

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y SOCIO-ECONÓMICAS EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS URBANOS EN ESPAÑA

Antonio GALLARDO*, Míriam PRADES, María Dolores BOVEA y Francisco COLOMER

Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción de la Universidad Jaume I de Castellón. Avda. Sos Baynat, s/n, 12071, Castellón, España

*Autor responsable; gallardo@emc.uji.es

(Recibido agosto 2011, aceptado febrero 2012)

Palabras clave: tasa de generación anual de residuos, regresión lineal, prueba de significación

RESUMEN

En este estudio se analiza la generación de los residuos domiciliarios en las ciudades españolas mayores de 5000 habitantes. Los datos se han obtenido mediante cuestionarios enviados a 216 ayuntamientos seleccionados aleatoriamente y mediante un estudio anterior. Con el 53 % de las ciudades de la muestra se ha calculado la tasa de generación anual del total de los residuos urbanos (TGA_{ru}). Además se han definido variables relativas al tamaño de los municipios, las zonas climáticas y las zonas turísticas para determinar si existen diferencias significativas en cuanto a la generación de los residuos según dichas variables. Con los contrastes realizados se ha obtenido que el tamaño del municipio es la única variable que no influye en la TGA_{ru} . También se han calculado modelos de regresión lineal para modelizar la generación de residuos urbanos en función de variables socioeconómicas (*extranjeros*, *desempleados* y *hab/coche*) en cada una de las zonas consideradas. Con ello se ha obtenido que el modelo que da mejor ajuste es el relativo a la zona turística.

Key words: anual waste generation rate, linear regression, significance test

ABSTRACT

This paper analyses the generation of household waste in Spanish towns and cities with more than 5000 inhabitants. Data were obtained from questionnaires sent out to 216 town councils that were selected at random and from a previous study. The total composition of the household waste and the values of the annual generation rate of the total amounts of urban waste (AGR_{uw}) were calculated using 53 % of the towns and cities in the sample. Additionally, variables concerning the size of the towns and cities, the climatic zones and the tourist areas were also defined in order to determine whether there were any significant differences as regards the generation of waste according to those variables. Results of comparisons revealed that the size of the town or city was the only variable that did not have an effect on the AGR_{uw} . Linear regression models were also calculated in order to model the generation of urban wastes according to the socioeconomic variables (*foreigners*, *unemployment* and *people/car*) by zones. Findings showed that the model with the best fit was the one related to the touristic area.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la generación de los residuos urbanos (RU) es esencial cuando se trata de diseñar un sistema integral de gestión de RU en una determinada zona geográfica. Si además se conocen factores que influyen en la misma, los técnicos pueden diseñar una gestión más eficiente y ajustada a la zona de estudio.

Existen numerosas investigaciones que analizan la generación de los RU en función de factores socio-económicos, demográficos y logísticos (Hocket *et al.* 1995, Abu-Qdais *et al.* 1997, Daskalopoulos *et al.* 1998, Beigl *et al.* 2004, Thanh *et al.* 2010) utilizando mayoritariamente modelos de regresión lineal.

Algunos autores han centrado este tipo de trabajos en el análisis de fracciones concretas de los RU, ya que en cada fracción pueden influir factores distintos y de diferente manera. Es el caso de los estudios de Bandara *et al.* (2007) y Thanh *et al.* (2010) con la materia orgánica; de Bach *et al.* (2004) y Berglund *et al.* (2002) con el papel y de Hage y Söderholm (2008) con el plástico.

Cuando se estudia un área geográfica puede ocurrir que determinadas zonas sean distintas con respecto a un factor y los modelos tengan que establecerse por separado según zonas (Beigl *et al.* 2004, Bandara *et al.* 2007).

