

Gestión de la recogida selectiva de residuos municipales mediante el sistema SIRUS

Joaquín Bautista Valhondo¹, Ramón Companys Pascual²

¹ETSII de Barcelona. Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona. bautista@oe.upc.es

²ETSII de Barcelona. Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona. companys@oe.upc.es

RESUMEN

SIRUS, abreviatura de “Sistema Integrado de Recogida Urbana Selectiva”, es un software que surge bajo la actividad de transferencia de tecnología Proyecto integral de gestión de residuos urbanos en el municipio de Sant Boi de Llobregat: convenio de colaboración establecido entre el Ajuntament y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). La función del sistema es ayudar a la toma de decisiones de diseño y de dirección relativas a la recogida de residuos urbanos en un municipio. SIRUS facilita las labores periódicas de localización de áreas de aportación y contenedores, así como el diseño de rutas ante cambios de las condiciones del municipio.

Palabras clave: Residuos urbanos, recogida selectiva, Sistemas GIS.

1 Introducción.

La unificación de los programas de recogida de residuos urbanos desarrollados en las comunidades autónomas recibe el nombre de Plan Nacional de Residuos Urbanos (PNRU). El tratamiento de residuos urbanos se encuentra en una fase de cambio e innovación necesarios para respetar el medio ambiente. La ejecución de una recogida selectiva de la basura en los municipios ha dejado de ser un privilegio, ya que el PNRU obliga a las poblaciones con más de 5000 habitantes a disponer de infraestructura para desarrollar una separación correcta. El PNRU [1] abarca un horizonte temporal de siete años comprendidos entre el 2000 y el 2006, sus objetivos se fijan bianualmente.

La recogida urbana selectiva se convierte en uno de los procesos más importantes en el ciclo generación↔transformación de residuos. Su buena gestión se debe apoyar en herramientas que permitan diseñar y evaluar ágilmente sistemas físicos de recogida y en disponer de datos fiables, tanto para el residuo generado en hogares como en actividades comerciales, huyendo de algunos estándares y valores medios.

Sólo en Cataluña hay 120 municipios afectados por la normativa referente a la obligatoriedad en la separación de los residuos, 28 de los cuales están integrados en el Área Metropolitana de Barcelona.

Sant Boi de Llobregat es uno de los municipios afectados. Este hecho, sumado al deseo de renovar equipos y diseñar un nuevo sistema físico de recogida, propició que, en el año 1999, los responsables del servicio, Ayuntamiento y empresa municipal CORESSA, contactaran con la Universidad Politècnica de Catalunya. Se estableció, entonces, un convenio de colaboración entre las partes denominado *Proyecto integral de gestión de residuos urbanos*; uno de sus frutos es SIRUS: *Sistema Integrado de Recogida Urbana Selectiva*.

Es fácil advertir que el conjunto de cambios e innovaciones que se desprende con la aplicación del PNRU, genera nuevos e interesantes problemas de gestión en los municipios:

qué sistema de recogida se debe adoptar, dónde localizar las áreas de aportación o puntos de recogida, cuántos contenedores y de qué tipo de fracción se debe asignar a cada área, qué rutas son las más adecuadas, cuál debe ser la frecuencia de recogida para cada fracción, qué dimensión debe tener la flota de vehículos, etc. SIRUS ha sido diseñado con el propósito de ayudar a tomar decisiones [2] para dar solución a estos problemas: su misión es optimizar y simular la gestión de recogida de residuos urbanos en función de un conjunto de condiciones y criterios orientados a satisfacer distintos niveles de servicio.

Brevemente, las aplicaciones incorporadas en SIRUS permiten:

- Distribuir, sobre una red viaria, áreas de aportación: (1) imponiendo una distancia máxima recorrida por los ciudadanos, o (2) imponiendo un número fijo de áreas de aportación.
- Estimar y repartir contenedores en las áreas.
- Diseñar itinerarios de recogida de contenedores.
- Evaluar soluciones propuestas considerando distintos criterios.

El Ayuntamiento dispone en la actualidad de estas aplicaciones, que han servido para evaluar el actual sistema físico de recogida y diseñar uno nuevo [3] acorde con dos objetivos: mejorar la calidad de servicio al ciudadano y conseguir que el nuevo sistema físico propicie el ajuste progresivo a las pautas del PNRU y a las actuaciones públicas en materia de medio ambiente definidas por el Ministerio [4].

