fase trata del diseño físico de la red (ver figura 2). En ella se diseña cómo será el sistema de recogida. Para ello se ha programado la realización de un conjunto de estudios iniciales necesarios (elección de la zona de recogida, residuo, propiedades del residuo, generación, la población, las diferentes zonas, etc.) y en segundo lugar se determinarán los elementos físicos del sistema (contenedores, vehículo de recogida, el sistema de información, etc.). Se estimarán los primeros datos de generación en los diferentes puntos de recogida para simular las primeras rutas (es de prever que no se tengan datos históricos de generación en cada punto de recogida). Una ruta comprende un número determinado de puntos llenos o semillevados, que vendrá en función del tiempo de la jornada laboral. El llenado de los contenedores se simulará en función de datos históricos. Estas simulaciones serán imprescindibles para la toma de decisiones de diversos aspectos del sistema.

Existe un punto de decisión importante en el proceso, que es la existencia o no de una planta de tratamiento. La herramienta contempla la opción de que solo haya local/es de almacenamiento (para un posterior traslado a la/s planta/s de tratamiento), la opción de ubicar una planta de tratamiento y el estudio de viabilidad de una planta ya ubicada. En todos los casos se pueden incluir estaciones de transferencias. Finalmente, para cada caso elegido, el sistema dará una solución.

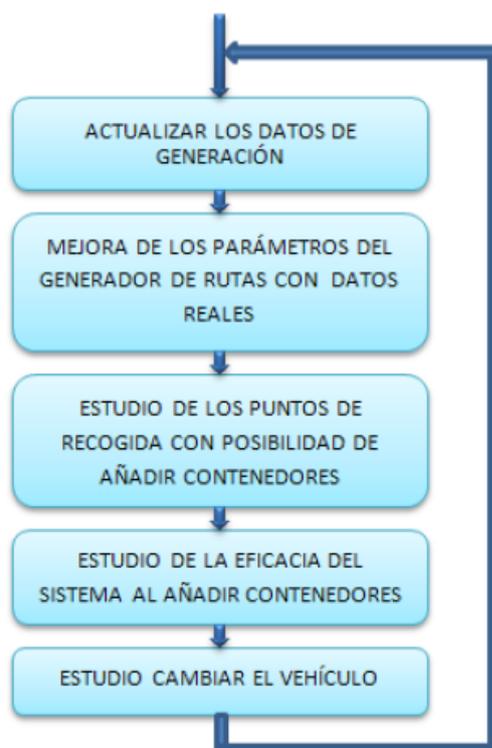
Figura 2: Metodología de la herramienta. Implantación



La segunda fase contempla la optimización de la recogida (ver figura 3). Una vez la recogida lleva un tiempo implantada, esta fase indica cómo proceder para aumentar su eficacia. La herramienta permitirá conocer los datos de generación reales en cada punto durante el tiempo que el sistema esté implantado. A partir de dichos datos reales se generarán nuevas simulaciones de rutas que serán más precisas. Como se ve en la figura 3, esta fase es un bucle, por lo que la herramienta siempre se estará optimizando las rutas.

Figura 3: Metodología de la herramienta. Optimización de la recogida

### 2ª Fase: Optimización



### 3. Diseño informático de la herramienta

En este punto se explica brevemente la creación de la aplicación informática, a la que se le ha dado el nombre de “Generador de Rutas” (GRu). Esta aplicación se ha programado utilizando ArcCatalog, ArcMap y ArcToolBox, de ArcView. Se ha utilizado ArcCatalog para crear los elementos de los que consta la aplicación. En el ArcMap se ha creado la aplicación sobre la que se trabajará, se ha diseñado una entrada de datos sencilla e intuitiva para facilitar el trabajo al usuario. En el ArcToolBox se han creado las herramientas que se usará para el cálculo de las rutas (figura 4).

La programación se ha dividido en dos etapas:

- La primera ha consistido en crear el entorno en el que se trabajará. En él se crearán los elementos que se utilizarán posteriormente (carreteras, puntos de recogida, plantas de tratamiento,...) y se definirán todas sus propiedades. También se han modificado algunas opciones de visualización del programa para facilitar la entrada de datos.

- En la segunda se han creado las herramientas del GRU. Estas herramientas servirán para crear y gestionar las rutas provisionales de recogida, se ha utilizado la extensión Network Analyst (figura 5). El criterio seguido para el diseño de una ruta será el de recoger todos los contenedores llenos, y en el caso de que no hay suficientes para completar la jornada laboral, el generador añadirá a la ruta aquellos más cercanos que estén más llenos. Para la estimación del llenado de los contenedores se utiliza una hoja Excel, en la que el usuario debe introducir los datos históricos de generación de residuos de la zona de estudio. La hoja Excel generará unas estimaciones de llenado de cada contenedor, en el período que el usuario haya fijado.

