

# **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

GOICOECHEA CASTAÑO, Mikel ; GOICOECHEA CASTAÑO, Miren Itziar

Universidad de VIGO, España  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales  
Correo electrónico: mgoico@uvigo.es

Universidad de VIGO, España  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales  
Correo electrónico: igoicoechea@uvigo.es

## **RESUMEN**

La necesidad de mejorar los procesos de recogida de los Residuos Sólidos Urbanos comienza a ser fundamental. Las altas tasas de generación de basuras, así como la dispersión de los núcleos de población son los retos con los que se enfrentan las empresas gestoras. Por lo tanto, esta técnica permite reducir los costes de transporte y recogida, así como los gases de efecto invernadero. La herramienta utilizada para la mejora son los Sistemas de Información Geográfica para realizar los cálculos de las rutas

**Palabras clave:** Residuos sólidos urbanos, sistemas de información geográfica, rutas, camiones, base de datos.

**Grupo temático:** GIS: Sistemas de Información Geográfica y Cartografía

## **1. Introducción**

El estudio de la recogida de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) requiere la convergencia de diversas áreas de conocimiento relacionadas, entre las que se incluyen los estudios de generación de basuras y los estudios sobre diseño de recorridos en red. Una mejora de los sistemas, a partir de estos estudios, permitirían extraer pautas definitivas que permitan hacer más sencilla la labor del gestor.

El objetivo de este documento es describir el trabajo realizado para optimizar las rutas de recogida de residuos en el municipio de Bueu (provincia de Pontevedra). Para conseguirlo se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG), a través del cual se buscaba integrar información referente a las rutas y características de la población, para obtener el “camino” más corto para los camiones encargados de la recogida.

El proceso para la realización del trabajo consistió en la digitalización de las calles del municipio así como de la ubicación de los contenedores. Una vez confeccionadas las bases de datos, un programa informático procesa esta información para calcular las rutas mínimas.

Este trabajo permite aplicar de manera práctica una herramienta cada día más utilizada –los Sistemas de Información Geográfica- en la mejora y racionalización de los sistemas de recogida de residuos.

## **2. Desarrollo del trabajo.**

- 2.1 Antecedentes.

La recogida selectiva de residuos centra principalmente los estudios encontrados referentes a esta disciplina. Existe una amplia y relativamente minuciosa casuística recopilada anualmente por la Agencia de Protección Medioambiental de los EEUU. Diversos estudios (Gay et al., 1994; Musa y Ho, 1981; Yu Chan Ching, 1994; Raffie, 1994, por ejemplo) procuran determinar factores que expliquen tanto tasas de generación de basuras como composición de las mismas. Variables tales como la estacionalidad y las superficies cubiertas (sin que se puedan encontrar en estos análisis afirmaciones concluyentes sobre relaciones causa-efecto) son algunos de los elementos que podrían afectar a las tasas de generación, en tanto que para la composición de los residuos, aún habiendo sido objeto de numerosos análisis, no se han encontrado tampoco relaciones causales contrastadas con algún peso estadístico.

Un estudio realizado por Carranza (1997) encuentra una relación de cierta relevancia estadística entre tasas de generación de basuras y cantidades de viviendas, pero algunas limitaciones del estudio (la no contrastación experimental de ciertas caracterizaciones sociales que ayudan a explicar las relaciones causa-efecto, por ejemplo) impiden otorgarle una mayor consideración.

Se puede afirmar que no se ha avanzado, como conclusión de los estudios realizados en esta materia, más allá de consideraciones genéricas sobre tasas de generación de basuras, del tipo de las propuestas por la ya nombrada Agencia de Protección medioambiental de los EEUU. No se conocen, del mismo modo, análisis detallados sobre tasas de generación de basuras desagregadas por región geográfica, un aspecto cuya cuantificación es muy importante para el diseño de rutas de recogida de basura realizada domicilio a domicilio.

