

## OPTIMIZATION OF THE MUNICIPAL SOLID WASTE SKIPS USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Gallardo Izquierdo, Antonio; Peris Mendoza, Mónica; Colomer Mendoza, Francisco José

Universitat Jaume I

Nowadays, in the Spanish cities streets there are several kind of skips to collect the municipal solid waste (MSW): organic matter and reject fraction skips, paper and card-board skips, light packaging skips, glass skips, used oil skips, clothes skips, etc. To locate them correctly in the urban landscape is an important task in the MSW management. In the first place, from the MSW collection point of view, a correct skips location makes easier their collection. In the second place, in the selective collection, a good location is basic to assure the citizens collaboration in the recovery of the recyclable materials. Moreover, the skips location must respect the urban environment. In this work, we present a methodology to optimize the MSW skips location taking into account several factors such as the distance to the users, the streets characteristics, the presence of singular points, etc. The methodology will be later applied to the optimization of the paper and cardboard skips of a Spanish city using the Geographic Information Systems (GIS).

**Keywords:** *Optimization; Location; Skips; MSW; GIS*

## OPTIMIZACIÓN DE LA UBICACIÓN DE CONTENEDORES DE RSU MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Actualmente en las calles de las ciudades españolas se pueden observar diferentes tipos de contenedores para la recogida de los residuos sólidos urbanos (RSU): contenedores de materia orgánica y fracción resto, de papel y cartón, de envases ligeros, de vidrio, de aceite usado, de ropa etc. Ubicar correctamente los contenedores en el paisaje urbano es una tarea importante en la gestión de los RSU. En primer lugar, desde el punto de vista de la recogida de los RSU, una correcta ubicación de los contenedores facilita dicha recogida. En segundo lugar, sobre todo en el caso de la recogida selectiva, una buena ubicación es fundamental para garantizar la colaboración ciudadana en la recuperación de los materiales separados. Además, la ubicación de los contenedores debe respetar el entorno urbano al cual dan servicio. En este trabajo se presenta una metodología para optimizar la ubicación de los contenedores de RSU teniendo en cuenta una serie de factores (p.ej. distancia que han de recorrer los ciudadanos, características de las calles, presencia de elementos singulares, etc.). La metodología se aplica a la optimización de la ubicación de los contenedores de papel y cartón de una ciudad española utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

**Palabras clave:** *Optimización; Ubicación; Contenedores; RSU; SIG*

Correspondencia: mcarlos@uji.es

## 1. Introducción

Una parte importante del coste en la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) desde el punto de vista económico corresponde a la recogida de los mismos. Esto es debido fundamentalmente a los salarios del personal, al mantenimiento tanto de la flota de camiones de recogida como de los propios contenedores y al consumo de combustible de dichos camiones. En España, cuanto más grande es el municipio, mayor es el coste del servicio (Jofra, Citlalic y Calaf, 2011). Por este motivo, muchos autores centran sus estudios en proponer metodologías para optimizar la recogida y transporte de los RSU. En Grecia, en la que los costes de recogida y transporte de RSU pueden llegar a ser superiores al 70% del total de los costes de gestión de RSU, Chalkias y Lasardi (2009) propusieron una metodología para mejorar la eficiencia de dicha recogida y transporte mediante la reubicación de los contenedores y la optimización de las rutas de recogida en cuanto a la distancia recorrida y el tiempo empleado. Arribas (2010) propuso una metodología de diseño de un sistema de recogida de RSU basada en la optimización combinatoria y la programación entera así como el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para minimizar el tiempo de recogida y los costes de transporte y operación.

La elección del sistema de gestión de RSU es un factor determinante también desde el punto de vista ambiental. Mühle S., Balsam y Cheesemana (2010) compararon la gestión llevada a cabo en Alemania y Reino Unido. En este estudio determinaron que en una gestión basada en el reciclaje y la recuperación de residuos como la de Alemania se emiten hasta cinco veces menos emisiones de Carbono. Pero para llevar a cabo la recuperación y reciclaje de materiales es fundamental implantar previamente un sistema de recogida selectiva, lo cual complica la gestión ya que implica un aumento del número de contenedores y camiones puestos en marcha. Por este motivo, cada vez se van incorporando más a menudo las nuevas tecnologías como soporte en la gestión de RSU. Es el caso del uso de sistemas de identificación de radio frecuencias y sistemas de posicionamiento global (Faccio, Persona y Zanin, 2011) o estrategias Web-GIS (Rada, Ragazzi y Fedrizzi, 2013). Estos sistemas ayudan a definir el grado de llenado de los contenedores y por tanto a establecer las rutas óptimas y frecuencias de recogida.

