

## EVOLUCIÓN DE LA RECOGIDA SELECTIVA DE RESIDUOS URBANOS EN LAS CIUDADES ESPAÑOLAS EN LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS

A. Gallardo<sup>P</sup>, M.D. Bovea; F.J. Colomer; M. Carlos y M. Prades

INGRES. Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I

### Abstract

The selective collection of municipal solid wastes (MSW) started with the collection of paper/cardboard and glass in those municipalities whose management was economically profitable. However, the generalised selective collection of MSW started in Spain with the publication of the Law 11/1997 on packaging and packaging waste. Initially, this law fixed the objectives for recycling and recovering of packaging between 45-60% by weight. Later, the RD 252/2006 increased this objective until 60% as a minimum. These goals must have been achieved in 2008.

In this work, the evolution of different municipal solid waste collection models is analysed from data collected by means of a questionnaire made in 1999 and 2008 to Spanish municipalities with more than 50000 inhabitants. The results show the models that have obtained a greater success based on the amount of selected materials in pre-sorting practices and citizens' acceptance.

**Keywords:** Municipal solid waste, selective collection.

### Resumen

La recogida selectiva de residuos urbanos se inició con la recogida de las fracciones papel-cartón y vidrio en aquellos lugares donde su gestión resultaba económicamente rentable. Sin embargo, no fue hasta la publicación de la Ley 11/1997 de envases y residuos de envases, cuando se inició la recogida selectiva de forma generalizada en España.

Dicha Ley fija unos objetivos de valorización de residuos de envases entre 45-60% en peso para el 2001, con unos valores mínimos de reciclado para cada uno de los materiales. Posteriormente el R.D. 252/2006, elevó el mínimo de valorización al 60% en peso, así como los mínimos de reciclado para cada uno de los materiales, dichos objetivos se debían alcanzar en el 2008.

En esta comunicación se analiza la evolución de los diferentes modelos de recogida selectiva implantados en ciudades españolas, para adaptarse al cumplimiento de los objetivos propuestos por la legislación. Ello se ha podido llevar a cabo mediante dos encuestas realizadas en las poblaciones españolas mayores de cincuenta mil habitantes, en los años 1999 y 2008. Los resultados obtenidos muestran los modelos que han tenido mayor éxito desde el punto de vista de la separación de materiales en origen y aceptación de la ciudadanía.

**Palabras clave:** Residuos urbanos, recogida selectiva.

## 1. Introducción

La separación de materiales como papel, cartón, vidrio, plástico, metal, brik, 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 prerrecojida.

Existe un gran número de alternativas de separación de materiales, desde las dos fracciones, materia orgánica y resto, hasta un grado elevado de fraccionamiento, en el que se separan los materiales que tienen un valor económico. Para que el programa de recogida selectiva tenga éxito se ha de llegar a un compromiso adecuado con los ciudadanos en la labor que les corresponde desarrollar en su hogar. Por otro lado, la distancia al lugar de depósito también influye en el grado de participación ciudadana, por lo que éste es otro factor importante a tener en cuenta en el diseño de un modelo de recogida selectiva. En Suecia Dahlén (2007) hizo un estudio en el que se comparaban tres sistemas diferentes de recogida selectiva de residuos. La conclusión obtenida fue que en las ciudades cuyo modelo recogía los reciclables a nivel de acera, en la fracción de restos había menos materiales de este tipo. Esto se debía a la proximidad de los contenedores a los ciudadanos. Tanskanen (2002) también desarrolló un modelo en el área metropolitana de Helsinki para analizar los ratios de recuperación y los costes y emisiones de la gestión de los residuos urbanos (RU). En dicho trabajo concluye que el modelo en el que se da un mayor porcentaje de recuperación, con una media del 74%, es en aquel que se recogen papel-cartón, vidrio, metal y brik en áreas de aportación. Metin (2003) también analizó los datos de recuperación y reciclaje en Turquía. El modelo utilizado consiste en la recogida en dos fracciones: reciclables (papel-cartón, plástico, vidrio y metal) y restos. Se recupera un 35% de reciclables, y el material que más se recupera es el papel, con un 36%. En el presente estudio se presentan los resultados de dos encuestas, distanciadas diez años, sobre los diferentes modelos de prerrecojida implantados en ciudades españolas a raíz de la aparición de la legislación sobre residuos de envases. Con ello se pretende ver qué modelos han fracasado, la evolución a lo largo del tiempo de los que han sobrevivido y las posibles mejoras que se les puede aplicar para amoldarse a la continua variación de la normativa