En cuanto al estudio del problema del recorrido de todos los arcos de una red en la menor distancia posible es el llamado “Problema del Cartero Chino”, analizado por primera vez por Mei-Ko en China en el año 1962. Evans y Minieka (1992) hacen una caracterización de los tipos de problemas alternativos que pueden presentarse y las distintas posibles soluciones. El problema puede transformarse en otro equivalente, que consiste en encontrar el conjunto de caminos entre parejas de nodos asimétricos cuya distancia total es menor. La condición de estos caminos es la de que su inclusión en una nueva red que considere a estos caminos y a la red original permita eliminar la imparidad de todos los nodos de la red original.

Existen diversos algoritmos presentados para resolver el problema (Cristofides, 1973; Golden y Wong, 1981; Perarn, 1989; Lin y Zhao, 1989 son algunos de los ejemplos). La consideración básica que se puede hacer sobre estos algoritmos es que ninguno de ellos ha considerado la topología de la redes.

Podemos decir, que son escasos los algoritmos aplicados al diseño de zonas dentro de ciudades (Chapleau, Ferland y Rouseau, 1985, es uno de los pocos conocidos), al igual que sucede con los estudios aplicados a la recogida de basuras mediante aproximaciones continuas, siendo uno de los pocos conocidos el de Antón Francesc Robusté, de la Universidad Politécnica de Cataluña.

- 2.2 Presentación de la zona de estudio.

En la provincia de Pontevedra se encuentra el municipio de Bueu, situado en el margen norte de la península del Morrazo. Bueu es un municipio eminentemente rural, en el que la parroquia es la entidad que constituye la unidad natural y social de población y que, a su vez, se compone de varias aldeas. En este caso, el municipio está compuesto por tres parroquias. Bueu, Beluso y Santa M<sup>a</sup> de Cela, habiéndose realizado el presente estudio para las dos primeras.

- 2.3 La recogida de RSU en Galicia; ámbito legal.

Con fecha 16 de enero de 1992 el Consello de la Xunta de Galicia aprobó el proyecto de gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de Galicia, elaborado por la Consellería de Ordenación del Territorio y Obras Públicas, en el que se analizaba la problemática de los RSU en la comunidad gallega y se diseñaba un plan para resolverla.

En el tiempo transcurrido desde entonces han aparecido nuevos criterios en la gestión de los residuos, derivados fundamentalmente de las recientes directivas de la Unión Europea, que hicieron necesario proceder a una revisión del proyecto de 1992 y establecer un Plan de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el que se recogieran, adaptándolos a la realidad de Galicia, los puntos fundamentales de estas directivas, poniendo especial hincapié en lo que se refiere a extremar las precauciones en la protección del medio ambiente y a aprovechar los recursos contenidos en los residuos. Este nuevo plan fue informado favorablemente por el Consello Galego do Medio Ambiente en mayo de 1997. La publicación de la Ley 10/1998, de 22 de agosto, de residuos sólidos urbanos de Galicia y la normativa estatal sobre envases y residuos de envases han hecho necesario la actualización del mismo. La Ley establece que los municipios con una población superior a 5.000 habitantes, estarán obligados a la recogida selectiva de residuos.

- 2.4. Metodología y Plan de Trabajo

Se decidió emplear la técnica SIG, para llevar a cabo uno de los análisis de redes más comúnmente utilizados como es el cálculo de caminos mínimos. Se pretendía con ello simular el desplazamiento de los RSU a través de las carreteras de la zona de estudio y obtener así una colección de rutas óptimas para su traslado.

El objetivo era calcular una serie de rutas con origen en el garaje desde donde sale el vehículo de recogida y con destino final en el depósito de residuos.

A través del procedimiento de cálculo de caminos mínimos disponible en el SIG, se obtuvieron las rutas de menor distancia o más cortas entre las zonas de producción y el depósito. Se utilizaron como variables de medida la distancia y el tiempo.

El proyecto de creación del S.I.G, en líneas generales, se divide en estas fases:

1. Captura de la información.

Se capturan dos tipos de datos: los datos espaciales y los alfanuméricos. Los datos espaciales se refieren a la situación de las poblaciones y a la red de comunicaciones en la parroquia de Bueu. Para ello, en el caso considerado, se utilizó un GPS, que permitió posicionar espacialmente los diferentes puntos de interés. Para la obtención de datos alfanuméricos es

necesario recopilar y seleccionar datos literales y numéricos de bases de datos externas, públicas y privadas, referidos a rutas, camiones, contenedores y paradas del vehículo de recogida.