2 Funciones del sistema.

SIRUS ofrece soluciones automáticas, manuales y semiautomáticas, todas ellas evaluables en función de un conjunto de índices de calidad. Para construir una solución, deben ejecutarse un conjunto de acciones que agrupamos en dos categorías: (1) diseño de áreas de aportación [5] y (2) diseño de itinerarios de recogida.

2.1 Diseño de áreas de aportación.

Se distinguen dos funciones: (1) localización automática y manual de áreas de aportación y (2) distribución de contenedores en áreas de aportación.

2.1.1 Localización de áreas de aportación.

En primer lugar se procede a la apertura de la capa de tramos de la base de datos, y sobre ella se selecciona un conjunto de tramos objeto de estudio (Figura 1). El conjunto de tramos puede corresponder a un sector o distrito del municipio o, sencillamente, puede tratarse de una zona natural sobre la que se mantendrán los mismos criterios de localización de áreas. En ocasiones, puede convenir que un conjunto de tramos esté libre de áreas (pe: zonas de interés artístico, calles inaccesibles, etc.), en tal caso, se puede inhibir dicho conjunto: el ciudadano puede circular a pie sobre una zona inhibida, pero no todos los equipos (p.e: vehículos).

Tras seleccionar la zona sobre el plano del municipio, se procede a la localización automática de áreas de aportación; las alternativas son: (1) fijar una distancia máxima a recorrer por el ciudadano y (2) fijar un número de áreas de aportación.

Si se adopta el criterio de minimización de la máxima distancia de recorrido ciudadano, se define su valor y un intervalo de esta magnitud; tras ello, se selecciona un procedimiento de localización (Figura 1) entre los 100 incorporados.

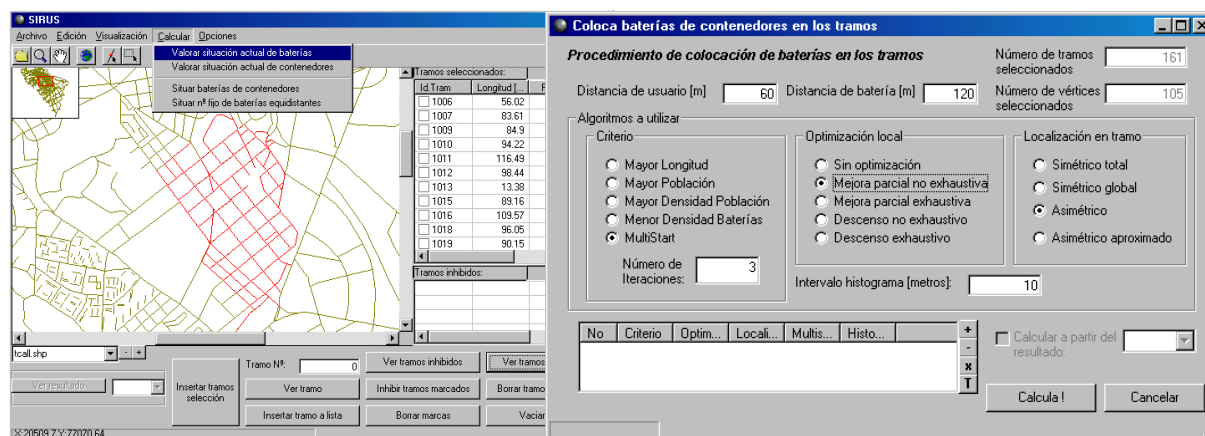


Figura 1: Selección de una zona geográfica y cuadro parámetros y procedimientos para localizar áreas de aportación según el criterio de máxima distancia de recorrido ciudadano

En caso de imponer un número fijo de áreas de aportación, se solicita dicho número y otros parámetros relacionados con la distribución de áreas sobre el territorio.

En ambos casos, los cálculos se pueden realizar a partir de un resultado previo, respetando las posiciones y coberturas de las áreas ya localizadas y permitiendo el solape entre soluciones. Todas las soluciones obtenidas (por fracción de residuo), en una o varias sesiones, se pueden almacenar y recuperar, y además son susceptibles de modificación: se permite la eliminación, la adición o el desplazamiento de puntos de recogida.