Figura 4: Diagrama de bloques para el diseño de las herramientas

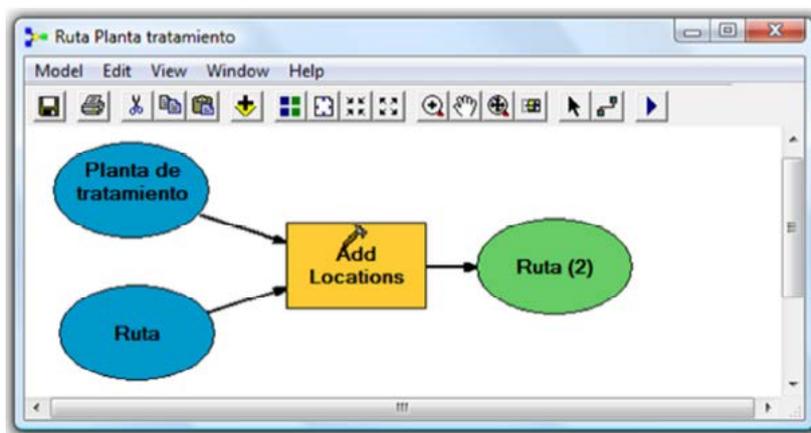
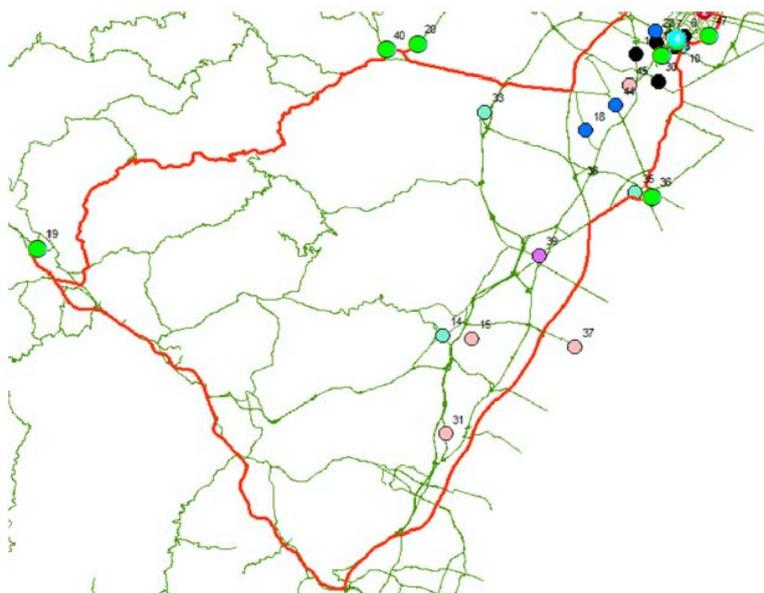


Figura 5: Ventana de visualización: ejemplo de ruta de recogida.



#### 4. Ejemplo de aplicación

Para validar la herramienta se ha realizado el diseño de la logística de la recogida de las lámparas mercuriales usadas, generadas en la provincia de Castellón. El Real Decreto 208 de febrero de 2005, obliga al tratamiento selectivo de componentes de aparatos eléctricos o electrónicos que contengan mercurio. Entre ellos están las lámparas mercuriales (lámparas fluorescentes rectas y circulares, compactas integradas y no integradas, de alta intensidad de descarga, etc.).

Este residuo cumple las condiciones para la aplicación de la herramienta diseñada. Desde el punto de vista de la logística inversa, cuando estos productos llegan al final de su vida útil, son llevados a los puntos limpios o a los comercios expendedores y de ahí, recogidos y transportados por empresas especializadas hasta las plantas de tratamiento, donde se trituran y sepan los materiales para su posterior reciclado.