## 2. Tratamiento de la información.

Se deben transformar los datos del apartado anterior al formato adecuado de la base de datos que utiliza el programa informático. Además se programan las aplicaciones necesarias para la gestión correcta del sistema.

Al digitalizar con un programa de diseño asistido por ordenador, se digitaliza de forma vectorial, y lo más importante, solo entidades gráficas, sin embargo, con un SIG, a la vez que se realiza la digitalización se está creando, por defecto, dentro de la tabla donde está contenida la información alfanumérica, un campo que va a ser el identificador de la entidad gráfica. Incluso se pueden crear diferentes campos en los cuales se permite asociar la información necesaria para esa entidad gráfica.

- 2.5 Recopilación de la información y cartografía base.

Al tratarse de la elaboración de un Sistema de Información Geográfica, se necesita una cartografía adecuada a la que referir los datos alfanuméricos, que, conjuntamente tratados, permitan poner en marcha el S.I.G.. El soporte cartográfico se obtuvo a partir de un mapa a escala 1/25.000, tras pasar diferentes controles de calidad.

Para implementar el SIG fue necesario recoger información relativa a.

- Las rutas de recogida de los residuos con indicación de tipo de carreteras, ancho de carreteras, tipo de firme.

- Indicación del número de puntos de recogida en la parroquia, para evaluar la mejora de su distribución y el estado de conservación.

- Características del camión de recogida, esto es, su capacidad, dimensiones y tipo de carga.

- Cantidad y tipo de residuos recogidos.

Toda la información ha sido estructurada en forma de capas, es decir, de forma similar a un mapa temático, ya que de este modo se tienen bien definidas las limitaciones en el rendimiento de obtención y gestión de información de cada una de las capas.

La siguiente etapa a la digitalización fue la configuración de la cartografía de forma útil para el proyecto. Para ello, una vez digitalizadas todas las comunicaciones, carreteras, etc., fue necesario establecer una malla de tramos compuesta por líneas (las vías) y puntos

(correspondientes a las intersecciones entre las vías). Esta información es la que el programa empleará para determinar la ruta óptima que debe seguir un camión para la recogida de residuos sólidos.

- 2.6 Diseño de la jerarquía de funciones

El trabajo permitió establecer un sistema de trabajo doble. Por una parte realizar una previsión general de las rutas más cortas y, por otra, dar solución a las posibles variaciones que los problemas diarios plantean a los encargados de la recogida de RSU (calles en obras, cambios en la circulación, etc...). Así se pueden elaborar:

- Plan Cronológico.

La empresa concesionaria encargada de la recogida de residuos sólidos urbanos en el municipio de Bueu, tiene una periodicidad en la recogida de los residuos para evitar la acumulación de basuras. Lógicamente esta recogida está en función de diferentes variables que optimicen el recorrido.

Este plan se compone de dos procesos. El primero consistente en la recopilación de la información proveniente de las diferentes entidades externas para el posterior envío a los almacenes de información. La segunda fase es la elaboración del plan para establecer las rutas óptimas según la exigencia de periodicidad indicada por la concesionaria. A su vez se remite la información a los conductores que son los encargados, con los datos aportados, de retroalimentar el sistema.

- Plan diario.