La división del municipio en zonas ofrece varias ventajas, entre ellas: (1) analizar distintas técnicas de recogida, (2) distribuir un número fijo de áreas sobre una zona, y (3) proponer distintos valores de la distancia mínima entre áreas de aportación según la zona.

Los resultados globales significativos de una solución son: (1) las distancias máxima y media recorrida por los ciudadanos hasta el área de aportación más cercana según su posición en la red, (2) la cobertura total, medida en metros, asociada a la distribución de baterías y (3) la población total asignada a los tramos seleccionados.

Además, SIRUS ofrece una información valiosa para medir la calidad de servicio ofrecida (Figura 2). En efecto, dada una disposición de puntos de recogida, se determina, para cada tramo, la distancia que separa al ciudadano más perjudicado del área más próxima, se identifica ésta y se indica la posición exacta del ciudadano respecto a la distancia del vértice origen del tramo; también se muestra el recorrido medio de los habitantes en cada tramo y la curva de distribución de la población en función de la distancia recorrida por los ciudadanos al área de aportación más cercana; esta herramienta sirve para detectar deficiencias en el nivel de servicio asociado al desplazamiento ciudadano: el exceso de carga de población en los últimos intervalos del diagrama es síntoma de una baja calidad del servicio.

Otro bloque de información interesante está constituido por la asignación de la población a las áreas de aportación; el cálculo se realiza a partir de la población censada en los tramos bajo

los supuestos de distribución homogénea de habitantes en los tramos y que todo ciudadano se dirige al punto de recogida más próximo a él, con ello se determina el número de usuarios de cada área de aportación; también se calcula, para cada área, su cobertura en metros y su vecina más próxima con la distancia que las separa. Para cada cruce de la red, se determina además el área de aportación más cercana a él y la distancia que los separa.

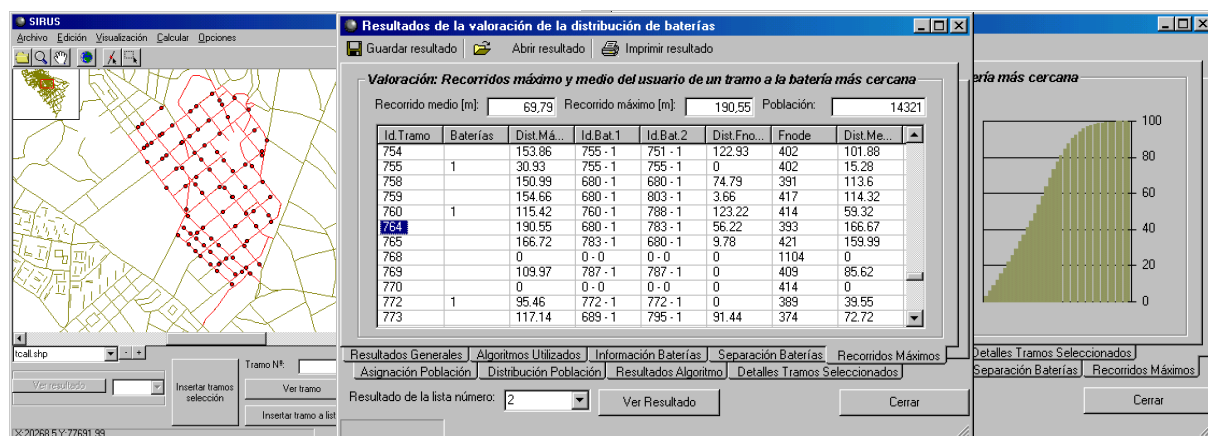


Figura 2: Valoración, por tramos, del recorrido máximo y medio de los habitantes. Distribución de la población en función de la distancia recorrida por los ciudadanos al área de aportación más cercana

2.1.2 Distribución de contenedores en áreas de aportación

Tras decidir qué solución relativa a la distribución de áreas de aportación es la más apropiada, el proceso de diseño del sistema físico de recogida continúa con el cálculo de necesidades de contenedores o el reparto de un número fijo de éstos. Los datos solicitados para el cálculo de necesidades de contenedores son: el volumen de un contenedor, el plazo de recogida, la densidad del residuo objeto de estudio, la masa media de residuo generada por un ciudadano al día y el factor máximo de llenado aconsejable para un contenedor. Con estos datos se estima el número de contenedores mínimo, en cada área de aportación, para satisfacer el servicio. En caso de optar por el reparto de un número fijo de contenedores, se solicita adicionalmente, el número, el porcentaje de la población participativa y un procedimiento de reparto (Figura 3).

