



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# Estudio de los modelos de recogida selectiva de residuos urbanos implantados en ciudades españolas: grado de separación de materiales en origen

Autor: Antonio Gallardo Izquierdo

Institución: Universidad Jaume I

E-mail: [gallardo@emc.uji.es](mailto:gallardo@emc.uji.es)

Otros autores: Maria Dolores Bovea Edo (Universidad Jaume I); Francisco José Colomer Mendoza (Universidad Jaume I); Mar Carlos Alberola (Universidad Jaume I); Miriam Prades Marti(Universidad Jaume I)



## **RESUMEN:**

El objetivo del presente estudio ha sido determinar un conjunto de indicadores con los que evaluar la eficiencia de un sistema de recogida selectiva y evaluar los modelos implantados en ciudades españolas mayores de 50.000 habitantes. En primer lugar se realizó el análisis de los factores que afectan a la generación, la composición, prerrecolecta y recogida de los residuos, y en consecuencia se diseñó un modelo que define el comportamiento del sistema de recogida y un conjunto de indicadores con los que evaluar su funcionamiento. En segundo lugar se diseñó una encuesta, que fue lanzada a las poblaciones elegidas para obtener la información mínima necesaria de modelo de recogida selectiva implantados. Finalmente se procesó la información y se hizo un análisis de los resultados.

La participación ha sido del 28.5% del total de ayuntamientos, superando el mínimo requerido para que el estudio sea significativo. Se ha obtenido la generación por habitante y año de los diferentes tipos de residuos urbanos, así como su composición. Se han podido analizar los diferentes modelos de recogida implantados y hacer una comparación entre ellos. Se han establecido correlaciones entre los factores que afectan al funcionamiento de los modelos, con el objetivo de poder predecir el porcentaje de separación en origen de materiales reciclables.

Respecto a los modelos implantados se ha obtenido que existen cuatro, siendo el más común el que separa los residuos en cuatro fracciones: papel-cartón, vidrio, envases y restos, con depósito a nivel de acera de la fracción resto y en área de aportación los materiales específicos. El grado de separación en origen de cada uno de ellos es diferente, siendo la variable distancia al contenedor la que lo determina.



## 1. INTRODUCCIÓN

La separación de materiales como papel, vidrio, plástico, metal, etc. en el punto de generación es una de las formas más eficaces de recuperación para su posterior valorización mediante reciclado, reutilización o cualquier otro proceso. Por tanto, el principal objetivo de la recogida selectiva es separar la mayor cantidad de materiales con el mayor grado de calidad posible. Para ello, es imprescindible contar dentro del sistema de gestión con un modelo adecuado de separación en origen.

Dentro del sistema integral de gestión de residuos urbanos (RU), la recogida selectiva vendrá definida por la prerrecogida, la recogida y la relación entre ambos elementos funcionales. En los sistemas de gestión donde se da la recogida selectiva, esta relación se hace más fuerte debido a que los nuevos métodos de prerrecogida influyen y modifican tanto los modos de recogida como los instrumentos utilizados. Por tanto, es necesario estudiar profundamente ambos elementos y sus interrelaciones.

La recogida selectiva también pone en común los intereses de generadores y gestores. Los ciudadanos tienen un papel activo en la prerrecogida como procesadores de los materiales en origen. En la recogida actúan como usuarios del servicio y juzgarán su eficacia. Por ello, el factor social será uno de los principales a tener en cuenta en el estudio de sistemas alternativos.

En esta ponencia en primer lugar se define lo que es un el sistema de recogida selectiva, se estudian los elementos que lo integran y las variables que intervienen. Se describen los indicadores desarrollados para medir la eficiencia de los diferentes modelos de recogida, en función del grado de separación en origen y de la calidad de los materiales separados. En segundo lugar se presenta la encuesta lanzada a todas las poblaciones mayores de 50.000 habitantes y los resultados obtenidos de la misma.

## 2. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RECOGIDA SELECTIVA

La Ley 10/98, de Residuos define a la “recogida selectiva” como un sistema de recogida diferenciada de materiales orgánicos y fermentables y de materiales reciclables, o cualquier otro sistema que permita la separación de los materiales valorizables contenidos en los residuos. En la recogida selectiva la etapa de prerrecogida tiene un papel muy importante, cosa que hasta ahora no ocurría. Esto implica que el ciudadano pasa de una situación pasiva a desempeñar, de forma deliberada, un papel activo como procesador de los materiales en origen. Por tanto, en el diseño de un sistema de este tipo habrá que prestar especial atención al factor humano.

Para el cumplimiento de todos los objetivos impuestos por la legislación y administraciones locales han ido surgiendo diferentes alternativas de recogida. En Alemania existe el Sistema Dual (DSD), en el que los residuos de envases son recogidos separadamente por una red dependiente de las empresas vendedoras de productos de consumo. En Holanda es obligatoria la separación de la fracción orgánica. En EE.UU. y Canadá a principios de los años noventa muchas ciudades con zonas residenciales de viviendas unifamiliares empezaron a realizar experiencias piloto de recogida selectiva, con separación en origen de los residuos en dos, tres y cuatro fracciones. A pesar de todos estos intentos, todavía no se ha llegado a la solución más adecuada, de hecho el sistema alemán ha ido varias veces a la bancarrota.

El elevado número de factores que intervienen en el establecimiento de un sistema de recogida selectiva: económicos, sociales, ambientales, legales, etc., hace que no exista



una única solución o alternativa. Este hecho ha dado pie a que se haya empezado a estudiar el comportamiento de los ciudadanos ante los diferentes modelos de recogida: grado de participación, calidad de los residuos recogidos, incentivos económicos, etc. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Debido a la obligatoriedad desde el año 2001 de imponer la recogida selectiva en todas las poblaciones mayores de 5.000 habitantes (Ley 10/98 de Residuos), los ayuntamientos se han apresurando a diseñar nuevos modelos. Pero la implantación de sistemas que no son apropiados a la zona en cuestión y basados en indicadores y experiencias de otros países, puede dar lugar a muchos fracasos, provocando a su vez una repercusión social negativa importante.

Es necesario, por tanto, determinar un conjunto de parámetros aplicable a nuestro país, basados en unos datos e índices obtenidos de las experiencias pasadas y actuales, que ayuden a implantar en las ciudades españolas aquellos modelos de recogida más adecuados a sus características y necesidades. Por otro lado, será necesario determinar unos indicadores de evaluación, mediante los cuales se pueda determinar la adecuación del modelo a las necesidades de la zona donde se quiere implantar.

## **2.1 La importancia del factor social en la recogida selectiva**

La recogida selectiva representa el punto de contacto entre los ciudadanos (generadores) y los gestores. Esta relación necesita ser cuidada para que el sistema funcione. Los generadores necesitan que sus residuos sean recogidos con el mínimo de inconvenientes, mientras que los gestores necesitan que les entreguen los residuos de forma compatible con los tratamientos que utilizan. Por tanto, el modelo de recogida debe establecer un equilibrio que satisfaga ambas partes [7, 5, 6, 8, 9].

El éxito de un programa de recogida selectiva recae en su mayor parte en la participación del público, el cual determina el tipo y la cantidad de materiales a recoger. Diferentes autores han realizado estudios basados en encuestas a los ciudadanos, sobre la posibilidad de participación ciudadana ante un programa de recogida selectiva [3, 4, 5, 6, 10]. El resultado obtenido es que la actitud de la gente es positiva, opinando que es importante reciclar para contribuir al mantenimiento del medioambiente. Para lograr la participación ciudadana se debe convencer al ciudadano de la necesidad de su servicio y de su correspondiente papel en el “juego”, siendo de vital importancia instalar contenedores a una distancia tal, que no les suponga excesivo esfuerzo [7]. Existen dos opciones para conseguir que el ciudadano cumpla su papel [11, 12]:

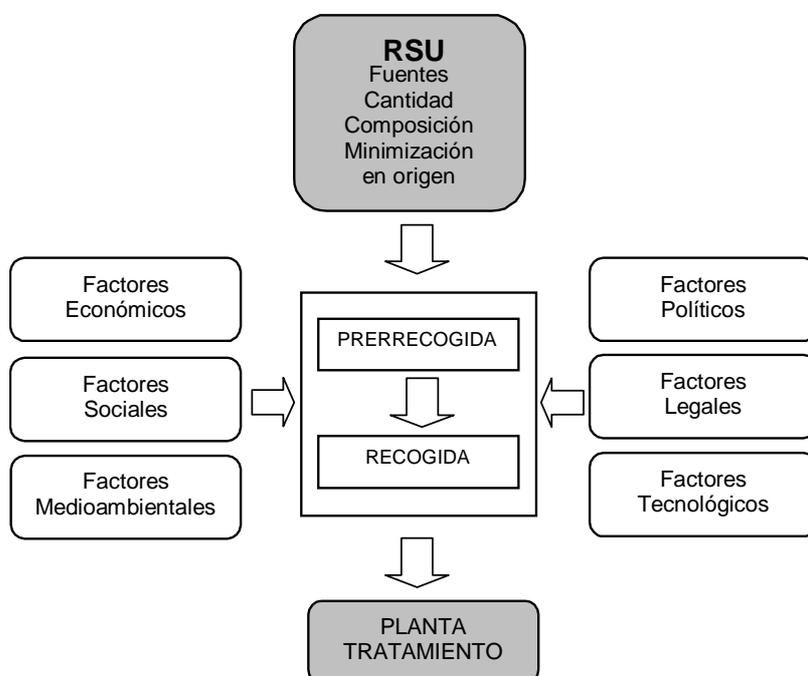
- La imposición por ley de la participación en un programa aceptable económica y ecológicamente. Esta opción posiblemente tenga poco éxito en un principio.
- La adición de los factores sociales al ecológico y económico de la recogida selectiva. Esto significa estudiar bajo qué circunstancias, qué cosas son aceptables o no por la sociedad.

Otra forma de aumentar el grado de participación es incentivar la separación a través de medidas tales como proporcionar subsidios por envases retornables, estimular el interés público por consumir menos productos empaquetados, rebajar las tasas que se pagan por la recogida, invertir en campañas publicitarias [9] o incentivar la participación mediante la implantación de beneficios fiscales [8]. Gilhreiner [11] presenta los resultados de una encuesta hecha en Viena en la que los “sistemas de recompensa” son claramente preferidos por los consumidores frente a los “sistemas castigadores” como las ecotasas o tasas al embalaje.

## 2.2 El sistema de recogida selectiva

La recogida selectiva forma parte integral del sistema de gestión de RU, pero se puede estudiar como un subsistema independiente formado por las etapas de la prerrecogida y la recogida (figura 1). En él se procesan y recogen los residuos que constituyen la principal entrada al subsistema. La salida la forman diversas corrientes de materiales seleccionados, que van a parar a la siguiente etapa de gestión donde se le aplicarán diversos métodos de valorización.

La recogida selectiva está condicionada por los factores del entorno que influirán en la elección de las diferentes alternativas que se puedan dar en los dos elementos del sistema. Para estudiar las interacciones entre el sistema y su entorno será imprescindible definir los límites del sistema.



**Figura 1.** Esquema de la recogida selectiva



Centrados sólo en la recogida selectiva, ésta constituye un sistema y los factores del entorno que le afectan se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Económicos: minimización de los costes de la recogida, recuperación de materiales con alto valor económico, la demanda de subproductos, los precios de la electricidad y otros combustibles, la disponibilidad de nuevos sitios para vertederos, etc.
- Medioambientales: minimización de residuos, restricciones en las emisiones a la atmósfera, agua y tierra, etc.
- Sociales: demanda de la implantación de un programa de recogida selectiva por parte de la sociedad.
- Políticos: programas políticos a desarrollar en materia de residuos.
- Legales: cumplimiento de las restricciones impuestas por las leyes, normativas, objetivos de futuras normativas, etc.
- Tecnológicas: costes y propiedades de las nuevas tecnologías.

Desde el punto de vista del éxito en la separación adecuada de los materiales en origen, el diseño de la prerrecogida es fundamental. Por ello en este trabajo se estudia en profundidad su funcionamiento, mientras que de la recogida sólo se analizarán aquellos aspectos que afecten a la prerrecogida, y no se entrará en el detalle del diseño y optimización de rutas, equipamiento, tecnología, etc.

### **2.3 La prerrecogida**

La Prerrecogida comprende las actividades de manipulación, procesado y almacenamiento de los RU hasta que son depositados en los puntos de recogida. Una vez depositados y almacenados en diferentes tipos de contenedores, los residuos serán recogidos por los servicios de recogida y llevados a la siguiente instalación del sistema de gestión. La prerrecogida tiene un efecto destacado sobre la salud pública y la actitud de los ciudadanos acerca de los residuos y su gestión, por lo que es importante que se presenten en las condiciones higiénicas, lugares y horarios más idóneos. También influye significativamente en la calidad de los materiales recuperados, cuestión a tener en cuenta a la hora de obtener subproductos que puedan ser comercializados y aprovechables.

La mayoría de los métodos de valorización, como el reciclado o la incineración, requieren la separación en origen de los residuos en diferentes fracciones para alcanzar los mínimos de calidad y rentabilidad exigidos en dichos procesos. Por ello existe un amplio abanico de fraccionamiento en origen, pudiendo ir desde el grado cero, es decir, una recogida en masa o “todo uno” hasta un alto grado de separación específica por materiales. Las separaciones en origen más extendidas son las indicadas en la Figura 2 [4].

<b>Sin fraccionar</b>	<b>Totales</b> 		
<b>Dos fracciones:</b> Materia fermentable y Resto	<b>Fermentables</b> 	<b>Resto</b> 	
<b>Tres fracciones:</b> Materia fermentable, Materiales ligeros, Resto	<b>Fermentables</b> 	<b>Resto</b> 	<b>Ligeros</b> 
<b>Separación específica:</b> Materiales específicos y Resto	<b>Resto</b> 	<b>Específicos</b> 	

**Figura 2.** Tipos de fraccionamiento en origen

En menor medida también se dan otros tipos de separación en origen en función de los intereses o necesidades particulares de los ayuntamientos.

Una vez separados los residuos en origen, la cuestión es qué hacer con ellos hasta que son recogidos. Normalmente se almacenan en casa o en puntos de recogida situados en la calle.

En función de la distancia a recorrer por el ciudadano hasta el punto de depósito y recogida de los residuos, se pueden distinguir varios niveles de almacenamiento. En la literatura anglosajona se distinguen dos niveles claramente diferentes: el *Bring* y el *Kerbside*. En los sistemas de recogida *Bring*, los usuarios tienen que recorrer un trayecto hasta depositar sus residuos en puntos comunes de almacenamiento, que pueden ser grandes contenedores o instalaciones de recogida. En los sistemas de recogida *Kerbside* los usuarios depositan sus residuos en una bolsa o cubo de basura a pie de casa, los días que toca recogida. Entre estos dos polos existe una amplia gama de métodos. Los más utilizados se dividen en los siguientes niveles (Figura 3):

- *Sistema Puerta a puerta (pap) (kerbside system)*. Los cubos o contenedores están situados en cada puerta, patio interior u otra zona accesible de la vivienda o edificio. El ciudadano deposita allí los residuos a unas determinadas horas del día. La distancia que hay que recorrer hasta depositar los residuos es mínima.
- *Sistema en Acera (street site containers)*. Los puntos de depósito ya no están ubicados puerta a puerta, sino cada 50-60 m. Las distancias a recorrer por los ciudadanos no son muy elevadas y la aceptación es buena. Se aplica en ciudades con alta densidad de población. En estos puntos se sitúan grandes contenedores de volumen entre 0,8 y 3,2 m<sup>3</sup>. La recogida es más ágil y rápida. Los costes también se reducen considerablemente. Se usa tanto para la recogida en masa como selectiva. El principal problema es la cantidad de contenedores diferentes que se han de poner en los puntos de recogida. Este modelo está ampliamente extendido en España e Italia. Una variante al sistema lo constituye el caso de la ciudad de Lemsterland (Holanda), de casas unifamiliares, allí cada propietario traslada su contenedor a un

punto situado a una distancia máxima de 50 metros, donde se reúnen hasta doce contenedores para ser recogidos [14].