En el estudio que aquí se presenta se ha analizado la generación de los RU de los municipios españoles mayores de 5000 habitantes en función de una serie de variables demográficas, climáticas y socio-económicas. Los datos de generación se han obtenido a partir de cuestionarios enviados a los ayuntamientos de los municipios seleccionados en una muestra aleatoria y de un estudio anterior (Gallardo *et al.* 2010). El análisis realizado ha consistido en determinar si se pueden establecer diferencias en la TGA_{ru} en cuanto al tamaño de las ciudades, la zona climática y las zonas turísticas. Se ha determinado si existen tales diferencias mediante contrastes de hipótesis. Además se han establecido modelos de regresión lineal (Peña 2002) con las variables socioeconómicas. Los cálculos requeridos, tanto para los contrastes de hipótesis como para la regresión, se han realizado con el software SPSS 17.0 (Pérez 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

España ocupa la mayor parte de la península Ibérica, se añaden a ella los archipiélagos de las islas

Baleares (en el Mediterráneo occidental) y de las islas Canarias (en el océano Atlántico nororiental) y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla, situadas en el norte de África.

Como características demográficas, según el Instituto Nacional de Estadística (INE 2008a), en el año 2008 había en España 46 745 807 habitantes. Del conjunto total de la población, 5 648 671 son de nacionalidad extranjera, lo que representa el 12 % de la población total. La densidad de población, de 92.63 hab/km² y muy desigual a lo largo del territorio. Las zonas más densamente pobladas se concentran en la costa y en el área metropolitana de Madrid, en el centro del país. En total hay 8112 municipios (INE 2008a).

En cuanto al clima, es muy diverso debido a su posición y a las características propias del territorio. Las costas del sur y mediterráneas tienen un clima denominado mediterráneo de costa. En el centro el clima es más extremo, se trata del clima continental, que abarca casi toda la Península. La zona de la vertiente cantábrica y atlántica (norte de España) posee un clima oceánico.

En lo que respecta a la economía, el principal sector es el de servicios, cuya contribución al producto interior bruto es del 69 % (INE 2008b). El turismo es la aportación más relevante al sector servicios. En 2008 España recibió 52.7 millones de turistas, lo cual la situó en el tercer puesto mundial (UNWTO 2010) por detrás de Francia (79.2 millones) y de los Estados Unidos de América (57.9 millones). Dentro del país los principales destinos turísticos en 2008 fueron: Cataluña (14.3 millones de turistas), Baleares (10.1 millones), Canarias (9.4 millones), Andalucía (8 millones) y la Comunidad Valenciana (5.7 millones) (IET, 2008). Todas ellas, excepto Canarias, tienen costa en el mar Mediterráneo.

Obtención de la información

Los municipios mayores de 5000 habitantes suponen el 87 % de la población total de España, que corresponde a 1304 municipios. Por ello se define una muestra representativa para la característica que se va a estudiar, es decir, se determina el número de municipios a los que se envían los cuestionarios para cumplimentar con los datos de generación y composición.

Como se dispone de datos de generación de ciudades mayores de 50 000 habitantes (Gallardo *et al.* 2010) se calculará el tamaño muestral para las ciudades comprendidas entre 5000 y 50 000 habitantes, las cuales suponen un total de 1159 ciudades. Una vez obtenidos los datos de las respuestas se une con

los del estudio anterior con las ciudades mayores de 50 000 habitantes y se realiza una prueba de contraste de hipótesis para comprobar si existen diferencias entre las dos muestras por los años transcurridos entre ellas, lo cual determina la realización de un análisis conjunto o separado de los datos.

Cálculo del tamaño muestral

Dependiendo de la característica que se vaya a estudiar, la formulación para el cálculo del tamaño muestral varía. En este caso, como el objetivo es determinar la generación de residuos urbanos por habitante, se trata de datos continuos. Según (Bartlett *et al.* 2001), la ecuación correspondiente es la siguiente:

$$n_o = \frac{t^2 S^2}{d^2} \quad (1)$$

donde t es el nivel de confianza que viene determinado por el valor de α . Habitualmente se utiliza una confianza del 95% ($\alpha = 0.05$); con lo cual $t = 1.96$. S es la desviación estándar, que en este caso se tomará la desviación obtenida en el estudio anterior (Gallardo *et al.* 2010) y d es la precisión, es decir, el margen de error aceptable para media que se estima, que en el caso de datos continuos se utiliza un margen de error del 3 % (Bartlett *et al.* 2001).