En cualquier caso, es fundamental antes de planificar la recogida de RSU realizar estudios previos de las características y necesidades del municipio. Kao y Huang en 2013, propusieron seis modelos de optimización basados en tres objetivos de minimización de la distancia de servicio, maximizando la tasa de servicio y minimizando el número de áreas de aportación para tres escenarios, distrito base, distrito abierto y sin distrito.

En el presente trabajo se aborda esta primera parte de planificación de la gestión estudiando factores como la tasa de generación de RSU y el número de contenedores necesario en función del número de habitantes. Además se estudian los puntos idóneos de ubicación de estos contenedores para que por un lado, los ciudadanos tengan cerca de sus viviendas un contenedor en el que depositar los RSU generados y por otro lado, la ubicación de estos contenedores en las calles de la ciudad no impida el correcto funcionamiento del resto de servicios.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es presentar una metodología para optimizar el número de contenedores de las fracciones recuperables de RSU (papel-cartón, vidrio y envases) de una determinada población así como su ubicación. Para determinar dicha cantidad se analizará la distribución de los habitantes en el entorno urbano, la tasa de generación de RSU por fracciones y la ubicación de los portales de las viviendas. Con estos datos se analizará la situación actual en cuanto a disponibilidad de contenedores por habitante y

distancias a recorrer. A partir de los resultados obtenidos, en caso de ser necesario, se estudiará una posible reubicación de los contenedores que tenga en cuenta que todos los habitantes queden a una distancia adecuada del punto de disposición tal que dicha distancia les facilite esta tarea y por tanto se contribuya a mejorar de la tasa de separación de los RSU. En este artículo se comparará la situación actual de distribución de los contenedores en la ciudad frente a la situación optimizada tras aplicar la metodología de trabajo.

### 3. Metodología

La metodología seguida para lograr una eficiente reubicación de los contenedores consta de los siguientes apartados:

- Análisis de la situación actual en el municipio.
- Determinación de la generación de residuo.
- Ubicación óptima de los contenedores.
- Comparación de resultados.

Todos estos cálculos se han aplicado a un caso práctico centrado en la ciudad de Castellón de la Plana (España).

#### 3.1. Análisis de la situación actual

Como se ha comentado anteriormente el primer paso consiste en describir la situación actual. En este apartado se deben contabilizar el número total de contenedores de cada fracción y ubicarlos correctamente en la red de calles. Para ello es necesario en primer lugar, disponer de una red de calles digitalizada del municipio actualizada y bien conectada. La cartografía base para el caso de aplicación se ha obtenido a partir de datos del Instituto Cartográfico Nacional. Las principales ventajas de estos datos son que se encuentran en el formato adecuado para ser usados en ArcGis y su acceso es gratuito. En el caso que aquí se presenta, estos datos se han depurado y completado. Concretamente, se han corregido errores de trazado de rotondas, se han añadido los sentidos de circulación de todas las calles de la ciudad y se han establecido las restricciones de giro y de paso de las mismas. Además, se han añadido zonas de reciente construcción de la ciudad que no estaban incluidas en la red de partida. En total se han dibujado 3.126 líneas que equivalen a un total de 280,5 km de calles. La red de calles es necesaria para calcular las distancias entre los diferentes elementos: usuarios y contenedores.

El segundo paso, es determinar la distribución de habitantes en el casco urbano así como la totalidad de los portales de acceso a las viviendas. El número de habitantes se puede obtener a partir de datos del censo o del padrón municipal. Este dato servirá para determinar, junto con la tasa de generación diaria, la cantidad de residuo generada en la ciudad.

Con los datos de partida anteriores, y conociendo el número y la ubicación de portales en toda la ciudad, se puede determinar el número de habitantes medio por portal. Este valor permitirá calcular la distancia que deben recorrer los habitantes hasta el contenedor más cercano.

#### 3.2. Determinación de la generación de residuo

El número de contenedores a ubicar de cada fracción se calcula a partir del volumen total de residuo generado por fracción. Para ello se debe calcular en primer lugar, la cantidad total depositada de la fracción de residuo  $j$ ,  $G_{ij}$ , como muestra la ecuación (1), a partir del número de habitantes y de la tasa de generación diaria de la fracción  $j$  ( $TGD_j$ ).