Para determinar el grado de eficiencia de la prerrecojida es necesario definir un conjunto de indicadores. Algunos autores han analizado dicho grado de eficiencia. Uno de ellos es Berglund (2002), quien define el ratio de recuperación y el ratio de utilización del papel y el cartón. El primero se define como la proporción de residuo de papel recuperado respecto a la cantidad de papel y cartón consumido. El segundo se define como la proporción de papel recuperado que es utilizado en la producción de papel y cartón. En su estudio se analizan ambos ratios en 10 países, centrándose sobretodo en Suecia y Estados Unidos. Ambos ratios no presentan ninguna relación. El hecho de que un país tenga un ratio de recuperación elevado no implica que su ratio de utilización también lo sea. Se calculan modelos de regresión para ambos ratios, y de hecho cada uno depende de distintas variables. En este trabajo también se definen los indicadores más adecuados para determinar la eficacia de los modelos implantados en España.

## 2. El sistema de 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.

La recogida selectiva forma parte integral del sistema de gestión de los residuos urbanos, 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. Está condicionada por un conjunto de factores del entorno que influirá en la elección de las diferentes alternativas que se puedan dar en los dos elementos del sistema.

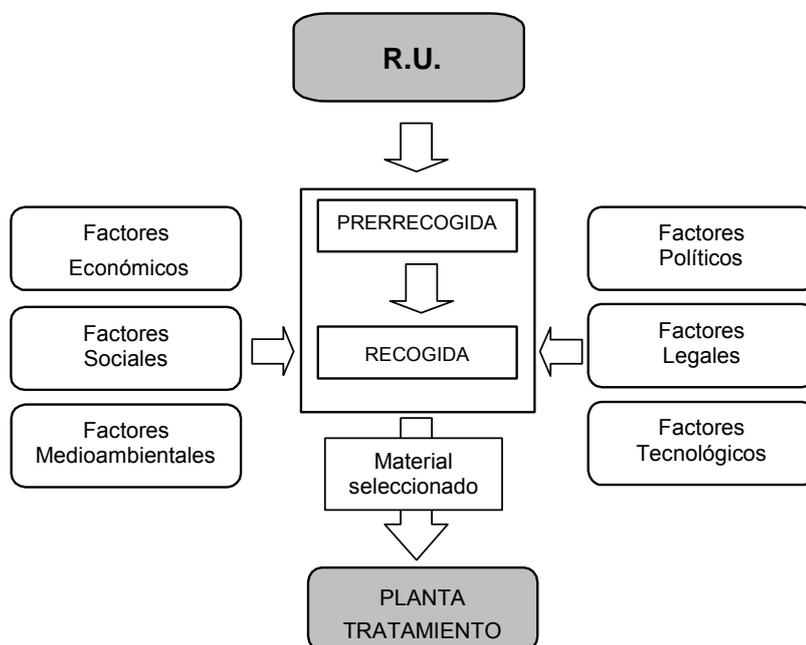


Figura 1. Esquema de la recogida selectiva (Gallardo, 2000).

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 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.

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 de los residuos, se pueden distinguir varios niveles de almacenamiento:

- *Sistema puerta a puerta (kerbside system)*. Los cubos o contenedores están situados en cada puerta, patio interior u otra zona accesible de la vivienda o edificio. La distancia que hay que recorrer hasta depositar los residuos es mínima.
- *Sistema en acera (curbside collection)*. Los puntos de depósito ya no están ubicados en la puerta, sino cada 50-60 m en las aceras. 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.
- *Sistema en áreas de aportación (AA) (bring system / drop-off)*. 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.
- *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”, “Centros de Recuperación y Reciclaje” (*Civit Amenity Site* en el Reino Unido). 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.