Si el tamaño muestral resultante supera al 5 % del tamaño poblacional debe utilizarse la ecuación del tamaño muestral corregida (Bartlett *et al.* 2001):

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \quad (2)$$

donde N es el tamaño de la población.

Se aplica la ecuación 1 a nuestro caso tomando $S = 91.25$ y $d = 0.03 \times 366.26$; donde 366.26 es la media de kilogramos generados por persona y año obtenidos del estudio anterior (Gallardo *et al.* 2010). Se obtiene que $n_o = 265$. Si hallamos el 5 % del tamaño poblacional, es decir, $0.05 \times 1159 = 58$; observamos que el número de ciudades obtenido mediante la ecuación 1 supera a este valor. Por tanto, debe aplicarse la ecuación 2 que permite obtener una muestra de 216.

Por tanto, se envía el cuestionario a 216 municipios. Como en cada comunidad autónoma hay un número diferente de municipios entre 5000 y 50 000 habitantes, se ha determinado proporcionalmente el número necesario de ciudades a las que hay que enviar el cuestionario en cada una de ellas.

Obtención de la muestra

Tras obtener el tamaño muestral hay que deter-

minar qué ciudades formarán parte de la muestra. La elección debe ser aleatoria y para ello se ha creado un algoritmo para implementarlo en el software R (R Development Core Team 2008). Se ha creado una base de datos con los municipios de cada comunidad autónoma. Los datos de entrada al algoritmo son las distintas bases de datos y el tamaño de la muestra correspondiente a cada comunidad autónoma. El algoritmo devuelve los municipios aleatoriamente.

Elaboración, envío y recepción de las encuestas

Se ha elaborado un cuestionario para que los ayuntamientos de los diferentes municipios seleccionados lo completen con sus datos de generación. En él se pide información acerca de las toneladas de residuos urbanos recogidos y el año correspondiente a dichos datos. A partir de ellos se obtendrá la tasa anual de generación de residuos, TGA_i definida como los kilogramos que genera una persona en un año. El subíndice i toma el valor ru para los residuos urbanos.

En esta etapa del estudio se han obtenido datos del 53 % del total de la muestra considerada, lo que supone que la confianza se reduce al 80 % ($t = 1.28$). Si se unen estos datos con los de los municipios mayores de 50 000 que se disponían del estudio anterior, se tiene información del 45 % de las poblaciones consideradas entre ambos estudios.

Variables demográficas, climáticas y socioeconómicas

Además de los datos de generación, se requiere un conjunto de variables independientes, que serán variables demográficas, climáticas y socioeconómicas con las que se analizará su influencia en la generación de residuos urbanos.

Como variable demográfica se ha considerado el tamaño de las ciudades. Se define una variable categórica, *Tamaño*, que toma los valores: 1, si la ciudad tiene entre 5000 y 20 000 habitantes; 2, si la ciudad tiene entre 20 000 y 50 000 habitantes; y 3 si la ciudad tiene más de 50 000 habitantes. Como ya se ha comentado, en España existen cuatro zonas climatológicas: Norte, Centro, Este y Sur (**Fig. 1**). La variable *Zona climática* es una variable categórica que toma el valor 1 para la zona *Norte-Centro* y 2 para el *Este-Sur*.

En el ámbito de las variables socioeconómicas se ha definido otra variable categórica que es la de *Turismo*. Las comunidades autónomas que registran un mayor número de visitantes son las pertenecientes a las zonas este y sur. Por ello se ha definido la variable *Turismo* de la siguiente manera: toman el valor 0 los municipios de la zonas *Norte-Centro*; 1, los

