

GENERACIÓN DE RESIDUOS DOMÉSTICOS Y SU VARIABILIDAD EN COMUNIDADES DE TAMAÑO INTERMEDIO

Juan Antonio MUNIZAGA PLAZA y Amaya LOBO GARCÍA DE CORTÁZAR*

Grupo de Ingeniería Ambiental, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, Avda. de Los Castros, s/n 39005 Santander, España

*Autor responsable; amaya.lobo@unican.es

(Recibido agosto 2011, aceptado febrero 2013)

Palabras clave: residuos domésticos, población, tasa de generación, factor punta, recogida selectiva

RESUMEN

En este artículo se propone una metodología para la evaluación de los parámetros básicos en el análisis y diseño de equipamiento en sistemas de gestión de residuos domésticos: la tasa de generación de residuos y su variabilidad, caracterizada a través de los factores punta. Para analizar de manera efectiva el comportamiento de la población se propone calcular la tasa de generación per cápita basada en la población total (población censada más población estacional) del municipio. Los factores punta relacionan las generaciones máximas y mínimas, a lo largo de un determinado período (día, semana, mes) con la generación media equivalente. Para calcularlos se deben discriminar los valores extremos y considerar períodos móviles a lo largo del año. Con estas propuestas se estudió la generación de residuos domésticos en 11 municipios de una región española en el periodo 2006-2009, considerando las fracciones de recogida selectiva (envases ligeros, papel y cartón y vidrio) y la fracción de residuos mezclados. Se obtuvo, en el conjunto de municipios, una tasa de generación per cápita de 403 kg/hab/año y valores de factor punta y mínimo mensual de 1.22 y 0.86, globales para las corrientes de residuos estudiadas. Los resultados ponen de manifiesto la importancia de la población estacional sobre el sistema de gestión de residuos domésticos, mostrando que tanto la tasa de generación per cápita como los factores punta no tienen una relación directa con el tamaño de la población censada. Estas conclusiones resaltan el impacto de la población estacional (por ejemplo el turismo) en los sistemas de gestión ambiental, cuyo coste se repercute por lo general sobre la población permanente del municipio.

Key words: household waste, population, generation rate, peak factor, separate collection

ABSTRACT

This paper proposes a methodology for the evaluation of two basic parameters in the analysis and design of equipment in household waste management systems: the waste generation rate and its variability, characterized by peak generation factors. To effectively analyze the behavior of the population, it is proposed to calculate the per capita generation rate based on the total population responsible for generating waste (the long-term residents as well as seasonal population) in the municipality. Peak generation factors relate maximum and minimum values, during a given period of time

(day, week, and month) with its equivalent average generation. To calculate them the extreme values must be excluded and the moving intervals throughout the year considered. With this methodology, the generation of household waste in 11 municipalities in a Spanish region from 2006-2009 was studied, considering the selectively collected (light packaging, paper/cardboard and glass) as well as the fraction of mixed waste. In the group of municipalities, a per capita generation rate of 403 kg/capita/year and the peak and minimum monthly generation factors of 1.22 and 0.86 were obtained for the global waste streams considered in the study. The importance of the seasonal population on the household waste management system of a municipality is highlighted in the results. This shows that neither the per capita generation rate, nor the peak generation factors, correlate directly with the size of long-term resident population. These findings highlight the impact of the seasonal population (e.g. tourism) in environmental management systems. Nevertheless, the cost is passed, almost always onto the long-term resident population of the municipality.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos, científicos y sociales de la humanidad en los dos últimos siglos, han generado un coste ambiental para el planeta, que ha sobrepasado o se acerca peligrosamente a los límites de su biocapacidad (OSE 2012). Parte de este coste ambiental es provocado por la generación de residuos, que actualmente constituye uno de los problemas más graves, tanto por su ritmo de crecimiento como por su heterogeneidad y peligrosidad para el ambiente y la salud pública. Sin embargo, cuando estos residuos se gestionan de forma adecuada, se transforman en recursos que favorecen el ahorro de materias primas, la conservación de recursos naturales, la reducción del impacto ambiental y el desarrollo sostenible.

Entre las diferentes corrientes de residuos que se generan hoy en día, los residuos domésticos presentan una gran complejidad para su correcta gestión, debido principalmente a los diversos materiales de los que están compuestos, la intensidad y dispersión de los puntos de generación y a su variabilidad de carácter estacional o festivo.

Para cuantificar la generación de residuos domésticos se ha empleado tradicionalmente el concepto de tasa de generación per cápita (TGPC), que relaciona el peso de los residuos generado por cada habitante por unidad de tiempo (por ejemplo, kg generados por habitante y año). Es el parámetro más comúnmente empleado por las agencias ambientales para comparar la situación de distintas comunidades en este campo.

Habitualmente esta tasa se evalúa a partir de la cantidad de residuos generados en un año, dividiéndola entre el tamaño de la población considerada. Conociendo la tasa de generación de residuos per cápita se puede estimar la cantidad de residuos

generada en el lugar, en función de su población. Esto permite abordar los planes de gestión y hacer unas primeras estimaciones de las capacidades necesarias en los distintos equipamientos de gestión de residuos.

Sin embargo, para un diseño en detalle es necesario considerar las variaciones temporales que se producen en la generación de residuos. Factores tales como los hábitos de consumo, el crecimiento y migraciones estacionales de la población generadora, hacen que las cantidades de residuos domésticos a gestionar presenten una fluctuación diaria, semanal, mensual o de temporada estacional (Rhyner *et al.* 1995).

Es importante considerar estas variaciones al dimensionar el equipamiento de gestión. Por ejemplo, el diseño de una instalación de almacenamiento con una capacidad superior a la necesaria es antieconómico y, por el contrario, un sistema de recogida de residuos que no es capaz de soportar la carga generada resulta un problema sanitario para la población.