Combinando los distintos tipos de separación en origen con los diferentes niveles de depósito se puede obtener un amplio espectro de modelos de prerrecogida (Gallardo, 1999). 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. 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 y con un mayor valor añadido.

### 3. Definición de indicadores de eficiencia en la prerrecogida

Para determinar el grado de eficiencia de la prerrecogida es necesario definir unos indicadores claros y objetivos. Investigadores como Berglund (2002) y Tanskenen (2000) definieron un conjunto de indicadores que dependían de diferentes variables macro, como papel y cartón consumidos en una ciudad durante un año, cuya dificultad para obtener información es evidente. En este estudio la 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 que se definen a continuación (Gallardo,2000):

- 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.

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

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 (IMU, 1997), o Ratio de Participación Efectiva (Wang et al., 1997). 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.

## 4. Metodología

El objetivo del estudio ha sido ver y analizar qué modelos de recogida selectiva implantados en España han fracasado en los últimos años, la evolución a lo largo del tiempo de los que han sobrevivido y las posibles mejoras que se les puede aplicar para amoldarse a la continua variación de la normativa. Para ellos se han utilizado los datos obtenidos de dos encuestas similares realizadas en 1999 y 2008, en las que se obtuvieron datos referentes al 1998 y 2007. A continuación se expone la metodología seguida para la obtención de los datos en ambas campañas.

Puesto que los datos que se deseaban obtener son cuantitativos y objetivamente mensurables, se realizó 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 de confianza. Para ello, primeramente es necesario determinar de forma adecuada el procedimiento a seguir en la obtención de la muestra.

Se optó 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. Por razones económicas se hizo una encuesta postal. Se realizó un cuestionario estructurado, es decir, se hizo a cada ayuntamiento el mismo número y preguntas bajo un orden prefijado, que recogió los siguientes aspectos:

- Generación y composición de los residuos.
- Recogida selectiva de papel-cartón, vidrio, envases (metales, plásticos y brick) en áreas de aportación.
- Recogida en acera con separación en dos fracciones con y 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.

La metodología llevada a cabo para obtener la información fue la siguiente:

1. Elaboración de una primera encuesta piloto. Los objetivos fueron: obtener información general sobre la recogida y ver la posibilidad de obtener datos suficientes para realizar el estudio y determinar si la encuesta estaba bien diseñada. Esta encuesta fue enviada solo a unos cuantos ayuntamientos.

2. Elaboración de la encuesta definitiva. Una vez corregida la primera encuesta, se elaborará una segunda dirigida todas las poblaciones que tienen implantado un sistema de recogida selectiva.

3. Análisis de los datos de las encuestas. Tras la recepción de las encuestas, se procedió al análisis de los datos. Se clasificaron los sistemas en función del tipo de separación en origen y se estudiaron cada uno de ellos, obteniéndose diferentes parámetros y relaciones. En aquellos casos que surgieron algunas dudas se procedió a su aclaración contactando con el técnico del ayuntamiento.

4. Finalmente se analizaron conjuntamente las dos encuestas y se extrajeron las conclusiones que aquí se exponen.

## 5. Resultados

### Participación

La respuesta a las encuestas fue positiva en ambas campañas (ver tabla 1), además de las encuestas recibidas se pudo obtener información de otras fuentes, como páginas web o artículos de revistas nacionales. Los resultados fueron aceptables para este tipo de trabajo. Everett (1993) 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%, en nuestro caso la encuesta de 1999 fue del 54,7%.