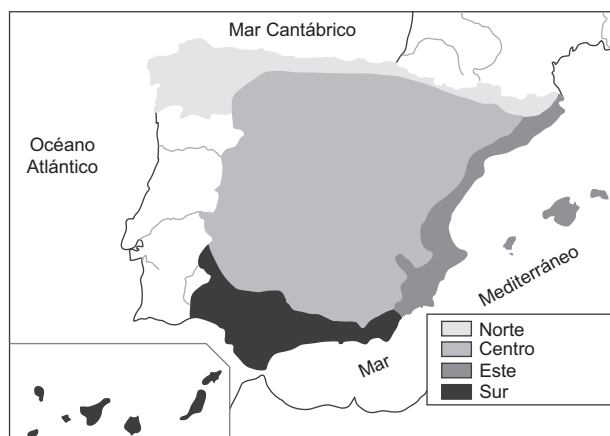


Figura 1. Mapa de las zonas climáticas de España

municipios que no tienen costa de la zona *Este-Sur*; y 2, los municipios costeros de la zona *Este-Sur*. Se ha hecho esta división porque los municipios costeros registran un mayor número de turistas que el resto y de este modo no se realizará el mismo análisis que en las zonas climáticas.

Otras variables socioeconómicas que se han considerado han sido el porcentaje de extranjeros, *Extranjeros*, el porcentaje de personas sin empleo, *Desempleados*, y el número de personas por automóvil, *Hab/coche*. Estas tres variables han sido obtenidas de los Institutos de Estadística de las diferentes comunidades autónomas. Se han elegido estas variables socioeconómicas porque eran las únicas existentes a nivel de ciudad, comunes a todos los institutos de estadística y actualizadas hasta el año del que se tienen los datos de generación de residuos. En cada ciudad se toma la variable correspondiente al año del que remite sus datos de generación de residuos urbanos que están comprendidos entre 2006 y 2009.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la generación por años

Se calculan los valores de la TGA_{ru} en cada municipio. Una vez obtenidos, se realiza el contraste de hipótesis según el año del que proceden los datos. Esto se hace como primer paso ya que los datos pertenecen a diferentes años.

El contraste a realizar es no paramétrico, ya que, como los coeficientes de asimetría y curtosis, 1.66 y 3.28 respectivamente, no están entre ± 0.5 (Martínez 2005) se trata de una muestra no normal (Siegel y Castellan 1998) y es el tipo de prueba adecuado para este tipo de muestras. La prueba no paramétrica que se utiliza para comprobar si existen

diferencias significativas en cuanto a la TGA_{ru} entre los años de los que se disponen los datos (de 2006 a 2009), es la prueba de Kruskal-Wallis. Esta prueba es la alternativa a la ANOVA cuando los datos no son normales. La hipótesis nula es la igualdad de medias y se rechazará dicha hipótesis cuando el nivel crítico sea inferior a 0.05.

En la prueba de la TGA_{ru} se ha obtenido un valor p de 0.914, por tanto no se rechaza la hipótesis nula, es decir, no se puede afirmar que las muestras de los diferentes años sean significativamente distintas y se utilizarán los datos como una sola muestra.

Análisis por tamaños

Para determinar si existen diferencias significativas entre los tamaños de población definidos por la variable *Tamaño* se ha aplicado la prueba de Kruskal-Wallis. Se ha obtenido un valor p de 0.928 para la TGA_{ru} , por tanto no se puede rechazar la hipótesis nula dado que el valor p no es inferior a 0.05. Con ello se puede concluir que no existen diferencias en cuanto a la generación de residuos urbanos dependiendo del tamaño que tengan los municipios (**Cuadro I**).

CUADRO I. TGA_{ru} MEDIAS SEGÚN EL TAMAÑO DE LAS CIUDADES

	5000-20 000 hab.	20 000-50 000 hab.	>50 000 hab.
TGA_{ru}	464.59	476.33	459.24

Análisis por zonas climáticas

Se ha determinado la influencia de la variable *Zona climática* en la TGA_{ru} . Para ello se ha utilizado el mismo procedimiento que se ha empleado en los apartados anteriores, la prueba de Kruskal-Wallis. Se ha obtenido un valor p inferior a 10^{-3} , por tanto se puede afirmar que existen diferencias significativas entre ambas zonas (**Cuadro II**). La zona *Este-Sur* se caracteriza por la dieta mediterránea, con mayor consumo de productos perecederos durante más tiempo, por tanto con mayor generación de residuos. Mientras que en la zona *Norte-Centro* el periodo de frío es más largo y se consumen menos productos frescos. Sin embargo, esta diferencia también puede deberse a la influencia del turismo, la cual se analiza en el siguiente apartado.