En segundo lugar, se calcula el volumen de residuo que reciben los contenedores (ecuación 2) en función del número de habitantes, la  $TGD_j$ , el grado de utilización (GU) y la densidad del residuo de la fracción  $j$  ( $D_j$ ). El GU se calcula dividiendo la tasa de generación mensual mayor de un año determinado entre la media anual.

Finalmente, el volumen semanal depositado de una fracción  $j$  depende del número de habitantes, de la tasa de generación diaria de la fracción  $j$ , de la frecuencia de recogida ( $Fr$ ), del GU y de  $D_j$  como indica la ecuación (3).

$$G_{ij} = Hab \cdot TGD_j \quad (1)$$

$$V_{ij} \text{ diario} = (Hab \cdot TGD_j \cdot GU) / D_j \quad (2)$$

$$V_{ij} \text{ semanal} = (Hab \cdot TGD_j \cdot Fr \cdot GU) / D_j \quad (3)$$

Donde:

$i$  es el contenedor;

$j$  es la fracción del residuo analizada;

$G_{ij}$  es la cantidad de residuo de la fracción  $j$  depositada en el contenedor  $i$  en kg;

$V_{ij}$  es el volumen en cada punto para cada una de las fracciones en  $m^3$ ;

hab es el número de habitantes por punto de depósito;

$TGD_j$  es la tasa de generación diaria de la fracción  $j$  en kg/hab·día;

GU es el grado de utilización;

$Fr$  es la frecuencia de recogida;

$D_j$  es la densidad en contenedor de la fracción  $j$  en  $kg/m^3$ .

### 3.3. Ubicación óptima

Conocido el número necesario de contenedores, el siguiente paso es ubicarlos correctamente. En primer lugar, se deben establecer sobre la red de calles aquellos puntos que se consideren idóneos para albergar un contenedor o área de aportación. Para la selección de estos puntos hay que tener en cuenta una serie de factores. Por ejemplo, deben ser puntos seguros para los usuarios, deben ser ubicaciones fácilmente accesibles para los vehículos de recogida, no deben entorpecer la circulación del resto de vehículos y se debe respetar el valor del patrimonio del entorno. En principio es recomendable determinar cómo puntos idóneos los cruces de calles y en calles muy largas sin cruces, determinar puntos intermedios aptos.

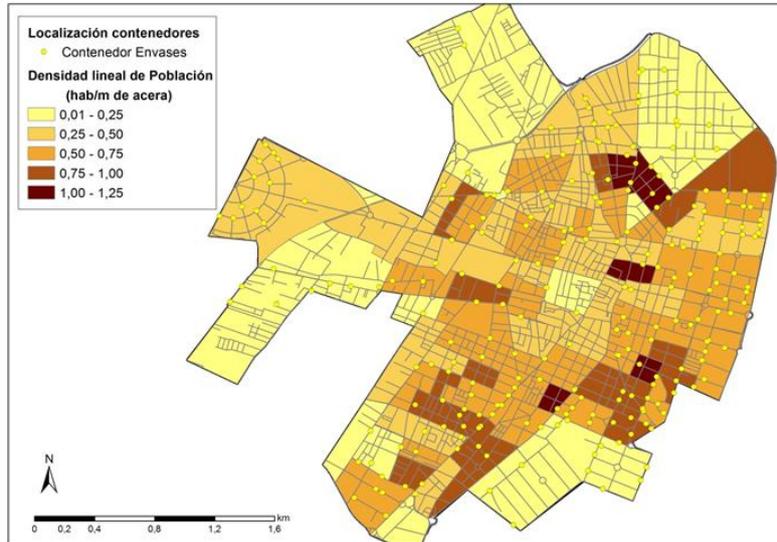
## 4. Resultados

### 4.1. Situación actual

El caso de aplicación se ha referido a la ciudad de Castellón (España) cuyo casco urbano cuenta según datos del censo municipal en 2012 con 156.221 habitantes, cuya densidad lineal se muestra la figura 1. Los datos de ubicación de contenedores se pueden obtener, o bien a partir de datos aportados por el Ayuntamiento, o bien a partir de un trabajo de campo. Una vez ubicados, es importante conocer la distancia entre los contenedores de una misma fracción y la distancia que deben recorrer los usuarios desde su vivienda al contenedor más próximo ya que uno de los factores que influye en el éxito de la tasa de separación de residuos es la distancia del usuario al contenedor (Gallardo et al., 2010).