	Nºencuestas enviadas	Nºencuestas recibidas	Nºciudades (otras fuentes)	Total	Total (%)	Nº habitantes (millones)
1999	116	42	11	53	54.7%	12.2
2008	137	39	6	45	32.8%	8.5

Tabla 1. Resultados de participación

La muestra obtenida es significativa en ambos casos. Para su cálculo se ha utilizado la siguiente ecuación (Pérez, 1999):

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

donde  $n_{\infty} = \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot S^2}{\varepsilon^2}$  y  $\varepsilon = \frac{z_{\alpha/2} \cdot S}{\sqrt{M}}$ , siendo  $n$  la muestra mínima,  $z_{\alpha/2}^2$  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  $TGD_{ru}$  y  $M$  es el tamaño de nuestra muestra.

	N	$\alpha$	$z_{\alpha/2}^2$	$S^2$	M	n
1998	116	0.05	1.96	0.04	53	36
2007	137	0.05	1.96	0.606	45	34

Tabla 2. Estadísticos de las muestras

### Modelos de prerrecojida

Tras el procesado de los datos de ambas encuestas se ha obtenido que los modelos implantados de prerrecojida son cinco, con las siguientes características (figura 2):

	ACERA	AA
MODELO 1		
MODELO 2		
MODELO 3		
MODELO 4		
MODELO 5		

Figura 2. Modelos de prerrecojida implantados en las ciudades españolas

Las poblaciones que han participado en las encuestas aportando información se dan en la tabla 3. Se puede observar también en la misma tabla que algunas de ellas ha cambiado su modelo.

MODELO	1998	2007
1	San Sebastián, Barcelona, Terrassa, Sabadell	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		Coslada, Pozuelo, Pamplona, Alcalá de Henares
3	Córdoba	Córdoba, Valladolid
4		Hospitalet, Mollet del V., Badalona, Tarragona, Lleida, Vilanova i la Geltrú, Cerdanyola, Cornellà, El Prat, Sant Cugat, Santa Coloma, Viladecans, Barcelona, Sant Boí, Sabadell
5	Palencia, Salamanca, Torrejón, Madrid, Talavera, Puertollano, Villarrobledo, Albacete, Cáceres, Sevilla, Granada, Motril, Torrelavega, Santander, Gijón, Bilbao, Barakaldo, Basauri, Getxo, Huesca, Lleida, Badalona, S.Coloma, Hospitalet, Valencia, Torrent, Gandía, Benidorm, Castellón, Cartagena	

Tabla 3. Ciudades participantes en las encuestas

## 5. Análisis y discusión

En esta ponencia nos hemos centrado únicamente en el análisis y discusión del indicador GS. Para ello han sido necesarios otros datos sobre generación/composición y logística, que también se han adquirido a partir de las encuestas.

Se han analizado los datos sobre la recogida de vidrio, papel-cartón, envases y materia orgánica (MO), con el objetivo de establecer modelos de regresión por los que se obtenga el GS de un material en función de un conjunto de variables independientes entre sí. Para ello en primer lugar hay que definir las variables independientes demográficas y de logística que influyen en el GS de los materiales (Bach, 2004). Tras un análisis profundo de las posibles variables que a nivel español pueden ser significativas, se llegó 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.

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 AA instaladas en la ciudad y sobre la que el técnico puede actuar. Bach (2004) en su estudio definió la variable “puntos de recogida/km<sup>2</sup>”, que es equivalente.

A continuación se presentan los gráficos de la dependencia de la variable GS respecto al Radio (figuras de 3 a 7) y sus ecuaciones de regresión (tabla 4) para los dos años. Para cada conjunto de puntos se han aproximado dos ecuaciones, una lineal y otra exponencial. Los gráficos del año 1998 corresponden al Modelo 5 y los del año 2007 corresponden al Modelo 1 y 4 conjuntamente. Para el resto de modelos no hay suficientes casos para establecer una regresión.