- **Sistema de Áreas de Aportación (AA) (Dropoff sites).** Con el fin de abaratar la gestión, los puntos de recogida se sitúan a distancias mayores. Las áreas pueden tener un radio de acción entre 100 y 400 m. El sistema se apoya en la disposición del ciudadano a recorrer mayores distancias a pie. Se aplica en ciudades con alta densidad de población. Se utilizan para la recogida selectiva de materiales de alto valor económico y que se generen en pequeñas cantidades, de forma que el ciudadano no tenga que desplazarse diariamente a esos puntos. Este sistema está muy extendido en toda Europa y en ellos se recoge principalmente vidrio, papel-cartón y envases. También se sitúan en zonas de baja densidad de población en sus áreas comerciales, en este último caso la literatura anglosajona llama a las Áreas de Aportación “*material bank*”.
- **Depósito a nivel de Instalación.** Los puntos de depósito se sitúan en instalaciones alejadas de la zona residencial. A estas instalaciones en España se les llama “Puntos limpios”, “Ecoparques”, “Desecherías” o “Centros de Recuperación y Reciclaje” (*Civit Amenity Site* en el Reino Unido, *Déchétteries* en Francia y *Recyclinghof* en Alemania). Están preparadas para recoger selectivamente todo tipo de residuos, especialmente aquellos que no se recogen a otros niveles.
- **Depósito a nivel de establecimiento.** Existen establecimientos que colaboran en la recogida selectiva de algunos residuos, especialmente los peligrosos como pilas, fluorescentes o medicamentos. En general, se busca que aquellos establecimientos que comercialicen estos productos sean los que también los recojan cuando éstos finalmente se conviertan en un residuo.

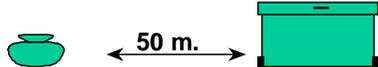
<b>Nivel puerta a puerta</b> mínima distancia al punto de depósito	
<b>Nivel acera</b> distancia menor de 50 metros al punto de depósito	
<b>Nivel área aportación</b> distancia menor de 250 metros al punto de depósito	
<b>Nivel establecimiento</b> punto depósito en establecimientos comerciales	
<b>Nivel instalación</b> punto de depósito alejado	

Figura 3. Niveles de depósito

## 2.4 Alternativas de prerrecogida.

Combinando los distintos tipos de separación en origen con los diferentes niveles de depósito se puede obtener un amplio espectro de modelos de prerrecogida [15]. En un extremo se encontraría la prerrecogida en masa o “todo uno” y nivel de “puerta a



puerta”, que es la alternativa más cómoda desde el punto de vista del ciudadano. La labor de separación y recuperación corresponde al agente gestor, siendo más costosa y con un grado muy bajo de recuperación de materiales. En el otro extremo estaría la recogida con un fraccionamiento específico (papel, vidrio, envases, pilas, etc.) a nivel de instalación y establecimiento. En este caso, la labor de separación corresponde en mayor grado a los ciudadanos, obteniéndose unos materiales de elevada calidad, con un mayor valor añadido.

Entre todas las posibilidades de prerrecojida, a continuación se exponen las que son más comunes en ciudades europeas y americanas:

- Separación en dos fracciones y depósito en acera o puerta a puerta. Se dan tres posibilidades en la separación: MO y Resto; Masa y Reciclables, e Inertes y Combustibles.
- Separación en tres fracciones (Masa, Papel-cartón y Vidrio) y depósito en acera o puerta a puerta de Masa y en AA de los materiales específicos.
- Separación en cuatro fracciones (Masa, Papel-cartón, Vidrio y Envases) y depósito en acera o puerta a puerta de Masa y en AA de los materiales específicos.
- Separación en cuatro fracciones: dos fracciones como en el caso anterior y Papel-cartón y Vidrio. Depósito en acera o puerta a puerta de las dos primeras y en AA de materiales los específicos.
- Separación en cinco fracciones (MO, Envases, Resto, Papel-cartón y Vidrio) y depósito en acera o puerta a puerta de MO y Resto, y en AA de Envases, Papel-cartón y Vidrio.

Para la recogida de residuos especiales (aquellos que se generan en pequeñas cantidades, de forma temporal, de elevado volumen, etc.) existe una recogida selectiva complementaria, cuya prerrecojida se realiza en establecimientos, instalaciones o puerta a puerta.

### 3. DEFINICIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA EN LA PRERRECOJIDA

Para determinar el grado de eficiencia de la prerrecojida es necesario definir unos indicadores. Dicha eficiencia se ha definido en función del grado de recuperación de materiales limpios en origen, depositados en contenedor, que a su vez vendrá expresada en función de un conjunto de indicadores.

En primer lugar interesa conocer el porcentaje en peso de cada una de las corrientes de residuos. Por tanto se define el Grado de Fraccionamiento:

- Grado de Fraccionamiento (GF): relación entre la cantidad, en peso, de material separado en bruto en relación al total de RU. Este índice sirve para dimensionar los diferentes flujos de recogida.

$$GF = \frac{\text{Peso de material reciclable bruto recogido en el contenedor}}{\text{Peso total de los RU}}$$

Si se quiere referir la cantidad de material bruto desviado en una fracción, a la cantidad de ese material en los RU, se define el Grado de Separación:



- Grado de Separación (GS): relación entre la cantidad, en peso, de material separado en bruto en relación a la cantidad total del material en los RU.

$$GS = \frac{\text{Peso de material reciclable bruto recogido en el contenedor}}{\text{Peso del material en los RU}}$$

Por ejemplo, para conocer el GS del papel-cartón en el contenedor de papel, habría que dividir la cantidad del papel separado por el papel que hay en los residuos.

La separación será óptima cuando en cada fracción aparezca todo el material deseado y limpio de contaminantes, por tanto, el siguiente índice a conocer es el Grado de Calidad de cada corriente:

- Grado de Calidad de depósito (GC): relación entre la cantidad, en peso, de materiales reciclables netos depositados en un contenedor y la cantidad bruta depositada en los mismos.

$$GC = \frac{\text{Peso de reciclables limpios recogidos en el contenedor}}{\text{Peso total de materiales depositados en el contenedor}}$$

A partir del GS y el GC se obtiene el Grado de Recuperación de cualquiera de los materiales deseados en cada fracción, que se define como:

- Grado de Recuperación (GR): relación entre la cantidad, en peso, de los materiales netos separados en una corriente y la cantidad total de esos materiales en los RU. Este índice estará en función del grado de separación y de calidad en el sistema de recogida elegido.

$$GR = \frac{\text{Peso total de reciclables limpios}}{\text{Peso total de reciclables en los RU}}$$

Al GR también se le llama Índice de Captura [16][17], o Ratio de Participación Efectiva [18]. Un buen sistema sería aquel que tuviese una alta recuperación con una alta calidad en los materiales. Estos indicadores son un instrumento necesario para evaluar la eficiencia de las infraestructuras del modelo de recogida selectiva implantado. Permiten obtener información directa sobre las cantidades totales y por productos que se obtienen en cada modalidad, frente a la cantidad potencial de materiales reciclables presentes en los RU. También permiten conocer la cantidad de contaminantes que llevan los contenedores.

#### 4. ENCUESTAS

Puesto que los datos que se desean obtener son cuantitativos y objetivamente mensurables, se ha planteado una investigación cuantitativa. Este tipo de investigación tiene la propiedad de que la muestra utilizada en la recogida de información es representativa de la población objeto de estudio, por lo que los resultados derivados se pueden extrapolar a nivel estadístico al universo de estudio, considerando un determinado margen de error y confianza estadística [19]. Para ello, primeramente es necesario determinar de forma adecuada el procedimiento a seguir en la obtención de la muestra.



En este estudio, como el universo es pequeño no se ha tomado una muestra, sino todo el universo, en espera de que no se obtenga respuesta afirmativa de todos los casos. En cuanto a la técnica cuantitativa utilizada para obtener la información, existe un gran número de ellas. Cada una posee unas ventajas y unos inconvenientes relativos fundamentalmente al tipo, periodicidad y cantidad de información necesaria, y a la accesibilidad de la muestra, tiempo y presupuesto necesario para el experimento [19].

Se ha optado por realizar una encuesta Ad-hoc, es decir, aquella que se utiliza para alcanzar unos objetivos específicos, en este caso obtener una información cuantitativa, preguntando a aquellas personas que pueden ofrecer tal información. Las encuestas que utilizan esta técnica son: la encuesta personal, la postal o la telefónica. Por razones económicas se ha optado por hacer una encuesta postal. A partir de los aspectos propuestos en el punto anterior se ha diseñado un cuestionario estructurado, es decir, se pregunta a cada ayuntamiento el mismo número y preguntas bajo un orden prefijado. Uno de los principios básicos en la elaboración de cuestionarios es que sean cortos y concretos [19], por lo que se ha propuesto un cuestionario con el mínimo número de preguntas imprescindibles para el estudio.

La encuesta piloto se mandó a varios ayuntamientos. Tras su estudio se hicieron algunos cambios y una vez subsanados los fallos se redactó la encuesta definitiva. Se escribió una carta de presentación junto a la encuesta y se mandaron por correo a todos los ayuntamientos españoles mayores de 50.000 habitantes, un total de 137.