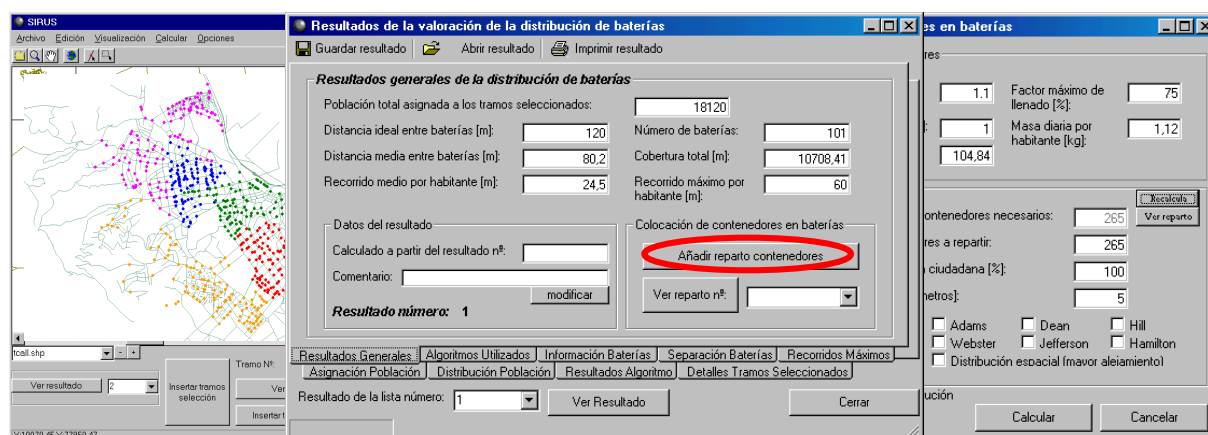


Figura 3: Determinación de las necesidades de contenedores y métodos de reparto dado un número fijo de éstos.

También es posible capturar y evaluar una distribución de contenedores consolidada en la base de datos. Si los contenedores seleccionados no son de rechazo, éstos se consideran de fuga o pérdida, salvo que la distancia que los separa de los de fracción no sea superior a la distancia de solapamiento que establece el usuario.

Los resultados relativos a la distribución de contenedores en áreas de aportación (Figura 4) son de dos tipos: agregados por sector y detallados por área de aportación.

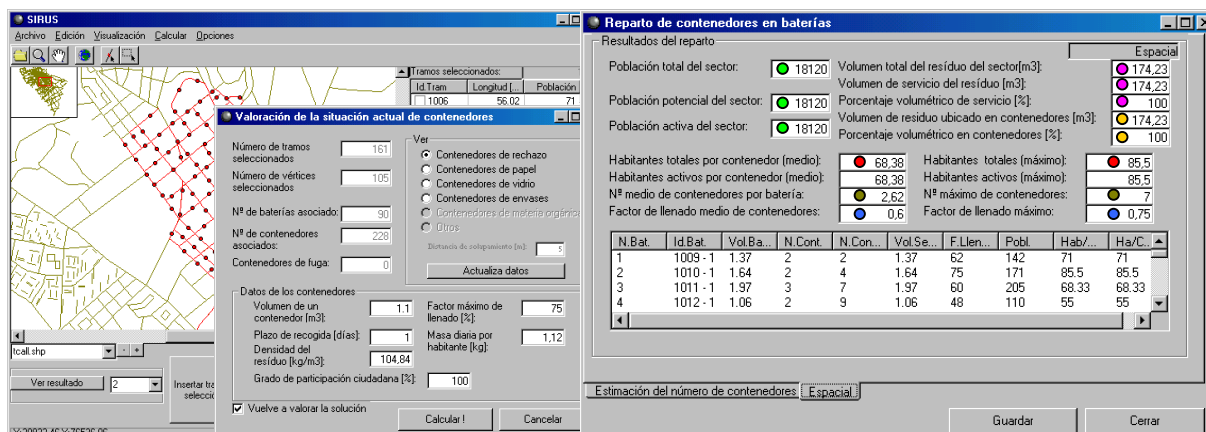


Figura 4: Resultados del cálculo de necesidades de contenedores o del reparto de un número fijo de éstos.