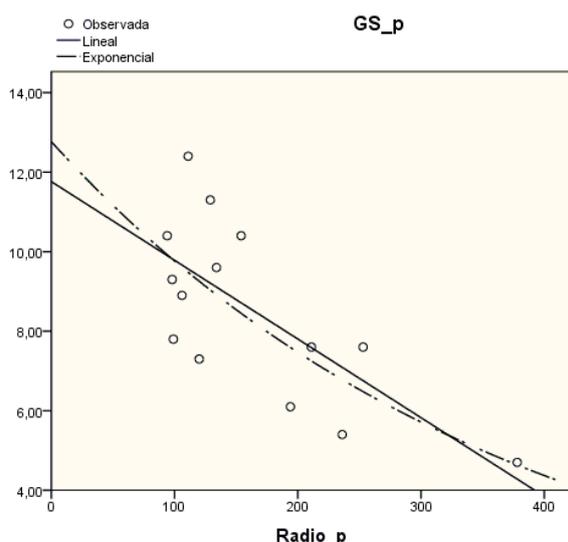


Figura 3. GS del papel-cartón (en %) frente al Radio de acción (en m). Año 1998

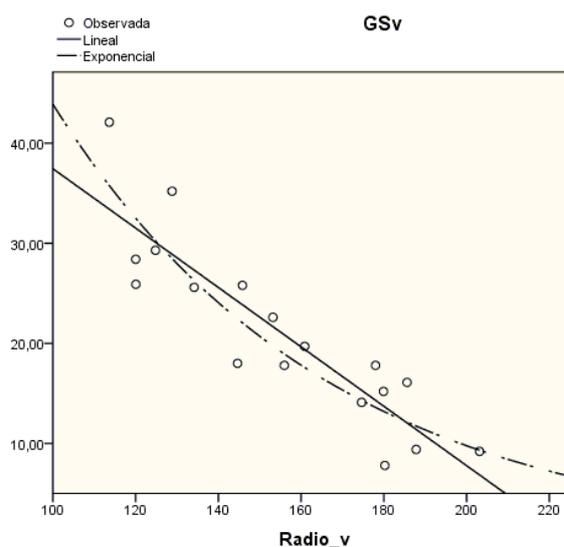


Figura 4. GS del vidrio (en %) frente al Radio de acción (m). Año 1998

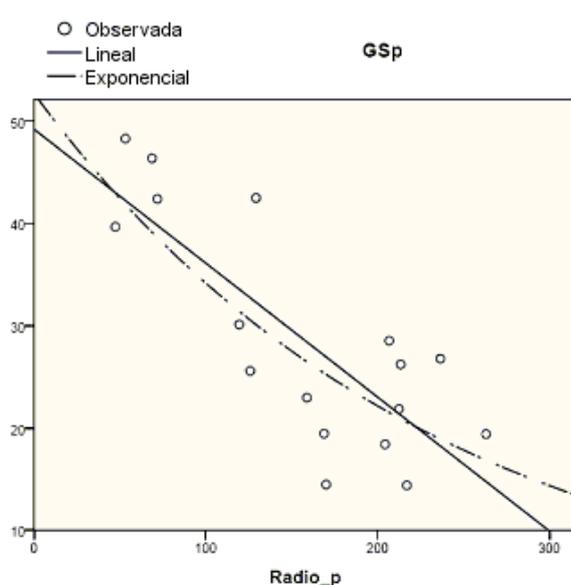


Figura 5. GS del papel-cartón (en %) frente al Radio de acción (en m). Año 2007

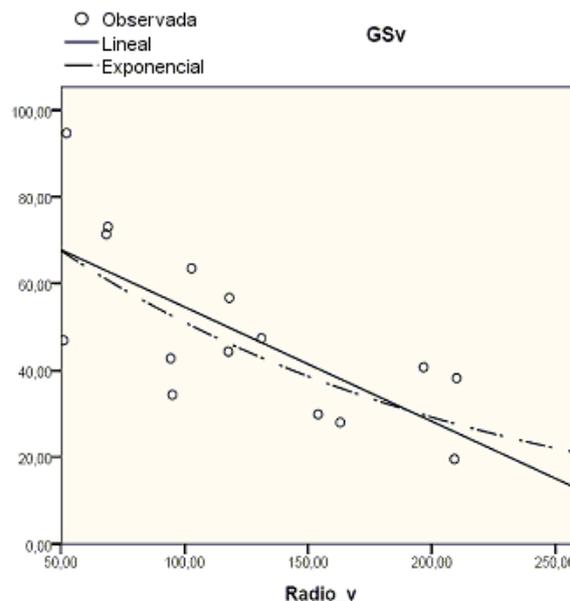


Figura 6. GS del vidrio (en %) frente al Radio de acción (m). Año 2007

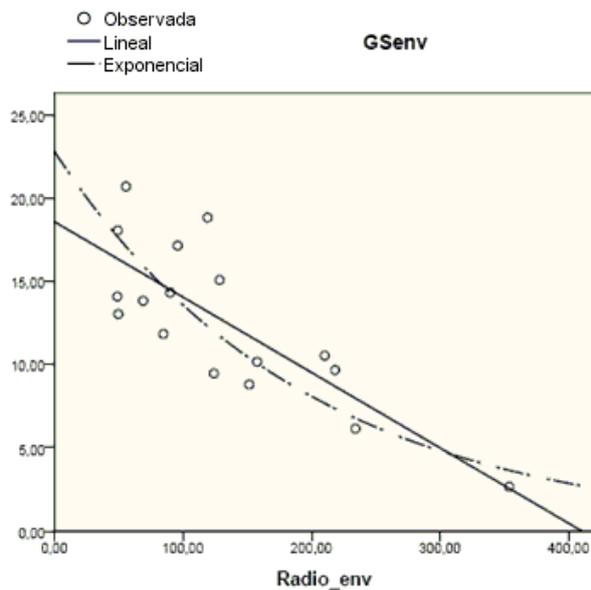


Figura 7. GS de los envases (en %) frente al Radio de acción (m). Año 2007

	Año 1998		Año 2007	
	Lineal	Exponencial	Lineal	Exponencial
GS <sub>p</sub>	-0.02R <sub>p</sub> + 11,761; R <sup>2</sup> = 0.512 sig = 0.004	e <sup>-0.003R<sub>p</sub></sup> + 12,766; R <sup>2</sup> = 0.596 sig=0.001	-0.131·R <sub>p</sub> + 9.188; R <sup>2</sup> =0.636 sig=0.000	e <sup>-0.004·R<sub>p</sub></sup> + 52.671; R <sup>2</sup> =0.569 sig=0.000