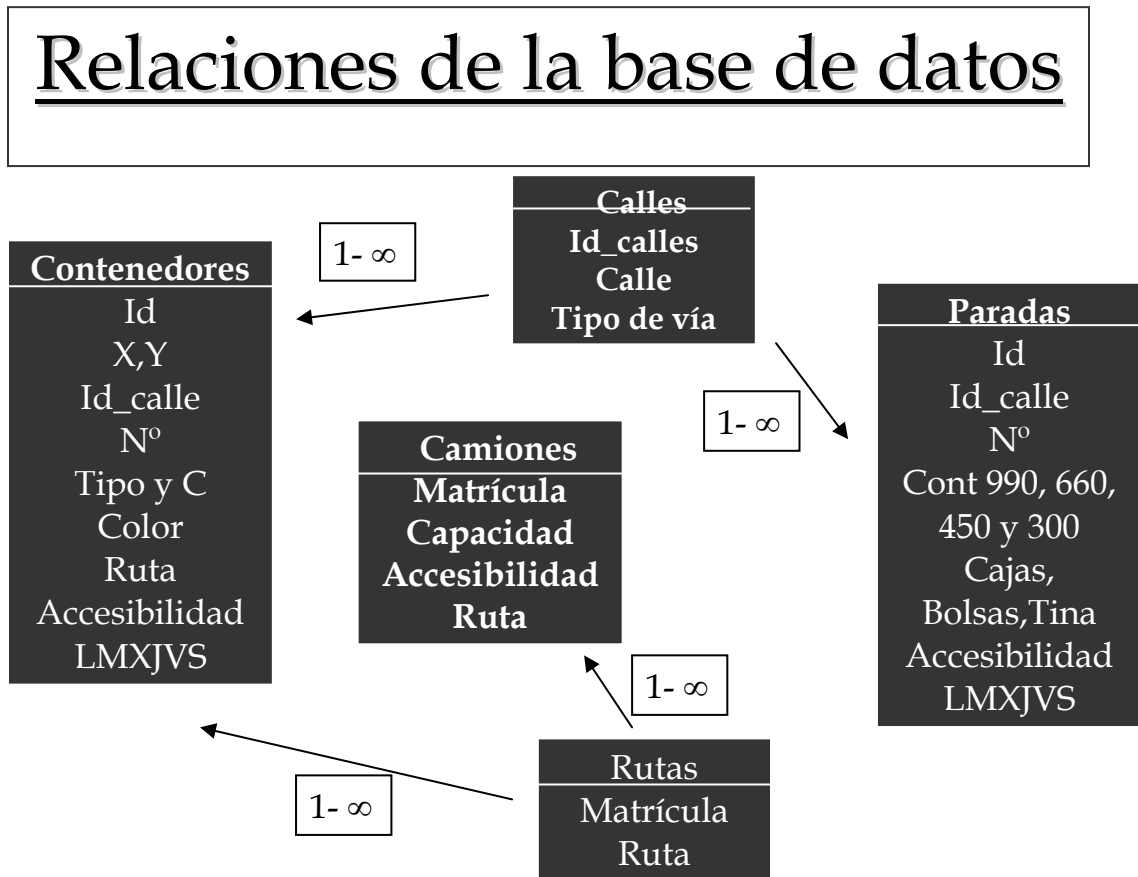
Existe la posibilidad de necesitar recoger un punto concreto, fuera del plan cronológico habitual por motivos especiales o imprevistos. El procedimiento establece que se atienda a la nueva demanda con la recopilación de la información recibida estableciendo la nueva ruta de recogida.

- Eliminación o instalación de nuevos puntos.

La optimización del sistema exige la eliminación de aquellos puntos que no alcancen unos mínimos requeridos de llenado y la densificación de la red en las zonas que así lo requieran. Este proceso se realiza a partir de las estimaciones de llenado de contenedores según los datos suministrados.

- 2.7. Conexión de las bases de datos alfanuméricas.