Después de realizar un exhaustivo trabajo de campo se han situado finalmente sobre la red de calles un total de 238 contenedores de papel-cartón (CP), 245 contenedores de envases ligeros (CE) y 220 contenedores de vidrio (CV).

**Figura 1. Densidad de población en el municipio y ubicación de contenedores de envases**



La tabla 1 muestra, según la distribución actual de contenedores en la ciudad, la distancia entre contenedores de una misma fracción.

**Tabla 1: Distancia actual entre contenedores de una misma fracción: CP, CV y CE**

Distancia (m)	Nº CP	% CP	Nº CV	% CV	Nº CE	% CE
0-50	44	18,50	26	11,82	46	18,78
50-100	109	45,80	103	46,82	121	49,39
100-150	57	23,95	57	25,91	51	20,82
150-200	18	7,56	23	10,45	18	7,35
200-250	7	2,94	10	4,55	7	2,86
250-300	3	1,26	1	0,45	2	0,82

Los datos de la tabla 1 indican que en esta localidad, la mayor parte de los contenedores de una misma fracción se encuentran separados entre sí entre 50 m y 100 m. Concretamente el 45,80% de los CP, el 46,82% de los CV y el 49,39% de los CE se encuentran dentro del rango de distancias comentado anteriormente. El 11,76% de los CP, el 15,45% de los CV y el 11% de los CE se encuentran a distancias superiores a 150 m entre ellos.

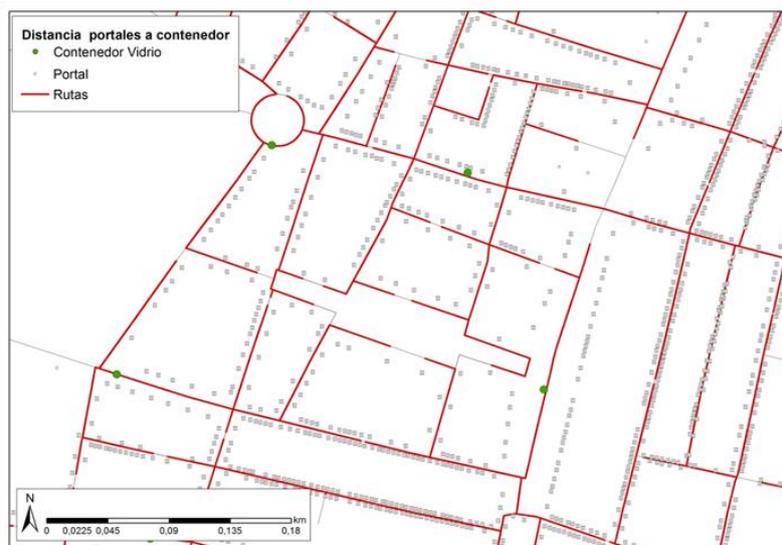
En el casco urbano de Castellón se han contabilizado además un total de 13.772 portales. En la tabla 2 se han considerado las distancias de cada uno de estos portales a los contenedores de papel y cartón, vidrio y envases. Una vez calculadas estas distancias, se han clasificado en rangos y se ha calculado el porcentaje de portales dentro de cada rango de distancias.

**Tabla 2: Porcentaje de portales según distancia al contenedor**

Distancia (m)	% portales CP	% portales CV	% portales CE
0-50	13,11	12,53	13,56
50-100	23,60	22,82	23,93
100-150	28,97	28,76	28,58
150-200	17,62	18,92	17,04
200-250	7,14	8,34	7,24
250-300	2,55	3,76	2,53
300-400	2,08	2,61	2,04
400-500	2,18	1,76	2,21
500-600	1,31	0,33	1,33
600-700	0,81	0,04	0,84
700-800	0,53	0,04	0,59

Atendiendo a los datos de la tabla 2 se deduce que en lo que a la recogida selectiva de papel y cartón se refiere, el 65,68% de los portales tienen un CP a menos de 150 m, el 83,3% a menos de 200 m y el 93% a menos de 300 m. Datos similares se encuentran para las otras dos fracciones, concretamente, en la fracción vidrio el 64,11% de los portales tienen un CV a una distancia inferior a 150 m, el 83,03% a menos de 200 m y el 95,15% a menos de 300 m; para la fracción envases el 66,07% de los portales tienen un CE a menos de 150 m, el 83,11% a menos de 200 m y el 92,88% a menos de 300 m. La figura 2 muestra gráficamente el recorrido calculado desde cada portal al contenedor más cercano.