GS <sub>v</sub>	- 0.297R <sub>v</sub> + 67,117; R <sup>2</sup> = 0.798 sig =0.000	e <sup>-0.015R<sub>v</sub></sup> +197,208; R <sup>2</sup> =0.796 sig =0.000	-0.263·R <sub>v</sub> + 80.962, R <sup>2</sup> =0.513 sig=0.003	e <sup>-0.006·R<sub>v</sub></sup> + 89.409; R <sup>2</sup> =0.543 sig=0.002
GS <sub>env</sub>			-0.045·R <sub>env</sub> +18.563 R <sup>2</sup> =0.642 sig=0.000	e <sup>-0.005·R<sub>env</sub></sup> + 22.780; R <sup>2</sup> =0.766 sig=0.000

Tabla 4. Ecuaciones de las tendencias obtenidas.

**Análisis del Modelo 1:** En las gráficas de las figuras 5, 6 y 7 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 el año 2007. Se han incluido también las ciudades que corresponden al Modelo 4, puesto que las fracciones recogidas en AA son las mismas y se puede suponer que el comportamiento será el mismo. En los tres casos existe una correlación fuerte, con un grado de significación menor de 0,05. Las ecuaciones que relacionan el GS<sub>p</sub>, GS<sub>v</sub> y GS<sub>env</sub> (en %), con el Radio de acción (en m) se dan en la tabla 4.