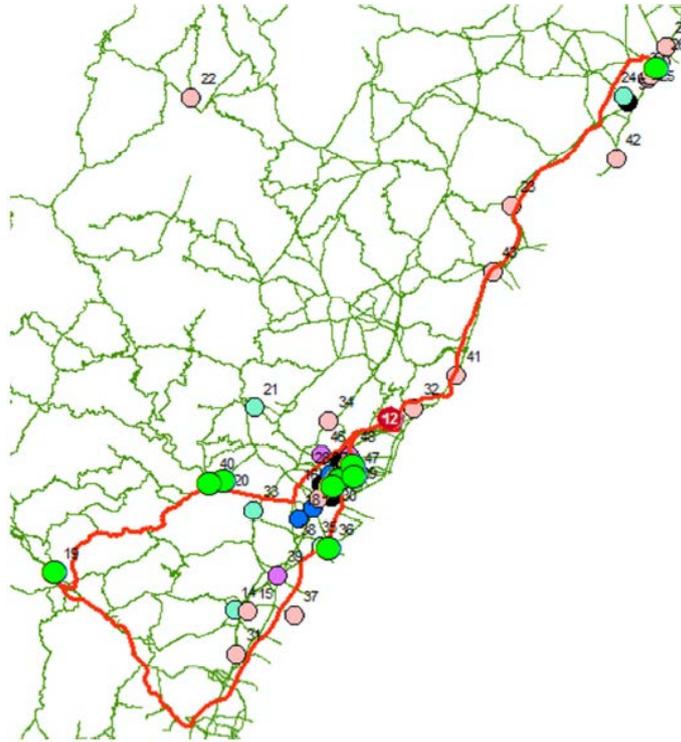
Se han obtenidos datos completos de generación del año 2009. Existían 23 poblaciones con puntos de venta y el total generado fue de 29,34 t/año. Para el cálculo actual se ha estimado que el total de puntos de recogida, entre puntos limpios y comercios dispuestos a tener un contenedor, será de 48 (figura 6), estando ubicados en las 23 poblaciones.

Se ha realizado el diseño del contenedor y del vehículo de recogida para este tipo de residuo, que es considerado como peligroso. El contenedor será compartimentado para albergar lámparas de diferentes tamaños y llevará un sensor de llenado. El vehículo será de 16 m<sup>3</sup> y la carga de 500 kg/viaje. Debido a la generación tan baja, solo se ha localizado un almacén de acopio de aquí se enviarán a la planta centralizada que existe en la población de Buñol (Valencia).

Una decisión importante es la elección del Sistema de Información. En logística inversa la recolección de información es un aspecto clave de la dirección, para el buen funcionamiento del sistema. La información más importante de nuestro sistema será el grado de llenado de los contenedores. Ésta permitirá conocer cuándo se debe realizar la recogida, y ayudará a planificar la ruta. Después de estudiar distintas alternativas se decidió recoger la información de la siguiente forma: 1) En los contenedores se implantará un sensor de llenado, 2) El sensor enviará la información (grado de llenado) a un ordenador cercano al contenedor, 3) Desde dicho ordenador se mandará diariamente la información al ordenador central, mediante internet.

Finalmente, utilizando los datos de 2009, se ha realizado el cálculo de la simulación de rutas de recogida en un período de treinta semanas. Como resultado se han programado 18 viajes, entendiendo que siempre se ha elegido la ruta más corta. Será necesario un único camión y un conductor, además de una persona que se encargue de la gestión.

Figura 6: Ventana de visualización: ejemplo de ruta de recogida.



## 5. Conclusiones

Las conclusiones obtenidas del trabajo de investigación son las siguientes:

- Se ha creado una herramienta para el diseño de modelos de recogida selectiva en el que las rutas óptimas son variables, dependiendo del llenado de los contenedores. Se ha diseñado un método de estimación de la generación de residuos en los puntos de recogida, que ha servido para programar las rutas. El modelo se ha validado aplicándolo a la recogida de lámparas mercuriales usadas, en la provincia de Castellón.
- Se ha explorado el concepto de logística inversa. Éste es un concepto poco conocido, pero que será de gran importancia en los próximos años, tanto por sus ventajas competitivas como las medioambientales.
- La herramienta se ha desarrollado en ArcView 9.2. Se ha observado el gran potencial de este SIG para resolver problemas geográficos y su flexibilidad para diseñar aplicaciones a problemas concretos.
- Se ha demostrado cómo las nuevas tecnologías de la información pueden contribuir a mejorar la gestión de los residuos, en este caso la recogida.

## 6. Referencias bibliográficas

Amini y Retzlaff (1999). *Reverse logistics process reengineering: improving customer service quality*. University of Memphis. Working Paper.

- Beaulieu (2000). *Définir et Maitrisier la Complexité des Réseaux de logistique á rebours*, IMRL Les Troisiémes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, Trois Riviéres.
- Burrough y Mcdonnell (1997). *Principles of geographical information systems*. Nueva York, Oxford University Press.
- Dale Rogers y Roland Ttibben-Lembke (1999). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reno, University of Nevada.
- Dowslatshasi (2000). *Developing a theory of reverse logistics*. Interfaces, Vol. 3, N. 3.
- Gallardo, A.; Bernad, D.; Bovea, M.D. y Colomer, F.J. (2010). *Diseño de una herramienta SIG para la recogida selectiva de residuos urbanos. Aplicación a Castellón de la Plana*. XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Madrid
- Kokkinaki (2001). *From e-trash to e-treasure:how value can be created by the new e-business models for reverse logistics*.Artículo académico.
- Leite (2000). *Logística reversa: nueva área de logística empresarial - 1era. Parte*. Revista Tecnológica. Año VIII. No. 78. <<http://www.webpicking.com/notas/leite.htm>>