**Figura 2. Ruta recorrida desde portal al contenedor más cercano**



Teniendo en cuenta la distribución de la población y la localización de los portales sobre el mapa de la ciudad, se ha determinado el número medio de habitantes por portal y la

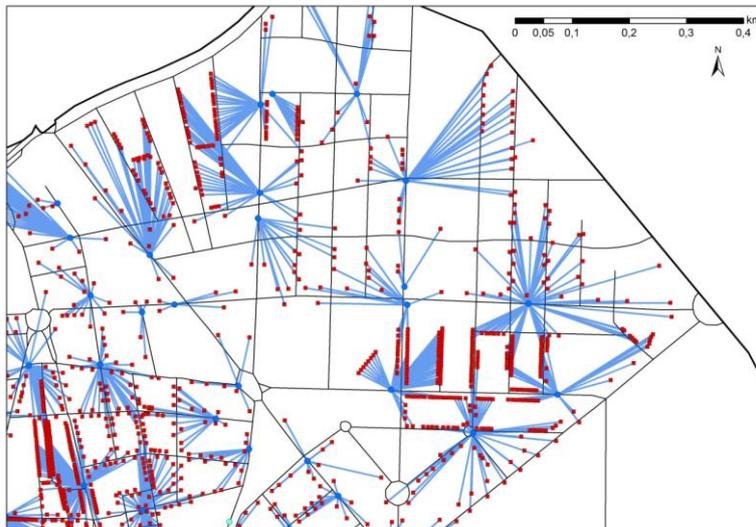
distancia que deberían recorrer los ciudadanos al contenedor más cercano. Los resultados se han organizado según tramos de longitud recorrida y porcentaje de ciudadanos que realizan el trayecto desde su casa a cada uno de los CP, CV y CE tal y como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3: Porcentaje de habitantes en función de la distancia al contenedor**

Dist.(m)	% Hab. a CP	% Hab. a CV	% Hab. a CE
0-50	20	19	20
50-100	27	26	27
100-150	28	28	27
150-200	14	16	14
200-250	5	6	5
250-300	2	2	2
300-350	1	1	1
350-400	1	1	1
400-450	1	1	1
450-500	1	0	1
500-550	1	0	1
≥ 550	0	0	0

Los resultados de la tabla 3 reflejan que alrededor de un 70% de la población dispone de un contenedor de cada una de las fracciones a menos de 150 m de su domicilio. Concretamente el 74% de los habitantes dispone de un CP a menos de 150 m, el 72% de los usuarios dispone de un CV y el 75% de un CE. Se puede decir que prácticamente el 90% de la población dispone de un contenedor de recogida selectiva a menos de 200 m de su domicilio, el 89% dispone de un CE y un CP y el 88% de un CV. En la figura 3 se muestra un ejemplo de cómo el programa ArcGis 10.1 asigna cada portal al contenedor más cercano.

**Figura 3. Asignación de portales al contenedor de papel más cercano**



El siguiente paso consiste en calcular la generación diaria de cada una de las fracciones de residuo, así como el volumen necesario de contenedor teniendo en cuenta diferentes frecuencias de recogida, recogida quincenal ( $Fr=15$ ), recogida semanal ( $Fr=7$ ), dos veces por semana ( $Fr=3,5$ ) o tres veces por semana ( $Fr=2,3$ ) con las ecuaciones (1), (2) y (3) respectivamente. Las densidades de los residuos utilizadas han sido  $90 \text{ kg/m}^3$  para la fracción papel-cartón,  $364 \text{ kg/m}^3$  para el vidrio y  $80 \text{ kg/m}^3$  para los envases (Di Maria y Micale, 2013). Las tablas 4, 5 y 6 muestran los valores máximos, mínimos y medios obtenidos para cada una de la fracción envases, vidrio y papel-cartón respectivamente. Con estos cálculos se puede determinar en qué casos se produce un llenado total del contenedor y por tanto se detectan las necesidades en cuanto a cantidad de contenedores o frecuencias de recogida.