Los aspectos sobre los que pidió información fueron los siguientes:

- Generación y composición de los residuos.
- Recogida en masa con áreas de aportación.
- Recogida selectiva de papel-cartón, vidrio, envases en áreas de aportación (AA).
- Recogida en acera con separación en dos fracciones sin AA.
- Recogida selectiva papel-cartón y vidrio en comercios.
- Recogida de pilas y otros residuos.
- Recogida en instalaciones (ecoparque o puntos limpios).
- Recogida de voluminosos.

## 5. RESULTADOS DE PARTICIPACIÓN

La respuesta a las encuestas fue positiva, de las 137 mandadas se han recibido 39, el 28,5% de las enviadas. A partir de otras fuentes fiables (publicaciones en revistas, informes oficiales, etc.) se ha obtenido información de 6 poblaciones más. En total se han estudiado 45 casos, el 32,8%, que suman una población de 8,5 millones de habitantes. Es un porcentaje muy alto teniendo en cuenta la naturaleza del tema objeto de estudio. Everett realizó varias encuestas por correo para conocer la tasa de recogida selectiva de varios materiales y de un total de 1.200 contestaron el 51'1% [20].

La muestra obtenida es significativa, ya que el número de casos mínimo necesario para un error de muestreo dado y un coeficiente de confianza del 95% es de 34 ciudades. Para su cálculo se han utilizado la siguientes ecuación [22]:

$$n = \frac{n_{\infty}}{1 + \frac{n_{\infty}}{N}} \quad (1)$$

donde  $n_{\infty} = \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot S^2}{\varepsilon^2}$  y  $\varepsilon = \frac{z_{\alpha/2} \cdot S}{\sqrt{M}}$ .

donde  $z_{\alpha/2}^2$  es el cuantil de la distribución normal tipificada con una significación del 95%, es decir,  $\alpha=0.05$ , cuyo valor es 1.96;  $N$  es el tamaño de la población;  $S^2$  es el valor de la varianza poblacional respecto a la TGD<sub>ru</sub>, cuyo valor es 0.606;  $M$  es el tamaño de nuestra muestra.

Finalmente, decir que se dispone de datos del País Vasco, Navarra, Galicia, Asturias, Murcia, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Comunidad de Madrid, Cataluña, Comunidad Valenciana y Andalucía.

## 6. DATOS DE GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos sobre generación de residuos. Se dispone de datos de residuos urbanos sin voluminosos (RUsv), residuos voluminosos (RV), resto (RUsv excepto el papel-cartón, vidrio, envases y pilas), papel-cartón, vidrio, envases (metal, brick y plástico), pilas y otros (no se especifica su naturaleza). Los residuos urbanos (RU) son la suma de todas las fracciones. Se han obtenido datos de 45 ciudades, aunque no todas han proporcionado todos los datos necesarios para calcular el total de residuos urbanos.

En la tabla 2 se presentan los datos de composición de los residuos urbanos descontando los voluminosos. Sólo se han obtenido datos completos de cuatro ciudades.

## 7. MODELOS DE PRERRECOGIDA

Tras el procesado de los resultados se ha obtenido que los modelos implantados de recogida selectiva son cuatro, con las siguientes características:

- MODELO 1: separación en cuatro fracciones: papel-cartón, vidrio, envases ligeros y restos. Depósito a nivel de acera de restos y en área de aportación los materiales específicos (papel-cartón, vidrio, envases ligeros).
- MODELO 2: separación en cuatro fracciones: papel-cartón, vidrio, envases y restos. Depósito a nivel de acera de restos y envases y en área de aportación papel-cartón y vidrio.
- MODELO 3: separación en cuatro fracciones: papel-cartón, vidrio, materia orgánica y restos. Depósito a nivel de acera de restos y materia orgánica y en área de aportación papel-cartón y vidrio.
- MODELO 4: separación en cinco fracciones: papel-cartón, vidrio, envases, materia orgánica y restos. Depósito a nivel de acera de restos y materia orgánica y en área de aportación papel-cartón, vidrio y envases.



En la tabla 3 aparecen las ciudades que adoptan cada uno de los modelos. Las que no aparecen en la tabla es porque no se han podido clasificar, debido a que no han aportado datos suficientes.

Además, 34 ciudades tienen implantado un sistema de recogida puerta a puerta de papel-cartón en instituciones y comercios y sólo 9 disponen de un sistema análogo para el vidrio. También en la totalidad se recogen separadamente las pilas, y en la mayoría otros residuos como textil, medicamentos, etc.

Respecto a la existencia de instalaciones de recogida, de las 45 ciudades 32 de ellas tienen al menos un Ecoparque o Punto Limpio, donde sus ciudadanos depositan los residuos que por su volumen o composición no pueden ser recogidos a nivel de calle.

**Tabla 1.** Datos sobre recogida extraídos de las encuestas (en toneladas por año. Año 2006).

Población	RU	RUsv	RV	M.O.	Resto	Papel-cartón	Vidrio	Envases	Pilas	Otros
Valladolid	543.620	112.583	6.037	30.115	67.721	9.926	4.796		25	425.000
Albacete	83.107	82.096	1.010		73.474	4.900	1.905	1.804	13	
Alcoy	21.027	18.669	1.541		14.144	2.728	800	997		817
Lorca		37.857	436		35.599	1.536	718		3	1.102
Dos Hermanas	80.818	55.578	25.240		51.449	2.240	1.122	751	16	
Hospitalet	105.917	98.827	7.090	14.650	72.587	6.160	3.235	2.189	6	
San Fernando	50.657	46.423			41.870	2.233	614	1.706		4.234
Avilés		3.071				1.690		1.376	5	
Motril	40.760	32.608	5.761		29.207	2.390	534	474	3	2.391
Gijón	159.043	124.654	21.344		107.371	10.842	3.948	2.492		13.045
Irún	41.408	34.036	7.372		26.454	4.459	2.175	944	5	
Barakaldo	162.611	36.500	852		31.013	2.978	1.759	746	5	125.259
San Sebastián	87.519	76.981			60.117	8.594	5.961	2.279	30	10.538
Talavera	38.797	37.833	913		34.026	2.856	570	376	4	51
Alcobendas	58.251	53.805	4.446		47.292	2.880	1.910	1.710	13	
Ciudad Real		35.250			30.091	3.323	1.016	814	6	
Puertollano		2.105				1.693	31	378	3	
Alcalá de H	80.209	73.551	6.639		62.660	3.841	2.702	4.347		20
Mollet	21.580	15.352	3.795	1.895	10.966	1.456	588	444	4	2.433
Badalona	112.901	90.653	16.805	750	80.511	5.947	2.089	1.345	11	5.443
Sabadell	104.574	98.637	5.693	5.742	75.466	10.660	3.075	3.694		243
Tarragona	74.168	69.037	5.131	1.257	60.840	4.038	1.781	1.117	5	
Sevilla	393.315	340.514	11.415		312.219	15.619	6.435	6.185	56	41.386
Córdoba	154.148	140.088	14.060	78.690	48.049	10.924	2.404		21	
Marbella		109.028			103.181	2.539	2.265	1.043		
Coslada					24.311	3.179		350		

**Tabla 1.** Datos sobre recogida extraídos de las encuestas (en toneladas por año. Año 2006)  
(continuación)

Población	RU	RUsv	RV	M.O.	Resto	Papel-cartón	Vidrio	Envases	Pilas	Otros
Pozuelo	38.541	30.541	8.000		27.410	2.286	720	125		
Pamplona	189.704	142.072	5.513		105.685	2.374	6.930	8.034	49	42.119
Santiago	56.832	51.027	5.805		45.894	2.924	1.271	937	1	
Getafe	71.455	68.753	2.702		60.436	3.872	2.533	1.907	6	
Lleida	65.743	63.968	1.380	4.358	48.198	7.879	2.047	1.480	7	395
Castellón	93.095	81.487	4.687		75.671	3.908	1.113	795		6.920
Vilanova i la G	42.933	34.175	4.809	3.050	25.158	3.550	1.686	725	5	3.949
Cerdanyola	28.422	26.858	1.564	2.534	21.376	1.724	825	399		
Cornellà	37.138	32.320	4.708	487	28.556	1.684	892	699	2	110
El Prat	31.016	27.189	3.827	3.295	21.178	1.450	685	581		
San Boí	40.383	35.137	5.246	1.702	3.503	1.557	796	579		
Sant Cugat	43.742	42.282	1.222	2.370	36.537	2.287	980	98	10	238
Santa Coloma	49.482	44.415	4838	1128	39434	2204	1086	557	6	229
Viladecans	32.279	28.258	3903	2367	23217	1381	697	596		118
Valencia		407.756			377346	15559	9191	5660		
Ferrol	33.184	32.680	505		29831	1464	671	707	6	
Burgos						6531	3409	2236	13	3469
Barcelona	838.601	742.285	49195	74109	572872	55916	25401	13988		47120
Benalmádena	46.359	44.765	1594		41873	1239	1231	422		

**Tabla 2.** Datos de composición (% sobre peso húmedo) de los residuos urbanos (año 2006).

Tipo RU \ ciudades	Motril	Irún	Sevilla	Santiago
MO	65,6	45,01	40,38	42
Papel-cartón	7,4	30,58	21,11	21
Vidrio	10,1	12,26	6,39	9
Brik			0,82	17
Plásticos	8,4		13,63	
Chararra férrea	2		2,15	1
Chatarra no férrea				0,78
Textil	2,6	5,14	2,63	4
Tierras	0,4		4,87	
Madera		3,36	2,15	1
Pilas		0,04	0,05	
Otros	1,8		5,03	2

\*MO (materia orgánica): formada por restos de comida y jardinería.