Los resultados principales agregados por sector son: poblaciones total, potencial y activa, volúmenes de residuo total y de servicio, número medio y máximo de ciudadanos por contenedor en función de las poblaciones total y activa, número medio y máximo de contenedores por área de aportación y factor de llenado medio y máximo de los contenedores.

En cuanto a los resultados detallados por área de aportación cabe destacar: volúmenes de residuo total y de servicio, número de contenedores, factor de llenado de los contenedores, población total asignada, número medio de ciudadanos por contenedor considerando las poblaciones total y activa.

2.2 Diseño de itinerarios de recogida

Se distinguen las siguientes funciones:

- Selección de zona de circulación y definición de tramos de entrada y salida zonales.
- Captura de la zona de recogida y aplicación de un procedimiento de resolución.

2.2.1 Zona de circulación y tramos de entrada y salida zonales.

En primer lugar se selecciona una zona geográfica constituida por el conjunto de tramos donde está permitida la circulación de los vehículos. Esta selección debe englobar al conjunto de tramos que contiene las áreas de aportación (baterías y contenedores) participantes en el diseño de los itinerarios de recogida. Posteriormente se define un conjunto de tramos de entrada a la zona, así como un conjunto de tramos de salida de la zona; para cada uno de estos tramos (Figura 5), se indica el sentido de circulación (sentido positivo de Fnode a Tnode del tramo). Finalmente, se procede a salvaguardar estas informaciones.

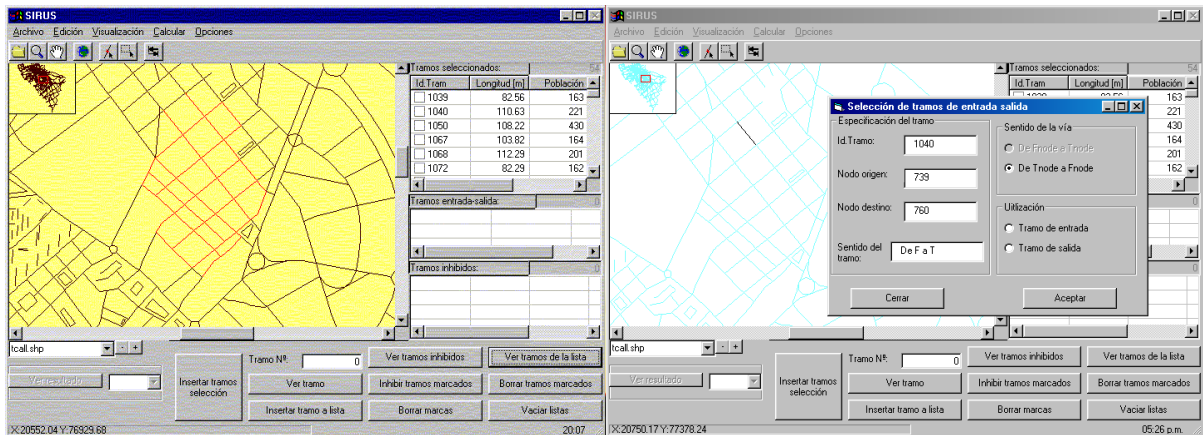


Figura 5: Selección de una zona geográfica de circulación y definición de los tramos de entrada y de salida a la zona objeto de estudio.

2.2.2 Captura de la zona de recogida y aplicación de un procedimiento de resolución.

El paso siguiente es la captura de la información correspondiente a baterías y contenedores: la zona de recogida. Esta zona debe estar contenida en la zona de circulación, SIRUS comprueba la coherencia de estos datos determinando al menos un camino entre un tramo de entrada y otro de salida, entre los candidatos, que pase por cada batería de contenedores. Tras ello, SIRUS solicita los valores de los parámetros siguientes: factor de penalización de giros, tiempo adicional por giro, velocidad media en tramos, capacidad volumétrica del camión (teniendo en cuenta el coeficiente de compactación del residuo según el vehículo) y el tiempo de carga por contenedor. Tras fijar los valores de los parámetros solicitados se selecciona un método de resolución entre los 36 algoritmos incorporados (Figura 6) .