**Tabla 4: Cálculo del volumen de residuo en contenedor de envases**

	Nº hab/cont	TGD (kg/día)	Vol diario ( $\text{m}^3$ )	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=2,3)	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=3,5)	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=7)	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=15)
Min	15	0,31	0,00	0,01	0,01	0,03	0,06
Max	2391	47,82	0,65	1,48	2,26	4,52	9,68
Media	640	12,81	0,17	0,40	0,61	1,21	2,59
DesTip	528	10,56	0,14	0,33	0,50	1,00	2,14
$V \geq 3,2 \text{ m}^3$						15	78

Atendiendo a los resultados mostrados en la tabla 4 y sabiendo que el volumen de los contenedores instalados en las calles de Castellón es de  $3,2 \text{ m}^3$ , se podría decir que con una frecuencia de recogida de los envases ligeros semanal se producirían desbordamientos en al menos 15 contenedores.

**Tabla 5: Cálculo del volumen de residuo en contenedor de vidrio**

	Nº hab/cont	TGD (kg/día)	Vol diario ( $\text{m}^3$ )	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=2,3)	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=3,5)	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=7)	Vol sem ( $\text{m}^3$ ) (Fr=15)
Min	15	0,31	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Max	2437	48,74	0,17	0,40	0,60	1,21	2,59
Media	718	14,36	0,05	0,12	0,18	0,36	0,76
DesTip	567	11,33	0,04	0,09	0,14	0,28	0,60
$V \geq 3,2 \text{ m}^3$							

De la tabla 5 se desprende que no se producen desbordamientos en los contenedores de vidrio incluso realizando la recogida quincenalmente.

**Tabla 6: Cálculo del volumen de residuo en contenedor de papel**

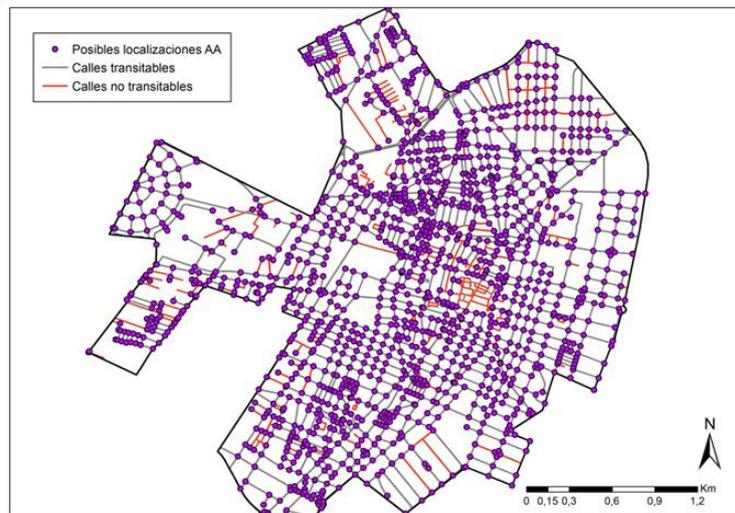
	Nº hab/cont	TGD (kg/día)	Vol diario (m <sup>3</sup> )	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=2,3)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=3,5)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=7)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=15)
Min	15	1	0,01	0,02	0,03	0,06	0,12
Max	2373	95	1,23	2,84	4,32	8,64	18,51
Media	660	26	0,34	0,79	1,20	2,40	5,14
DesTip	529	21	0	1	1	2	4
V <sub>≥3,2 m<sup>3</sup></sub>					10	75	129

En el caso del papel y cartón, como se puede ver en la tabla 6, si la recogida se realiza dos veces por semana, existen 10 puntos en los cuales se producirán desbordamientos.

#### 4.2. Propuesta de reubicación de contenedores

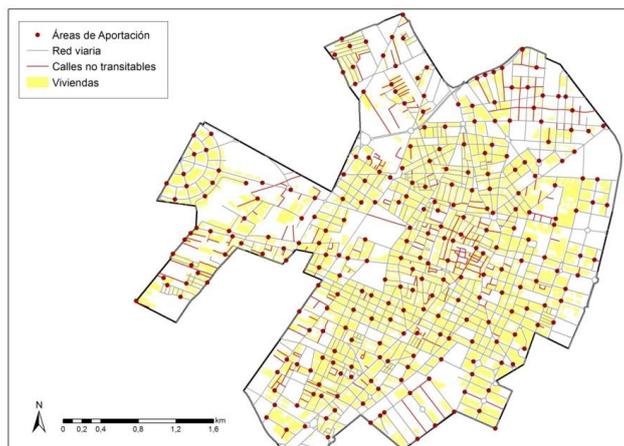
Además del cálculo de llenado de contenedores se ha realizado una propuesta de reubicación de los contenedores de cada una de las fracciones analizadas. Para ello, se han determinado en primer lugar, los puntos idóneos de ubicación de los mismos. Como posibles puntos idóneos se han definido los cruces entre calles como muestra la figura 4, lo cual supone un total de 1503 puntos.