**Tabla 3.** Distribución de ciudades por modelos de recogida selectiva.

Modelo	N	Ciudades
1	25	Albacete, Alcoy, Dos Hermanas, San Fernando, Motril, Gijón, Irún, San Sebastián, Talavera, Alcobendas, Ciudad Real, Puertollano, Sevilla, Marbella, Santiago, Getafe, Castellón, Valencia, Ferrol, Burgos, Benalmádena, Avilés, Lorca, Barakaldo
2	4	Coslada, Pozuelo, Pamplona, Alcalá de Henares
3	2	Córdoba, Valladolid
4	14	Hospitalet, Mollet del V., Badalona, Tarragona, Lleida, Vilanova i la Geltrú, Cerdanyola, Cornellà, El Prat, Sant Cugat, Santa Coloma, Viladecans, Barcelona, Sant Boí, Sabadell

## 8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 8.1 Coeficientes de generación

Para estudiar la variación de la generación entre las distintas ciudades se han definido los siguientes indicadores:

- Tasa generación diaria de residuos urbanos (TGD<sub>ru</sub>): RU generados por habitante y día (kg/h-d).
- Tasa generación diaria de residuos urbanos sin voluminosos (TGD<sub>rusv</sub>): RUsv generados por habitante y día (kg/h-d).
- Tasa generación diaria de residuos voluminosos (TGD<sub>rv</sub>): RV generados por habitante y día (kg/h-d).

Las medias calculadas a partir de los datos obtenidos se presentan en la tabla 4, donde N es el número de casos.

**Tabla 4.** Tasas de generación medias, en kg/h-d

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
TGD <sub>ru</sub>	35	0,91	2,31	1,43	0,27
TGD <sub>rusv</sub>	35	0,80	2,23	1,26	0,25
TGD <sub>rv</sub>	35	0,01	0,58	0,17	0,13

Con la finalidad de saber si existe alguna correlación entre la TGD<sub>rusv</sub> y la variable “tamaño de población” se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, que demostró que no había correlación alguna (sig 0,92>0,05).

Para comprobar si existe alguna diferencia de generación en función de la zona geográfica y climatológica, se ha dividido el territorio en cuatro regiones denominadas: Norte, Centro, Sur y Levante (Tabla 5). Se ha realizado la prueba *T* para dos muestras independientes y no se han encontrado diferencias significativas entre los pares: Norte-

Centro (sig 0,59), Levante-Centro (sig 0,503) y Norte-Levante (sig 0,788). Mientras que sí que se han encontrado diferencias significativas entre los pares Centro-Sur (sig 0,02), Norte-Sur (sig 0,041) y Levante-Sur (sig 0,038). Las ciudades de la región Sur tienen una TGDru de 1,75 kg/hab.día, mientras que las restantes del 1,38 kg/hab.día. La explicación a este hecho podría ser que la muestra del Sur es muy pequeña y además coincide con que todas las ciudades son turísticas. No obstante también cabe la posibilidad de que efectivamente exista una diferencia.

**Tabla 5.** División de España en zonas geográficas

Nombre	Región	N	Ciudades
1	Centro	11	Talavera de la Reina, Alcobendas, Ciudad Real, Albacete, Coslada, Pozuelo, Getafe ,Puertollano, Alcalá de H., Valladolid, Burgos
2	Sur	7	Sevilla, Córdoba, Marbella, Dos Hermanas, San Fernando, Motril, Benalmádena
3	Norte	8	Irún, Barakaldo, Donosita-San Sebastián, Gijón, Pamplona, Avilés, Santiago de Compostela, Ferrol
4	Levante	19	Mollet del Vallés, Badalona, Tarragona, Sabadell, Valencia, Alcoy, Lorca, Lleida, Castellón, Vilanova i la Geltrú, Cerdanyola del V., Cornellà de Ll., El Prat de Ll., Hospitalet, Sant Boí de Ll., S. Cugat del Vallés, S.Coloma de G., Viladecans, Barcelona

## 8.2 Coeficientes de composición

La composición de los RS, al igual que la generación, viene en función de un conjunto de variables (tamaño de población, zona climatológica, nivel de renta, etc.). En el presente estudio el número de datos obtenidos ha sido tan bajo que se hace difícil incluso determinar las medias, por lo que no se ha analizado este aspecto. En la tabla 2 se presentan los datos recopilados.

Comparando los valores actuales de las cuatro ciudades con los obtenidos en el año 2000 [4], se puede comprobar que no hay diferencias significativas. Por tanto para los cálculos posteriores se utilizarán los datos de composición del año 2000 [4].

## 8.3 Análisis del Modelo 1

Para el análisis del Modelo 1 se dispone de 20 casos. El Grado de Fraccionamiento medio de los residuos hallado para este modelo se presenta en la tabla 6. En ella se proporcionan los porcentajes depositados en cada nivel (acera y área de aportación) y los porcentajes en contenedor de los materiales allí depositados.

**Tabla 6.** Grado de fraccionamiento en el Modelo 1

ÁREAS DE APORTACIÓN (10,02%)	Contenedor de envases (1,85%)	(0,94%) PLÁSTICOS
		(0,24%) METALES
		(0,21%) BRIK
		(0,46%) IMPROPIOS
	Contenedor de papel-cartón (5,51%)	
	Contenedor de vidrio (2,66%)	
ACERA (89,98%)	RESTO (89,98%)	(41,74%) M.O.
		(14,03%) PAPEL-CARTÓN
		(4,24%) VIDRIO
		(9,4%) PLÁSTICO
		(3,52%) METAL
		(1,16%) BRIK
		(3,67%) TEXTIL
		(1,1%) MADERA
		(0,95%) GOMA
		(6,14%) TIERRAS
	(4,03%) OTROS	

En la tabla 7 se proporciona la siguiente información:

- Tasa de generación anual de papel-cartón (TGA<sub>p</sub>), de vidrio (TGA<sub>v</sub>), de envases (TGA<sub>env</sub>), expresadas en kg habitante y año (kg/h·a).
- Grado de Separación de papel-cartón (GSp), de vidrio (GS<sub>v</sub>), de envases (GS<sub>env</sub>), expresadas en tanto por ciento en peso.

Para determinar los GS han sido necesarias las composiciones de los RU de todas las ciudades, como no se disponía de ellas se han utilizado las obtenidas en el año 2000 para las mismas ciudades [4].

Respecto al Grado de Calidad, de los contenedores de papel-cartón y vidrio no se ha obtenido información, pero presentan un valor del 99,5% [21]. Sin embargo, para los contenedores de envases se disponía de datos de 9 ciudades. Los valores medios obtenidos se exponen en la tabla 8.