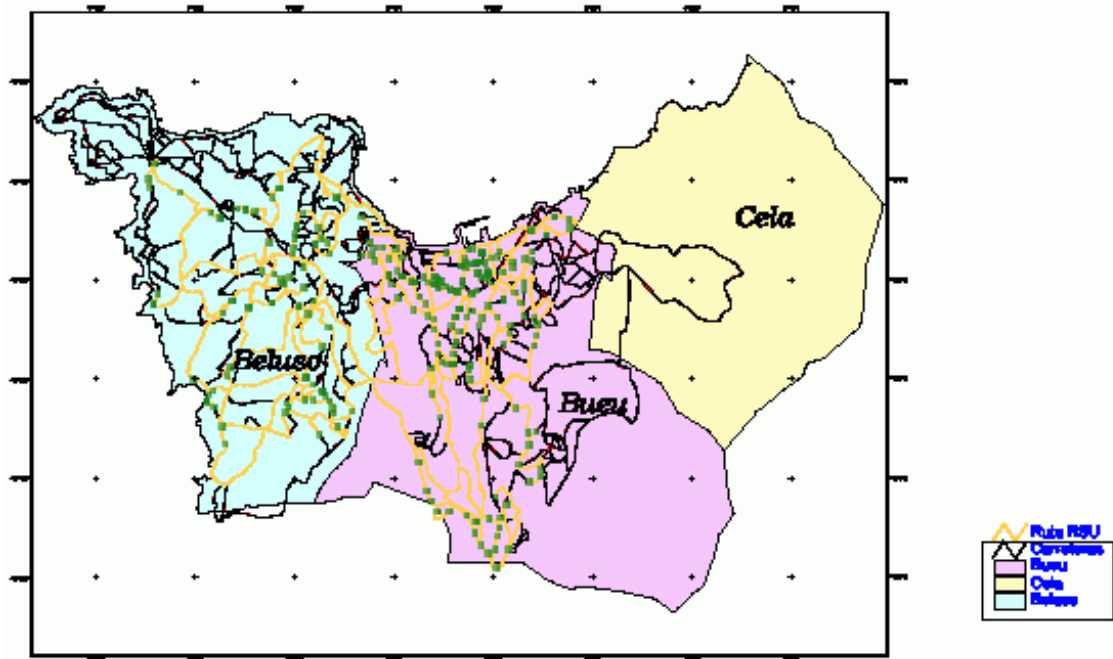
Se establecen las siguientes relaciones entre las bases de datos:



### 3. Conclusiones.

Tras la introducción de los diferentes tipos de datos e información, la aplicación práctica de este trabajo se obtiene en forma de mapa, en el que se recoge la ruta óptima (es decir, más corta), entre las diferentes posibilidades existentes. El programa permitiría además el cálculo de variables como los tiempos teóricos que se invertirán en el recorrido de las rutas. Así mismo, la

información recogida durante el desarrollo de las rutas permite retroalimentar todo el proceso, mejorando la eficiencia del mismo.



A través de este trabajo se definieron directrices que permiten a operadores implementar soluciones razonablemente buenas, sin necesidad de emplear herramientas sofisticadas de cálculo y con unos requerimientos de información limitados. La metodología empleada consiste en realizar una “aproximación continua” de la generación de residuos sólidos en el espacio. Esta busca sustituir el carácter discreto de un hecho singular cualesquiera por la frecuencia de realización de un proceso estocástico. Esto permite trabajar con funciones continuas, resolviendo exactamente un modelo aproximado de forma rápida y con poca información, en vez de resolver aproximadamente un modelo complejo (nunca exacto).

La técnica tiene ventajas objetivas sobre otras formulaciones analíticas conocidas:

- 1) Permite aprovechar la experiencia y la visión global humanas desde el primer momento de la modelización hasta la implantación práctica.
- 2) Es especialmente útil en ciudades donde se carece de información geográfica digitalizada, hecho que se produce en numerosas ocasiones.
- 3) Los métodos de resolución exactos no son aplicables para grandes cantidades de arcos (Gendreau et al., 1997).



4) Existe una clara tendencia hacia soluciones interactivas en el diseño de rutas, lo que se puede realizar con este método a través de sistemas de información geográficos.

Una vez adoptadas ciertas simplificaciones, el problema, eminentemente discreto, es formulable con relaciones analíticas elementales.

#### **4. Referencias**

GAY, Alan E.; BEAM, Thomas G.; MAR, Brian W. *Cost-effective solid-waste characterization methodology*. Journal of environmental engineering; 119(4):631-44, Jul.-Aug. 1993.

ROBUSTÉ, F. *Logística de la distribución urbana*, Actas del I Congreso Internacional de Tráfico Urbano, pág. 141-174. Madrid, 14-16 de abril de 1999. ISBN: 84-699-2373-0.

MAGRIÑÁ, A. y ROBUSTÉ, F. *Optimización de rutas de vehículos de recogida de basuras mediante recocido simulado* Actas del IV Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia, 7-9 de junio de 2000. Editado por J.V. Colomer y A. García. ISBN: 84-699-2603-9.