**Figura 4. Ubicación de puntos idóneos.**



Una vez definidos los puntos idóneos se ha calculado la ubicación óptima del contenedor teniendo en cuenta que la distancia a recorrer por el usuario sea menor de 150 m y que el número de áreas de aportación debe ser el mínimo. Las áreas de aportación en las que situarían los contenedores serían las que se muestran en la figura 5. En total se han registrado 271 áreas.

**Figura 5. Propuesta de localización de áreas de aportación**



Con esta nueva reubicación, la distancia de los diferentes portales y por tanto de los habitantes del municipio al contenedor más cercano se puede apreciar en la tabla 7.

**Tabla 7. Porcentaje de habitantes y portales en función de la distancia al área de aportación**

Distancia (m)	% Portales	% Habitantes
0-50	30,95	32,03
50-100	44,42	41,85
100-150	24,63	26,14

Finalmente, aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3) se ha obtenido el volumen que se depositaría en cada área de aportación, de cada una de las tres fracciones. Los valores para los CE se muestran en la tabla 8, los de CV en la tabla 9 y los CP en la tabla 10. Con estos cálculos se consigue definir como en el caso anterior, cuál es la frecuencia de recogida óptima para cada fracción o si se necesita algún punto de refuerzo.

**Tabla 8. Volumen de residuo en contenedores de envases en las nuevas ubicaciones**

	Nº hab/cont	TGD (kg/día)	Vol diario (m <sup>3</sup> )	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=2,3)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=3,5)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=7)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=15)
Min	4	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Max	1785	35.70	0.48	1.11	1.69	3.37	7.23
Media	568	11.37	0.15	0.35	0.54	1.07	2.30
DesTip	424	8.48	0.11	0.26	0.40	0.80	1.72
V <sub>≥3,2</sub> m <sup>3</sup>						1	77

**Tabla 9. Volumen de residuo en contenedores de vidrio en las nuevas ubicaciones**

	Nº hab/cont	TGD (kg/día)	Vol diario (m <sup>3</sup> )	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=2,3)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=3,5)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=7)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=15)
Min	4	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max	1785	35.70	0.13	0.29	0.44	0.89	1.90

Media	568	11.37	0.04	0.09	0.14	0.28	0.60
DesTip	424	8.48	0.03	0.07	0.11	0.21	0.45
V $\geq$ 3,2 m <sup>3</sup>				0	0	0	0

**Tabla 10. Volumen de residuo en contenedores de papel y cartón en las nuevas ubicaciones**

	Nº hab/cont	TGD (kg/día)	Vol diario (m <sup>3</sup> )	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=2.3)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=3.5)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=7)	Vol sem (m <sup>3</sup> ) (Fr=15)
<b>Min</b>	4	0.15	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03
<b>Max</b>	1785	71.40	0.93	2.13	3.25	6.50	13.92
<b>Media</b>	568	22.74	0.30	0.68	1.03	2.07	4.43
<b>DesTip</b>	424	16.96	0.22	0.51	0.77	1.54	3.31
<b>V<math>\geq</math>3,2 m<sup>3</sup></b>					1	66	152

## 5. Conclusiones

La recogida de RSU representa una parte importante de la gestión de los mismos. En los municipios en los que se realiza una recogida selectiva, se ponen en juego más contenedores y camiones de recogida, lo cual complica la gestión. Por otro lado, para que esta recogida selectiva sea exitosa es importante que los ciudadanos tengan contenedores de las diferentes fracciones accesibles y cercanos a sus viviendas.

La distribución de la población en un entorno urbano y la ubicación de los contenedores son factores determinantes a analizar para garantizar la participación ciudadana en la separación de residuos. La ubicación de los contenedores debe ser cercana a usuarios y además debe respetar el funcionamiento de otras actividades en las calles de una ciudad.

En este trabajo se ha analizado la ubicación de los CP, CV y CE de una ciudad española determinando en primer lugar, la cercanía entre unos contenedores y otros. El estudio constata que la mayor parte de los contenedores de una misma fracción se encuentran separados entre sí entre 50 m y 100 m. En cualquier caso existe una parte de ellos que se encuentran a distancias superiores a 150 m. Concretamente el 11,76% de los CP, el 15,45% de los CV y el 11% de los CE se encuentran en esta situación.