**Tabla 7.** Grado de Separación en el Modelo 1.

Población	TGA <sub>p</sub> (kg/h-a)	TGA <sub>v</sub> (kg/h-a)	TGA <sub>env</sub> (kg/h-a)	GS <sub>p</sub> (%)	GS <sub>v</sub> (%)	GS <sub>env</sub> (%)
Albacete	95,91	33,81	76,53	19,68	34,19	14,31
Alcoy	56,50	19,81	45,09	56,88	63,52	34,75
San Fernando	94,04	32,98	75,04	18,40	19,58	23,93
Dos Hermanas	91,00	31,91	72,61	14,47	29,91	8,80
Motril	112,10	39,31	89,45	25,57	24,27	9,46
Gijón	86,55	30,35	69,06	39,66	46,92	13,02
Irún	85,83	30,10	68,49	48,28	94,68	18,05
Barakaldo	71,55	25,09	57,09	42,38	71,38	13,30
San Sebastián	115,49	35,44	66,11	31,42	91,74	18,81
Talavera	85,13	29,85	67,93	37,93	22,33	6,47
Alcobendas	94,84	33,25	75,67	26,21	52,59	20,69
Ciudad Real	86,42	28,12	97,68	53,80	50,57	11,66
Sevilla	93,76	32,88	74,81	22,95	28,00	11,83
Marbella	167,21	58,63	133,42	12,10	30,78	6,23
Santiago	104,69	36,71	83,53	29,76	36,9	11,95
Getafe	78,79	27,63	62,87	26,77	54,57	18,05
Castellón	91,14	31,96	72,72	21,72	20,24	6,35
Valencia	99,14	46,36	68,99	19,44	24,55	10,16
Benalmádena	156,68	54,94	125,02	14,38	40,74	6,14
Ferrol	83,68	29,34	66,77	23,27	30,42	14,08

**Tabla 8.** Composición del contenedor de envases en el Modelo 1.

Composición (%)	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Plástico	41,00	62,00	51,00	6,53
Metal	8,00	16,00	12,88	3,10
Brik	8,00	16,00	11,44	3,04
Impropios	11,00	33,00	24,66	7,07



### **Análisis del Grado de Separación.**

Se han analizado los datos sobre recogida de vidrio, papel-cartón y envases en las áreas de aportación con el objetivo de establecer un modelo de regresión lineal múltiple, por el que se obtenga el Grado de Separación (GS) de un material en función de un conjunto de variables independientes entre sí.

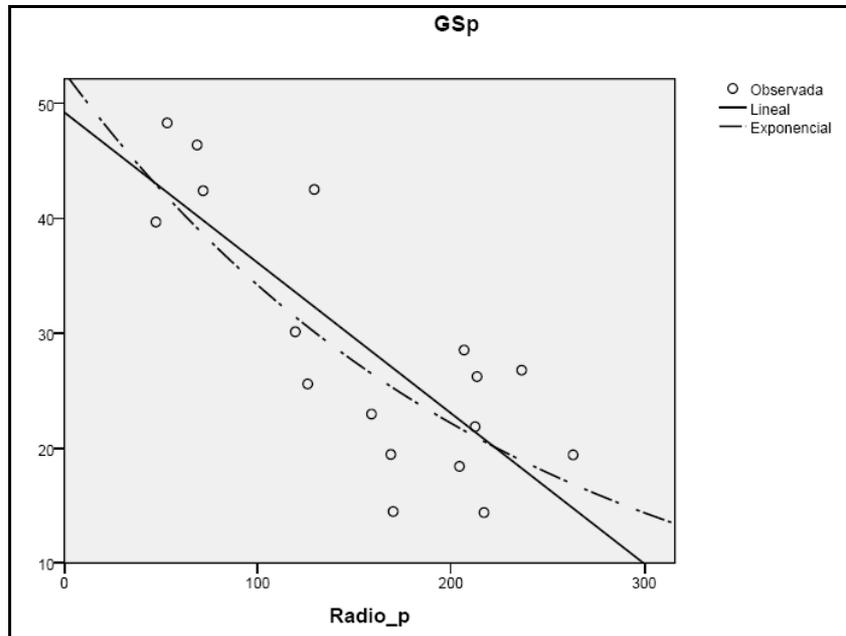
En primer lugar hay que definir las variables que van a determinar el GS de los materiales. Tras un análisis profundo de las posibles variables independientes que pueden afectar al GS, se ha llegado a la siguiente lista:

- Radio de acción del AA (Radio), en metros.
- Tasa de Generación Anual de RU ( $TGA_{ru}$ ), en kilogramos habitante año.
- Porcentaje del material  $i$  en los RU ( $P_i$ ), en tanto por ciento.
- Tamaño de la Población (Poblacio), en habitantes.
- Densidad de población (Densipo), en habitantes por hectárea.

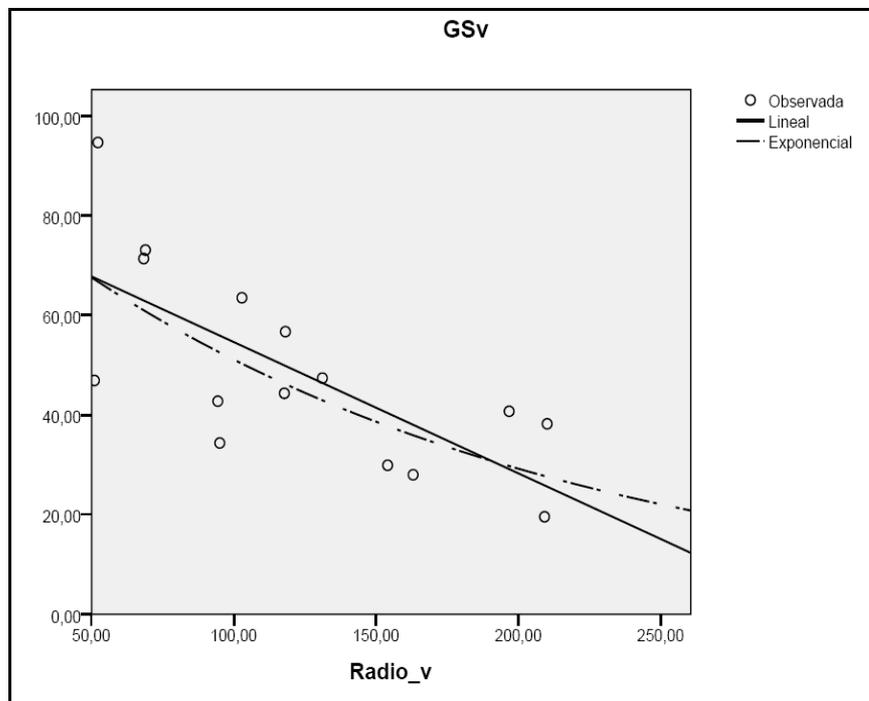
Seguidamente se procedió a establecer un modelo de regresión lineal múltiple para cada material, para ello se definió la variable dependiente, GS, y un conjunto de variables independientes (las definidas anteriormente) con las que pueda existir una correlación. Para comprobar la correlación entre la variable dependiente y las independientes y la no-correlación de las independientes entre sí, se ha utilizado el Análisis de la correlación entre pares de variables de Pearson. Tras los análisis se ha obtenido que en los tres casos (papel-cartón, vidrio y envases) la única variable correlacionada es el Radio. Una vez comprobado esto se procedió al cálculo de las regresiones.

La variable Radio representa el radio de acción del área que abarca el AA. Es una variable de diseño que sólo depende del número de áreas de aportación instaladas en la ciudad y sobre la que el técnico puede actuar.

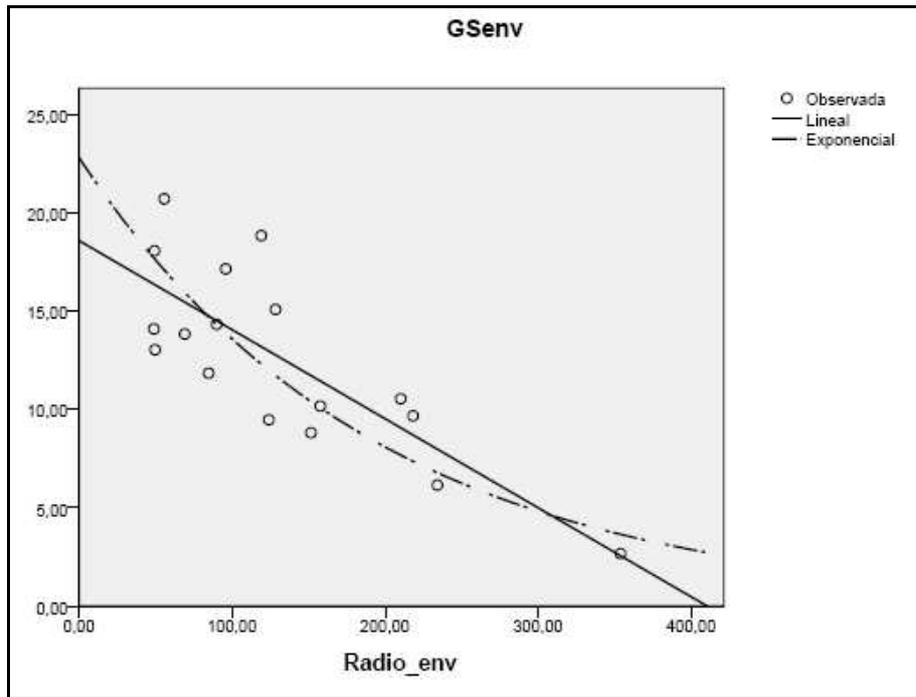
En las gráficas de las figuras 4, 5 y 6 se presentan los modelos de regresión que relacionan el GS, con el Radio de acción para la prerrecogida de papel-cartón, vidrio y envases. En esta relación se han incluido las ciudades que corresponden al Modelo 4, puesto que las fracciones que se recogen en áreas de aportación son las mismas y suponemos que el comportamiento será el mismo. En los tres casos existe una correlación fuerte, con un grado de significación menor de 0,05.