Influencia del turismo

Con la variable *Turismo* se realiza el mismo contraste de hipótesis que en los apartados anteriores.

Se analiza la generación de residuos en las zonas *Norte-Centro*, *Este-Sur* (interior) y *Este-Sur* (costa). Se ha obtenido un valor p inferior a 10^{-3} , por tanto existen diferencias significativas entre los tres grupos en cuanto a las TGA_{ru} .

CUADRO II. TGA_{ru} MEDIAS SEGÚN ZONA CLIMÁTICA

	Norte-Centro	Este-Sur
TGA_{ru}	411.44	502.32

El **cuadro III** recoge los datos medios de las TGA_{ru} en cada zona. Se puede ver como la zona *Este-Sur* con costa posee una generación superior al resto de zonas debido a la influencia del turismo. Bach *et al.* (2004) en su estudio sobre la determinación de las variables que influyen en la cantidad de residuos de papel recogidos hallaron que el número de pernотaciones por persona (turismo) influía positivamente en dicha cantidad de residuos.

CUADRO III. TGA_{ru} MEDIAS SEGÚN LA VARIABLE TURISMO

	Norte-Centro	Este-Sur (sin costa)	Este-Sur (costa)
TGA_{ru}	411.44	451.48	600.49

Modelos de regresión

Con el resto de variables socio-económicas (*Extranjeros*, *Desempleados* y *Hab/coche*) se han establecido modelos de regresión lineal en las tres zonas del apartado anterior, con la variable independiente TGA_{ru} . Se han hecho todas las combinaciones posibles con las tres variables socioeconómicas con cada una de las variables independientes y solamente se han hallado buenos ajustes para la zona *Este-Sur* con costa con las variables independientes *Extranjeros* y *Hab/coche*. En el **cuadro IV** se recogen la ecuación del modelo con los valores p obtenidos en cada variable entre paréntesis y el coeficiente de determinación (R^2).

Con el modelo de regresión obtenido la variable *Desempleados* no influye en la TGA_{ru} . Sin embargo, en el trabajo de Bandara *et al.* (2007) se determinó

CUADRO IV. MODELOS DE REGRESIÓN

Modelo	R^2
$TGA_{ru}(\text{costa}) = 1095.15 + 4.89\text{Extranjeros} - 272.28\text{Hab/coche}$ (0.000) (0.102) (0.000)	0.607

que el porcentaje de personas con empleo influía positivamente en la cantidad de residuos urbanos generados.

Con los datos obtenidos de la regresión que modeliza la variable TGA_{ru} en la zona *Este-Sur* con costa (**Cuadro IV**), se puede observar a partir del coeficiente de determinación (R^2), que las variables independientes del modelo explican el 60.7 % de la variabilidad de la TGA_{ru} . Se puede observar que la variable *Extranjeros* no se puede considerar significativa por tener un valor p no inferior a 0.1 y que la variable *Hab/coche* influye negativamente en la generación de residuos urbanos. La justificación del modelo es lógica puesto que la disminución de personas por vehículo está directamente relacionada con un aumento en el nivel de renta y, como se analizó en el estudio de Gallardo (2000), ello conlleva a que a mayor renta haya una mayor generación de residuos.

En lo que respecta a las variables relacionadas con el nivel de renta, Thanh *et al.* (2010) determinaron también que los ingresos por hogar influían positivamente en la cantidad de residuos generados. Sin embargo, en el trabajo de Ojeda *et al.* (2008) se determinó que la generación de residuos era similar en los tres estratos socioeconómicos considerados. En el caso de la generación de residuos de plástico, Hage y Soderholm (2008) determinaron que el porcentaje de extranjeros influía positivamente en dicha generación. Estas comparaciones son relativas ya que cada estudio considera un área diferente.