En el año 1998 sólo estaba implantado en cuatro ciudades, pero a lo largo de los últimos años se ha ido extendiendo, hasta llegar a 24 en la actualidad. Ello se ha debido a la necesidad de separar los envases con un alto grado de limpieza, y esto solo se consigue con la separación en origen. Si se observan las gráficas de las figuras 5 y 6, para un radio de acción corto (80 metros) se llega a separar en origen porcentajes de papel-cartón y vidrio cercanos a los límites impuestos por la ley actual (55% para enviar a reciclaje). Sin embargo esto no ocurre para los envases, por tanto la administración debe hacer un esfuerzo para que aumente la colaboración ciudadana o cambiar de modelo.

**Análisis del Modelo 2:** Para el Modelo 2 se dispone solamente de dos casos, por lo que no se puede hacer un análisis estadístico. En la tabla 5 se presentan los GS de las ciudades que lo tienen implantado. Aunque hay pocos casos, se puede observar que el GSend es mayor en el modelo 1. Ello es debido a la cercanía de los puntos de depósito al ciudadano.

Población	Año 2007		
	GSp (%)	GSv (%)	GSend (%)
Alcalá de Henares	27,13	54,42	38,48
Pamplona	62,79	19,58	57,67

Tabla 5. Grados de Separación del Modelo 2.

**Análisis del Modelo 3:** También se dispone únicamente de dos casos, por lo que no se puede hacer un análisis estadístico. En la tabla 6 se presentan los GS de las ciudades que lo tienen implantado. En Córdoba el GSmo es superior al 100%, esto lo que significa es que la suma de MO e impropios depositados en el contenedor de MO es superior a la cantidad generada de MO. El GSmo de Valladolid no es muy alto, ello puede deberse a que al contrario que en Córdoba, la implantación del modelo es reciente.

Población	Año 1998			Año 2007		
	GSp (%)	GSv (%)	GSmo (%)	GSp (%)	GSv (%)	GSmo (%)
Córdoba	14,77	41,95	81,55	44,82	27,24	102,32
Valladolid				36,89	59,17	64,15

Tabla 6. Grados de Separación del Modelo 3.

**Análisis del Modelo 4:** Para el análisis del Modelo 4 se dispone de información de catorce ciudades, todas pertenecientes a Cataluña. Los GS de estas ciudades queda recogidos en la tabla 7. Se puede observar cómo hay una gran variabilidad en el GSmo, ello puede deberse al tiempo que lleva implantado el modelo. En las ciudades con una mayor experiencia el indicador es más alto. El análisis del GS de envases, Papel-cartón y Vidrio se ha incluido en el del Modelo 1.

Población	GSp	GSv	GSend	GSmo	Población	GSp	GSv	GSend	GSmo
Hospitalet	19,40	45,59	13,50	43,81	Cornellà	27,07	40,89	14,08	3,55
Mollet	30,11	56,72	18,82	29,04	El Prat	21,61	37,32	13,91	28,52
Badalona	28,52	34,13	9,66	1,95	San Boí	20,74	33,56	10,73	11,40
Sabadell	56,64	44,35	31,08	11,59	S. Cugat	18,04	34,34	1,51	13,19
Tarragona	21,85	38,22	10,53	4,28	S. Coloma	21,7	36,22	8,16	5,98
Lleida	42,49	47,40	15,07	16,03	Viladecans	20,79	36,54	13,73	19,71
Vila. i la G.	46,36	73,10	13,82	21,00	Barcelona	22,53	42,77	17,13	22,19
Cerdanyola	28,82	45,51	9,67	22,20					

Tabla 7. Grados de Separación del Modelo 4. Año 2007

**Análisis del Modelo 5:** Para el análisis del Modelo 5 se dispone de 30 casos. En las gráficas de las figuras 3 y 4 se presentan los modelos de regresión que relacionan el GS, con el Radio de acción para la prerrecogida de papel-cartón y vidrio. En los dos casos existe una correlación fuerte, con un grado de significación menor de 0,05. Como se puede observar, este modelo ha desaparecido, hoy día en las AA también se recogen los envases (Modelo 1).