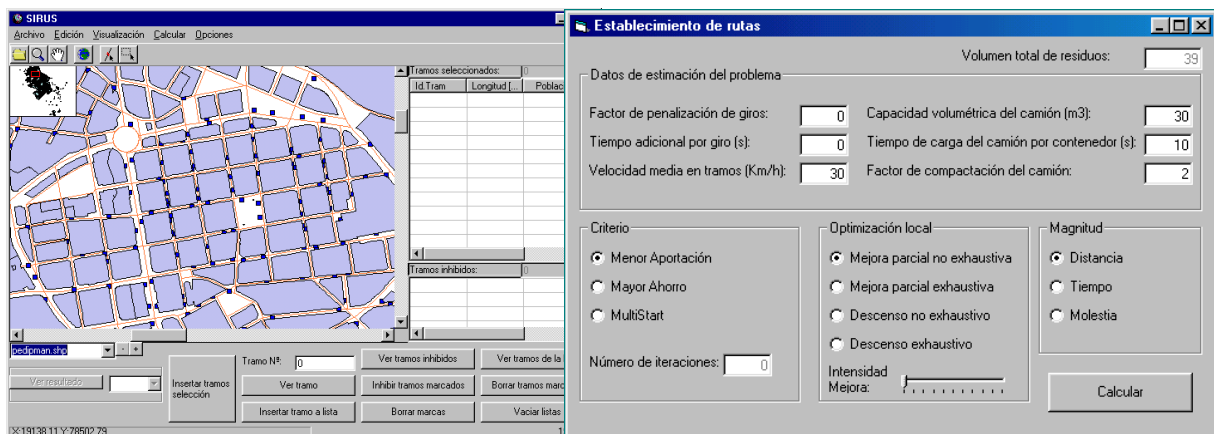


Figura 6: Captura de la información correspondiente a la zona de recogida, solicitud de valores para los parámetros y elección de un procedimiento de resolución.

Los resultados más significativos son: longitud y tiempo total, nivel de molestia ciudadana, volumen total y coeficientes de sinuosidad de los recorridos. También se muestran en detalle las trayectorias a través de los tramos de cada ruta, la localización definitiva de cada batería de contenedores y el volumen de servicio recogido en cada parada del vehículo.

3 Procedimientos.

Se distingue tres grupos de procedimientos en función del problema: (1) ubicación de áreas de aportación, (2) reparto de contenedores y (3) diseño de itinerarios

Para ubicar áreas de aportación con la garantía de que todo ciudadano no recorra una distancia superior a la prefijada hasta el área más cercana, se han programado 100 procedimientos. Estos algoritmos se incluyen en la categoría de heurísticos con una primera fase greedy más una optimización local.

Los procedimientos de ubicación de áreas en función de una distancia resultan al combinar:

- Cinco criterios de prioridad en la elección de tramos para satisfacer su cobertura, de manera que un tramo se cubre antes que otro, si el valor del índice del primero es mejor que el del segundo. La aplicación de cada criterio ofrece soluciones distintas. Los criterios para ordenar los tramos son: mayor longitud, mayor población, mayor densidad de población, menor densidad de áreas de aportación y ordenación al azar con opcional optimización local (MultiStart).
- Cuatro formas de alcanzar óptimos locales a partir de una solución inicial con el empleo de algoritmos de descenso exhaustivo y no exhaustivo y con tamaño de vecindario lineal y cuadrático.
- Cuatro formas distintas de ubicar áreas de aportación en los tramos: forzando la simetría en cada tramo o en la parte de la solución construida, y sin respetar la simetría en la colocación de baterías con garantía de cobertura total (caso Asimétrico) en función de la máxima distancia que recorre un ciudadano, o ubicar menos baterías sacrificando parte de cobertura.