CONCLUSIONES

Se han calculado los valores de la tasa de generación anual del total de los residuos urbanos, TGA_{ru} , de las ciudades españolas mayores de 5000 habitantes. Además, con las variables categóricas *Tamaño*, *Zonas climáticas* y *Turismo* se ha determinado que no existen diferencias en la generación de residuos urbanos según el tamaño de los municipios, mientras que sí se pueden hallar diferencias según las zonas climáticas y las zonas turísticas.

Por otra parte, se han calculado modelos de regresión lineal para modelizar la TGA_{ru} a través las variables independientes *Extranjeros*, *Desempleados* y *Hab/coche*. Los mejores ajustes se han hallado para la zona *Este-Sur* con costa. Las variables que describen la TGA_{ru} son *Extranjeros*, que influye positivamente y *Hab/coche*, que influye negativamente, aunque *Extranjeros* no se puede considerar que sea significativa.

REFERENCIAS

- Abu-Qdais H. A., Hamoda M. F. y Newham J. (1997) Analysis of residential solid waste at generation sites. *Waste Manage. Res.* 395-406.
- Bach H., Mild A., Natter M. y Weber A. (2004) Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper. *Resour. Conser. Recycl.* 41, 65-73.
- Bandara N., Hettiaratchi J., Wirasinghe S. y Pilapiiya, S. (2007) Relation of waste generation and composition to socioeconomic factors: a case study. *Environ. Monit. Assess.* 135, 31-39.
- Bartlett J. E., Kotlik J. W. y Higgins C. C. (2001) Organizational research: Determining appropriate sample size in survey researches. *Inform. Technol. Learn. Perform. J.* 19, 43-50.
- Beigl P., Wassermann G., Schneider F. y Salhofer S. (2004) Forecasting municipal solid waste generation in major European cities. <http://www.ieemss.org> (27/09/2008).
- Berglund C., Söderholm P. y Nilsson M. (2002) A note on inter-country differences in waste paper recovery and utilization. *Resour. Conserv. Recycl.* 34, 175-191.
- Daskalopoulos E., Badr O. y Probert S. D. (1998) Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America. *Resour. Conserv. Recycl.* 24, 155-166.
- Gallardo A. (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. Tesis de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 482 p.
- Gallardo A., Bovea M., Colomer F., Prades M. y Carlos M. (2010) Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste. Manage.* 30, 379-406.
- Hage O. y Söderholm P. (2008) An econometric analysis of regional differences in household waste collection: The case of plastic packaging waste in Sweden. *Waste Manage.* 26, 1720-1732.
- Hockett D., Lober D. y Pilgrim K. (1995) Determinants of per capita municipal solid waste generation in the South-eastern United States. *J. Environ. Manage.* 45, 205-217.
- INE (2008a) Demografía y población. Cifras de población y censos demográficos. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es>. (16/03/2011)
- INE (2008b) Sociedad. Análisis sociales. Instituto Nacional de Estadística <http://www.ine.es> (16/03/2011)
- IET (2008) Balance del turismo. Resultados de la actividad turística en España. Informe 2008. <http://www.iet.tourspain.es>. (16 /03/ 2011)
- Martínez C. (2005) *Estadística y muestreo*. Ecoeditores.
- Ojeda S., Armijo-de Vega C. y Marquez-Montenegro M.Y. (2008) Household solid waste characterization by family socioeconomic profile as unit of analysis. *Resour. Conser. Recycl.* 52, 992-999.
- Peña D. (2002) *Regresión y diseño de experimentos*. Alianza Editorial, Madrid. 741 p.
- Pérez C. (2001) *Técnicas estadísticas con SPSS*. Prentice Hall, Madrid.
- R Development Core Team. (2008) R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, <http://www.R-project.org> (16 /03/ 2011)
- Siegel S. y Castellan N. (1998). *Nonparametric statistics for the Behavioral sciences*. McGraw-Hill.
- Thanh N., Matsui Y. y Fujiwara T. (2010) Household solid waste generation and characteritic in Mekong Delta city, Vietnam. *J. Environ. Manag.* 91, 2307-2321.
- UNWTWO. (2010). World's Top Tourism Destinations 2009 UNWTWO, World Toursim Barometer 8, 9-11.