**Figura 4.** GS del papel-cartón (en %) frente al Radio de acción (en m)



**Figura 5.** GS del vidrio (en %) frente al Radio de acción (m)



**Figura 6.** GS de los envases (en %) al Radio de acción (m)

Las ecuaciones que relacionan el GSp, GSv y GSenv, todas en %, con el Radio de acción (en m) son las siguientes:

$$\text{Lineal: } GS_p = -0.131 \cdot \text{Radio} + 49.188, \quad (2)$$

$$R^2=0.636 \quad \text{sig}=0.000$$

$$\text{Exponencial: } GS_p = e^{-0.004 \cdot \text{Radio}} + 52.671, \quad (3)$$

$$R^2=0.569 \quad \text{sig}=0.000$$

$$\text{Lineal: } GS_v = -0.263 \cdot \text{Radio} + 80.962, \quad (4)$$

$$R^2=0.513 \quad \text{sig}=0.003$$

$$\text{Exponencial: } GS_v = e^{-0.006 \cdot \text{Radio}} + 89.409, \quad (5)$$

$$R^2=0.543 \quad \text{sig}=0.002$$

$$\text{Lineal: } GS_{\text{env}} = -0.045 \cdot \text{Radio} + 18.563, \quad (6)$$

$$R^2=0.642 \quad \text{sig}=0.000$$

$$\text{Exponencial: } GS_{\text{env}} = e^{-0.005 \cdot \text{Radio}} + 22.780, \quad (7)$$

$$R^2=0.766 \quad \text{sig}=0.000$$

### 8.4 Análisis del Modelo 2

Para el análisis del Modelo 2 se dispone solamente de dos casos, por lo que no se puede hacer un análisis estadístico. El Grado de Fraccionamiento medio obtenido para las dos ciudades se presenta en la tabla 9. En ella también se proporcionan los porcentajes depositados en cada nivel (acera y área de aportación) y los porcentajes de los distintos materiales depositados en cada contenedor. En la tabla 10 se presenta el Grado de Separación.

**Tabla 9.** Grado de Fraccionamiento en el Modelo 2.

AREA DE APORTACIÓN (16,17%)	11,7% PAPEL-CARTÓN	
	4,47% VIDRIO	
ACERA (83,83%)	78,09% RESTO	41,6% M.O.
		8,31% PAPEL-CARTÓN
		3,21% VIDRIO
		6,36% PLÁSTICO
		2,69% METAL
		0,56% BRIK
		3,14% TEXTIL
		1,31% MADERA
		0,93% GOMA
		5,84% TIERRAS
	4,14% OTROS	
	5,74% ENVASES	2,93% PLÁSTICOS
		0,74% METALES
		0,66% BRIK
1,41% IMPROPIOS		

**Tabla 10.** Grado de Separación en el Modelo 2 (en %).

Población	TGA <sub>p</sub> (kg/h-a)	TGA <sub>v</sub> (kg/h-a)	TGA <sub>env</sub> (kg/h-a)	GSp (%)	GS <sub>v</sub> (%)	GS <sub>env</sub> (%)
Alcalá de Henares	68,52	24,03	54,67	27,13	54,42	38,48
Pamplona	97,11	45,52	42,35	62,79	19,58	57,67

### 8.5 Análisis del Modelo 3

Para el análisis del Modelo 3 se dispone solamente de dos casos. Por tanto no se puede hacer un análisis estadístico. El Grado de Fraccionamiento medio obtenido para las dos ciudades se presenta en la tabla 11. En ella se proporcionan los porcentajes depositados en cada nivel (acera y área de aportación) y los porcentajes de los distintos materiales depositados en cada contenedor. En la tabla 12 se presenta el Grado de Separación. En Córdoba el GSmo es superior al 100%, esto lo que significa es que la suma de MO e impropios depositados el contenedor de MO es superior a la cantidad generada de MO.

**Tabla 11.** Grado de Fraccionamiento en el Modelo 3.

AREA DE APORTACIÓN (11,1%)	8,25% PAPEL-CARTÓN	
	2,85% VIDRIO	
ACERA (88,9%)	43,07% M.O.	28,33% M.O.
		2,84% PAPEL-CARTÓN
		1,57% VIDRIO
		3,94% PLÁSTICO
		1,07% METAL
		0,40% BRIK
		0,81% TEXTIL
		4,11% OTROS
	45,83% RESTO	17,78% M.O.
		8,62% PAPEL-CARTÓN
		2,02% VIDRIO
		7,28% PLÁSTICO
		2,61% METAL
		0,71% BRIK
		2,24% TEXTIL
		4,57% OTROS

**Tabla 12.** Grado de Separación en el Modelo 3

Población	TGAp (kg/h-a)	TGAv (kg/h-a)	TGAmo (kg/h-a)	GSp (%)	GSv (%)	GSmo (%)
Córdoba	75,33	27,27	237,66	44,82	27,24	102,32
Valladolid	85	25,61	148,3	36,89	59,17	64,15

### 8.6 Análisis del Modelo 4

Para el análisis del Modelo 4 se dispone de información de catorce ciudades, todas pertenecientes a Cataluña. El Grado de Fraccionamiento medio de los residuos hallado para este modelo se presenta en la tabla 13. En ella se proporcionan los porcentajes depositados en cada nivel (acera y área de aportación) y los porcentajes en contenedor de los materiales allí depositados. El Grado de Separación de estas ciudades queda recogido en la tabla 14. Se puede observar cómo hay una gran variabilidad en el GSmo, esto puede ser debido al tiempo de implantación del modelo. En las ciudades con una mayor experiencia el indicador será más alto y en aquellas otras en las que el modelo lleve poco tiempo implantado será más bajo.

El análisis del Grado de Separación se ha incluido en el del Modelo 1 debido a que el comportamiento será el mismo puesto que la recogida selectiva de papel-cartón, vidrio y envases se sitúa en Áreas de Aportación en los dos casos.

El GSmo es muy bajo, en ninguno de las poblaciones se alcanza el 50%, sin embargo la calidad en contenedor es aceptable, un 83,5% de media (16,5% de impropios).

**Tabla 13.** Grado de Fraccionamiento del Modelo 4

AREA DE APORTACIÓN (12,57%)	7,44% PAPEL-CARTÓN	
	3,16% VIDRIO	
	1,97% ENVASES	1% PLÁSTICO
		0,25% METAL
		0,22% BRIK
	0,5% IMPROPIOS	
ACERA (87,43%)	8,26% M.O.	6,90% M.O.
		0,32% PAPEL-CARTÓN
		0,07% VIDRIO
		0,5% PLÁSTICO
		0,05% METAL
		0,42% OTROS
	79,17% RESTO	34,39% M.O.
		12% PAPEL-CARTÓN
		3,47% VIDRIO
		8,64% PLÁSTICO
		3,38% METAL
	17,29% OTROS	

**Tabla 14.** Grado de Separación del Modelo 4

Población	TGA <sub>p</sub>	TGA <sub>v</sub>	TGA <sub>env</sub>	TGA <sub>mo</sub>	GSp	GS <sub>v</sub>	GS <sub>env</sub>	GS <sub>mo</sub>
Hospitalet	120,74	28,17	64,39	132,79	19,40	45,59	13,50	43,81
Mollet	57,15	20,04	45,60	126,17	30,11	56,72	18,82	29,04
Badalona	80,71	28,30	64,40	178,18	28,52	34,13	9,66	1,95
Sabadell	91,83	33,84	57,99	241,72	56,64	44,35	31,08	11,59
Tarragona	98,44	34,52	78,55	217,34	21,85	38,22	10,53	4,28
Lleida	96,72	33,92	77,18	213,54	42,49	47,40	15,07	16,03
Vilanova i la G.	104,10	36,50	83,06	229,83	46,36	73,10	13,82	21,00
Cerdanyola	89,20	31,28	71,18	196,94	28,82	45,51	9,67	22,20
Cornellà	73,81	25,88	58,90	162,96	27,07	40,89	14,08	3,55
El Prat	80,68	28,29	64,38	178,12	21,61	37,32	13,91	28,52
San Boí	83,13	29,15	66,33	183,53	20,74	33,56	10,73	11,40
Sant Cugat	110,33	38,69	88,03	243,58	18,04	34,34	1,51	13,19
Santa Coloma	71,81	25,18	57,30	158,55	21,7	36,22	8,16	5,98
Viladecans	88,93	31,18	70,96	196,34	20,79	36,54	13,73	19,71
Barcelona	115,58	36,98	50,85	208,04	22,53	42,77	17,13	22,19