## 6. 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 y los factores que le afectan, se ha propuesto un conjunto de indicadores con los evaluar los diferentes modelos de recogida que se pueden dar.
- La participación en las encuestas ha sido muy buena, han contestado el 28,5% de las poblaciones mayores de 50.000 habitantes. Sumando la información hallada por otras vías, se ha llegado al 32,8% del total de ciudades españolas.
- Se ha obtenido que en España están implantados cuatro modelos diferentes de recogida selectiva, uno de ellos mayoritariamente.
- Tras el análisis de la correlación del GS del papel-cartón, vidrio y envases con un conjunto de variables socioeconómicas y logísticas, se ha concluido que la única variable correlacionada es el Radio de acción del contenedor.
- En el modelo 1 se alcanza a separar en origen porcentajes de papel-cartón y vidrio cercanos a los límites impuestos por la ley. Sin embargo esto no ocurre para los envases, por lo tanto la administración debe hacer un esfuerzo para que aumente la colaboración ciudadana, o cambiar de modelo.
- De los Modelos 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, herramienta muy útil para el técnico encargado del diseño y planificación de la recogida selectiva.
- 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, al poco tiempo que lleve implantado el modelo y a que un porcentaje alto de ciudadanos no tiene claro lo que hay que depositar en el contenedor.
- Una de las conclusiones más importante del estudio es que si se comparan los modelos 1 y 5, a igual Radio de acción se separa más papel-cartón y más vidrio en el año 2007. Las curvas se han desplazado hacia arriba. Esto se debe sin duda a la mayor concienciación ciudadana, que poco a poco se ha ido fraguando. Se puede afirmar que los españoles colaboran hoy día más en la recogida selectiva que hace 10 años.

## Referencias

Bach, H., Mild, A., Natter, M., Weber, A. "Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper". Resour., Conservation and Recycling. Vol.41, 2004,pp 65-73.

Berglund, C., Söderholm, P., Nilsson, M. "A note to inter-country differences in waste paper recovery and utilisation". Resour., Conservation and Recycling. Vol.34, 2002, pp175-191.

Dahlén, L., Vukicevic, S., Meijer, J-E., Lagerkvist, A. "Comparison of different collection systems for sorted household waste in Sweden." *Waste Manag.*, Vol.27, 2007, pp 1298-1305.

Everett, J.W. y Peirce, J.J. "Curbside recycling in the U.S.A.: convenience and mandatory participation". *Waste Management & Research*. V 11, 1993, pp. 49-61.

Gallardo, A.; Tejero, I; Ferrer, J. "Alternativas en la recogida selectiva ante el nuevo marco normativo". VI Congreso de Ingeniería Ambiental. Febrero de 1999, 1999, Bilbao.

Gallardo A. "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. 2000, Valencia

IMU 97. "Planes de gestión de residuos. Las recogidas selectivas (Parte I)". Ingeniería Municipal. Octubre 97, 1997, pp. 5-20.

Metin, E., Eröztürk, A., Neyim, C. "Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey". *Waste Management*. Vol.23, 2003, pp. 425-432.

Pérez, C. "Técnicas de Muestreo Estadístico. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas". RA-MA Editorial. 1999

Tanskanen, J-H. "Strategic planning of municipal solid waste management." *Resources, Conservation and Recycling*. Vol.30, 2000, pp.111-133.

Wang F.S.; Richardson, A.J. y Roddick, F.A. "Relationships between set-out rate, participation rate and set-out quantity in recycling programs". *Resource, Conservation and Recycling*. Nº 20, 1997, pp. 1-17.

## **Agradecimientos**

A todos los Ayuntamientos que han participado en el estudio (tabla 3) y al Ministerio de Medio Ambiente por las ayudas concedidas: "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).

## **Correspondencia**

Antonio Gallardo Izquierdo. INGRES Ingeniería de residuos. Dpto. Ing. Mecánica y construcción. Universidad Jaime I de Castellón. ([gallardo@emc.uji.es](mailto:gallardo@emc.uji.es))