En segundo lugar, se ha analizado la distancia a recorrer por el usuario desde el portal de su vivienda hasta el contenedor más cercano. En este apartado se ha calculado que alrededor de un 70% de la población dispone de un contenedor de cada una de las fracciones a menos de 150 m de su domicilio, con ligeras variaciones entre las tres fracciones estudiadas. Con el fin de incrementar la tasa de recuperación sería necesario reducir la distancia portal-contenedor del restante 30% de la población a 150m.

Partiendo de estos datos y del cálculo de las tasas de generación de cada fracción de RSU se ha analizado la frecuencia de recogida adecuada para cada una de las fracciones.

En el caso de los contenedores de vidrio no se han observado desbordamientos en ningún punto incluso realizando la recogida de esta fracción quincenalmente. En el caso de los envases, se ha determinado con una frecuencia de recogida semanal de los mismos se producirían desbordamientos en al menos 15 contenedores. En el caso del papel y cartón, si la recogida se realiza dos veces por semana, existen 10 puntos en los cuales se producirán desbordamientos. Para paliar las situaciones de desbordamientos de contenedores, se puede aumentar la frecuencia de recogida a dos veces por semana en el caso de los

envases y a tres veces por semana en el del papel y cartón. Otra opción sería reforzar los puntos críticos detectados sobre el mapa con un contenedor adicional.

En este trabajo se ha planteado además una nueva reubicación de los contenedores. Para ello, en primer lugar, se han definido unos posibles puntos idóneos. Con la restricción de elegir aquellos puntos que cubran todas las viviendas y queden a una distancia inferior a 150 m se han elegido 271 puntos. La localización de estos nuevos puntos muestra una mejor distribución de las áreas de aportación en la ciudad ya que la mayor parte se encuentra a una distancia entre ellas de 100 y 200 m. En estos puntos se instalaría un contenedor de cada fracción. Por tanto, en el caso de los CE se deberían instalar 30 contenedores adicionales, en el caso del vidrio, 56 contenedores adicionales y finalmente, 36 contenedores de papel y cartón adicionales. Con esto se lograría que toda la población tuviera cerca de su vivienda un contenedor de cada tipo con lo cual se favorecería la recogida separada.

Con la nueva ubicación de contenedores, se ha determinado también la frecuencia de recogida necesaria para que no haya desbordamiento de contenedores. Se ha establecido que para los CE y CP la frecuencia de recogida sería en este caso de 2 veces por semana y en los CV se podría hacer una recogida quincenal.

Este trabajo presenta una metodología aplicable a cualquier población con el fin de estudiar la idoneidad en cuanto a la ubicación de los contenedores y su redistribución en la ciudad para favorecer la participación de los ciudadanos en el proceso de recogida separada de los residuos.

## 6. Referencias

- Arribas C. A., Blázquez C. A., Lamas A. (2010) Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems. *Waste Management & Research*. 28 355–363.
- Chalkias C., Lasaridi K. (2009). GIS based model for the optimisation of municipal solid waste collection: the case study of Nikea, Athens, Greece. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 5.
- Di Maria F., Micale C. (2013) Impact of source segregation intensity of solid waste on fuel consumption and collection costs. *Waste Management* 33 2170–2176.
- Faccio M., Persona A., Zanin G. (2011) Waste collection multi objective model with real time traceability data. *Waste Management* 31 2391–2405.
- Instituto Geográfico Nacional. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> (2012)
- Jofra M., Citalic A., Calaf M. (2011) Estudio sobre modelos de gestión de residuos en entornos rurales aislados. *ENT Environment and Management*.
- Kao, J., Wen, L., and Liu, K. (2010). Service Distance and Ratio-Based Location-Allocation Models for Siting Recycling Depots. *Journal of Environmental Engineering*. 136 (4) 444–450.
- Gallardo A, Bovea M.D, Colomer F.J., Prades M., Carlos M. (2010) Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Management* 30. 430–2439.
- Mühle S., Balsam I., Cheesemana C.R. (2010). Comparison of carbon emissions associated with municipal solid waste management in Germany and the UK. *Resources, Conservation and Recycling*. 54 793–801.
- Rada E.C., Ragazzi M., Fedrizzi P. (2013). Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste Management* 33, 785–792.