## 9. CONCLUSIONES

Tras los análisis y la discusión se han extraído las siguientes conclusiones:

- Una vez estudiado en profundidad el sistema de recogida selectiva de residuos urbanos, se ha diseñado y propuesto un conjunto de indicadores con los evaluar los diferentes modelos de recogida selectiva.
- La participación en las encuestas ha sido muy buena, han contestado el 28,5% de las poblaciones mayores de 50.000 habitantes. Ello unido a la información hallada por otras vías, se ha llegado al 32,8% del total de ciudades.
- La tasa de generación media de residuos urbanos en ciudades españolas mayores de 50.000 habitantes es de 1,43 kg por habitante y día. Se ha demostrado para este segmento de población que no hay una correlación entre tamaño y producción. Sin embargo sí se ha detectado una diferencia significativa entre las ciudades incluidas en la Región Sur y el resto de ciudades.
- El elevado fraccionamiento de los residuos en origen y la gestión separada de cada una de las fracciones han hecho que actualmente los ayuntamientos desconozcan la composición real de sus residuos, cosa que no sucedía hace unos años.
- Se ha obtenido que en España están implantados cuatro modelos diferentes de recogida selectiva, uno de ellos mayoritariamente.
- Se ha hallado el Grado de Fraccionamiento en origen de los residuos para los cuatro modelos. La principal diferencia está en el GF de los envases. Mientras que en los



Modelos 1 y 4 (los envases se recogen en AA) se alcanza de media el 1,85 - 2 %, en el Modelo 2 se llega al 4,29%. Esto es debido, sin duda, a la cercanía del contenedor.

- Comparando los modelos 1, 2 y 4 con el 3, se puede observar que en éste último la separación de envases es mucho mayor, el 10,6% (plástico, metal y briq). Esto puede ser debido a que los ciudadanos entienden mejor la separación en M.O. (restos de comida) y Restos (envases y demás).
- Del Modelo 1 y 4 se ha podido correlacionar el GS con la variable Radio de acción del AA, para la recogida de papel-cartón, vidrio y envases. Lógicamente cuanto menor es el radio el GS es mayor. Se ha obtenido un conjunto de ecuaciones con las que poder estimar el GS en función del radio de acción del AA, herramienta muy útil para el técnico encargado del diseño y planificación de la recogida selectiva.
- Respecto al GC en el contenedor de envases, no se han detectado diferencias entre los Modelos 1, 2 y 4. El porcentaje de impropios es del 25 %, por tanto los ayuntamientos deben hacer un mayor esfuerzo para que los ciudadanos rebajen la cantidad de impropios mezclados con el plástico, brick y metales.
- En el Modelo 4 el GSmo es muy bajo, en ninguno de las poblaciones se alcanza el 50%, esto puede ser debido, entre otros factores, a que un porcentaje alto de ciudadanos no tiene claro lo que hay que depositar en el contenedor. Sin embargo la calidad en contenedor es aceptable, un 83,5% de media (16,5% de impropios), por lo que aquellos que colaboran sí realizan una buena separación.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Urraca, J.I. y Gracia, J.L. (1994). Nuevo sistema de recogida de basuras en Zaragoza. Medio Ambiente-RETEMA. Noviembre-diciembre.
- [2] White, P.R.; Franke, M. y Hindle, P. (1995). Integrated Solid Waste Management. A lifecycle Inventory. Ed. Blackie Academic & Professional. London
- [3] Wang F.S.; Richardson, A.J. y Roddick, F.A. (1997). Relationships between set-out rate, participation rate and set-out quantity in recycling programs. Resource, Conservation and Recycling. Nº 20, págs 1-17.
- [4] Gallardo (2000). Metodología para el diseño de redes de recogida selectiva de RSU utilizando sistemas de información geográfica. Creación de una base de datos aplicable a España. Ed. UPV. Valencia
- [5] Martin, M.; Williams, I.D.; and Clark, M. (2006). Social, cultural and structural influences on household waste recycling: A case study. Resources Conservation & Recycling. V. 48, págs. 357-395.
- [6] Shaw, P.J.; Lyas, J.K.; Hudson, M.D. (2006) Quantitative analysis of recyclable materials composition: Tools to support decision making in kerbside recycling. Resource, Conservation and Recycling. V. 48, págs. 263-279
- [7] González-Torre, P.L.; Adenso-Díaz, B. (2005). Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling, Waste Management. V. 25, págs. 15-23.
- [8] Bolaane, B. (2006). Constraints to promoting people centred approaches in recycling. Habitat International. V. 30, págs. 731-740



- [9] Harder, M.K.; Woodard, R. (2007) Systematic studies of shop and leisure voucher incentives for household recycling. *Resources Conservation & Recycling*. V. In Press, Corrected Prof..
- [10] Rojas, L.D.; Gallardo, A.; Aznar, P.; Ull, A. y Piñeros, A. (2008). La participación ciudadana en los sistemas de recogida selectiva de residuos urbanos, un factor clave en la gestión. *Ingeniería de residuos: Hacia una gestión sostenible (I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos)*. Ed. Universitat Jaume I. Castellón.
- [11] Gilreiner, G. (1994). Waste minimization and recycling strategies and their changes of success. *Waste Management & Research*. V 12, págs. 271-283.
- [12] Lober, J. (1996). Municipal solid waste policy and public participation in household source reduction. *Waste Management & Research*. V 14, págs. 125-143.
- [13] Colomer, F.J. y Gallardo, A. (2007). *Tratamiento y gestión de residuos*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- [14] Kelleher, M. (1996). Four stream residential collection in Holland. *Biocycle*. Octubre 96, págs. 46-50.
- [15] Gallardo, A.; Tejero, I; Ferrer, J. (1999). Alternativas en la recogida selectiva ante el nuevo marco normativo. VI Congreso de Ingeniería Ambiental. Febrero de 1999. Bilbao.
- [16] IMU 97 (1997a). Planes de gestión de residuos. Las recogidas selectivas (Parte I). *Ingeniería Municipal*. Octubre 97, págs. 5-20.
- [17] IMU 97 (1997b). Planes de gestión de residuos. Las recogidas selectivas (Parte II). *Ingeniería Municipal*. Noviembre 97, págs. 33-46.
- [18] Wang F.S.; Richardson, A.J. y Roddick, F.A. (1997). Relationships between set-out rate, participation rate and set-out quantity in recycling programs. *Resource, Conservation and Recycling*. Nº 20, págs 1-17.
- [19] Miquel, S.; Bigné, E.; Lévy, J.P.; Cuenca, A.C. y Miquel, M.J. (1997). *Investigación de mercados*. McGraw-Hill. Madrid.
- [20] Everett, J.W. y Peirce, J.J. (1993). Curbside recycling in the U.S.A.: convenience and mandatory participation. *Waste Management & Research*. V 11, págs. 49-61.
- [21] Urraca, J.I. y Gracia, J.L. (1994). Nuevo sistema de recogida de basuras en Zaragoza. *Medio Ambiente-RETEMA*. Noviembre-diciembre.
- [22] Pérez, C. (1999). *Técnicas de Muestreo Estadístico. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas*. RA-MA Editorial

## 11. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a todos los Ayuntamientos que han participado en el estudio (tabla 1) por los datos aportados, sin ellos no se podría haber llevado a cabo el trabajo.

Al Ministerio de Medio Ambiente por la concesión de subvención a los proyectos: “Estudio de los diferentes modelos de recogida selectiva de RSU implantados en España. Determinación de indicadores de evaluación. (Expediente 279/2006/2-2.1) y “Estudio de los diferentes modelos de recogida selectiva de RSU implantados en España. Determinación de indicadores de evaluación. Fase segunda” (expediente: AA228/2007/1-02.1).