Para la ubicación de un número fijo de áreas sobre la red se ha programado un procedimiento heurístico basado en una analogía física, donde las baterías se asimilan a partículas bajo la influencia de un campo de fuerzas central repulsivo. La función objetivo propuesta es minimizar la energía interna del sistema. Los parámetros para este modelo son: número de baterías a ubicar, índice de repulsión (directamente proporcional al exponente de la distancia entre dos partículas cualesquiera en un campo central repulsivo), calibre de la malla (se emplea para generar una malla de emplazamientos posibles equidistantes, la densidad de la malla aumenta con el valor del calibre) y distancia mínima entre áreas de aportación.

Para el reparto de un número fijo de contenedores en las áreas de aportación se incluyen seis procedimientos clásicos de reparto de escaños en cámaras de representantes (Adams, Dean, Hill, Webster, Jefferson y Hamilton), y una analogía física similar a la empleada para ubicar un número fijo de baterías.

Los procedimientos de resolución empleados en el diseño de rutas resultan al combinar:

- Tres criterios para dirigir la exploración en el procedimiento greedy: aportación mínima, ahorro máximo y la ordenación al azar con opcional optimización local (MultiStart).

- Cuatro formas de alcanzar óptimos locales a partir de una solución inicial con el empleo de algoritmos de descenso exhaustivo y no exhaustivo y con tamaño de vecindario desde lineal hasta cuadrático en función de la intensidad de la mejora.
- Tres magnitudes asociadas al conjunto de recorridos a minimizar: distancia, tiempo y molestia.

4 Comentarios finales

Durante el desarrollo del Proyecto se ha establecido una estrecha colaboración entre los miembros participantes de la UPC, Ajuntament de Sant Boi y CORESSA. Las actividades relativas a la definición de objetivos y criterios, suministro de información, adecuación de bases de datos, diseño, desarrollo e implantación de procedimientos de resolución, etc., difícilmente se habrían ejecutado con éxito, dada la singularidad de los problemas planteados, de no haberse constituido un equipo pluridisciplinar en el marco de un convenio de colaboración Universidad-Empresa. El equipo ha podido contrastar [6] satisfactoriamente opiniones sobre los resultados del Proyecto con entidades especializadas entre las que se encuentra la Asociación Nacional de Empresas Municipales de Medio Ambiente (ANEPMA).

Obviamente, los problemas de diseño de itinerarios y de localización de servicios en zonas urbanas no son exclusivos de la recogida de residuos; sirvan como ejemplo: líneas de autobuses, rutas de reparto, localización de cabinas, cajeros, etc. Este hecho propicia nuevas extensiones del proyecto SIRUS.

Referencias

- [1] Secretaría General de Medio Ambiente (2000) *Plan Nacional de Residuos Urbanos (2000-2006)* “http://www.juridicas.com/base_datos/Admin/r130100-mma.html”, *Noticias jurídicas*. Editorial Bosch y Leggio. (Enlace verificado 12-4-2001).
- [2] Bautista, J., Companys, R. (2000) “SIRUS: Un sistema de ayuda a la decisión para la recogida selectiva de residuos urbanos” *Congreso sobre técnicas de ayuda a la decisión en la defensa*. Madrid 12 a 15 de diciembre de 2000.
- [3] Bautista, J. (2001) *Proyecto integral de gestión de residuos urbanos en el municipio de Sant Boi de Llobregat*. J.Bautista, Barcelona, ISBN 84-699-3911-4.
- [4] Ministerio de Medio Ambiente (2001) *Actuaciones públicas en materia de medio ambiente (10-4-2001)* “<http://www.mma.es/docs/sergen/infogen/actu/normativa.html>” (Enlace verificado 12-4-2001).
- [5] Bautista, J. (2000) "El sistema SIRUS d'organització de contenidors al carrer". *3era Jornada Tècnica sobre la gestió de residus municipals. Plàstic, Vidre i Paper*. OSSMA, Barcelona 5 de octubre de 2000.
- [6] Bautista, J. (2000) “SIRUS: Sistema integrado de recogida urbana selectiva” *Jornadas Técnicas de la ANEPMA (Asociación Nacional de Empresas Públicas de Medio Ambiente) “Cultura de los residuos sólidos en el siglo XXI”*. Lorca 11 y 12 de Mayo de 2000.