Para determinar y manejar estas variaciones de generación en el proceso de diseño se utilizan los “factores punta”, que relacionan las cantidades máximas o mínimas generadas con las cantidades medias en un determinado periodo de tiempo que puede ser de carácter diario, semanal o mensual (Morrison *et al.* 1965). Algunas de sus aplicaciones directas en el área de diseño y optimización son: el factor punta diario (FPD) se emplea para mejorar los sistemas de recogida, transporte y depósito, el factor punta semanal (FPS) puede ser utilizado al dimensionar fosos de recepción de estaciones de transferencia y, según el proceso, plantas de tratamiento y valorización energética, mientras que el factor punta mensual (FPM) debe considerarse en el dimensionamiento de una planta de tratamiento, incineradora, puntos limpios, entre otras.

Los valores extremos de generación de residuos son provocados por variados factores propios de cada ciudad o comunidad, dentro de los que destacan los factores estacionales (como la población turista y de segunda residencia, poda y limpieza de jardines) y factores festivos (fiestas de fin de año, semana santa, fiestas especiales de cada localidad, etc.). Algunos autores han publicado valores de referencia, tanto para la tasa como para los factores punta de generación de residuos domésticos. Normalmente se relacionan estos valores con el tamaño de la población (Tchobanoglous *et al.* 1993, Rhyner *et al.* 1995, Reinhart *et al.* 2002, Pitchel 2005, Williams 2005), ya que éste es uno de los factores que más influye en el estilo de vida. Sin embargo, hay otros factores condicionantes tales como el nivel de desarrollo, estructura económica, etc., que pueden ser igualmente importantes y provocar que la población no esté correlacionada con la generación de residuos, como indican Hockett *et al.* (1995).

Por otro lado, no es sencillo obtener estos parámetros básicos en cualquier lugar, sobre todo los referidos a la variación estacional, ya que no siempre se tiene acceso a la información de carácter diario, semanal o mensual. En muchos casos los municipios o agencias ambientales sólo poseen valores de carácter anual.

Además, existe una falta de homogeneización de los aspectos metodológicos para la cuantificación de la generación de residuos. En España, por ejemplo, MARM (2008) pone de manifiesto que existen diferencias entre el recuento del Ministerio de Medio Ambiente y las estimaciones del Instituto Nacional de Estadística (INE) que son enviadas al centro europeo de datos ambientales sobre residuos EUROSTAT. El Ministerio utiliza como definición los residuos urbanos de origen domiciliario y excluye otros flujos de residuos que sí son utilizados por INE. Además, existe poca claridad respecto a la población generadora estimada para el cálculo de TGPC de residuos. Por lo general sólo se consideran los censos poblacionales, que no tienen en cuenta la población estacional o móvil que también genera residuos en una ciudad.

En el presente estudio se propone una metodología para estimar los factores básicos de diseño, tasa de generación per cápita y los factores punta de generación de residuos sólidos domésticos teniendo en cuenta la población real de los municipios. Para probar su utilidad, la metodología se ha aplicado a las diferentes corrientes de residuos sólidos domésticos recogidos en 11 municipios de tamaño intermedio (poblaciones entre 10 000 y 200 000 habitantes) de la región de Cantabria (España). En los apartados siguientes se describe la metodología, se muestran

los resultados obtenidos en su aplicación y las conclusiones derivadas.

METODOLOGÍA

Recopilación de la información

La metodología propuesta para calcular los parámetros básicos de diseño de elementos del sistema de gestión de residuos domésticos comienza con la recopilación de la información disponible. La información requerida engloba datos del sistema de recogida de residuos y datos sobre la población.

La información sobre cantidades generadas de residuos ha de ser lo más detallada posible. Debe incluir preferiblemente datos diarios, y abarcar todas las corrientes de residuos que se desean estudiar. Para ello muchas veces no es suficiente con acudir al municipio, porque éste recibe la información agregada, según los períodos de facturación de los servicios de gestión. Hay que recurrir a las entidades encargadas de la recogida, que pueden ser varias si existe una recogida separada de algunos materiales.

En cuanto a los registros de población, los institutos de estadística elaboran proyecciones anuales con base en censos, donde se considera la población total de una ciudad o localidad como el número de personas que en el momento censal tiene su residencia habitual en el territorio considerado (INE 2010a). Por lo general, no hacen mención a la población estacional, estival o en tránsito, pero sí existen registros de plazas hoteleras o viviendas de segunda residencia y de los grados de ocupación de las mismas a lo largo del año que pueden servir para hacer una estimación de las mismas, como se comenta a continuación.

Cálculo de los parámetros de diseño

La tasa de generación de residuos per cápita, TGPC, puede expresarse según la ecuación 1.

$$TGPC = \frac{\text{Generación de residuos}}{\text{Población generadora}} \quad (\text{kg/hab/d}) \quad \text{ó} \quad (\text{kg/hab/año}) \quad (1)$$

Para tener en cuenta de manera realista el comportamiento de la población considerada, la población generadora de residuos en (1) debe representar la carga real o habitual de población del municipio y considerar tanto la población fija residente como la población estacional. Ésta última puede cuantificarse como el número de turistas que pernoctan en plazas hoteleras de la ciudad más la población que hace uso de una segunda residencia (ecuación 2).

El número aproximado de turistas o viajeros entrados puede calcularse aplicando el grado de ocupación por plazas de hospedaje (%) para cada mes al número de plazas estimadas dentro del término municipal. Esta información se encuentra disponible en la encuesta de ocupación hotelera de carácter mensual entregada por el instituto de estadística correspondiente.

$$\text{Población Estacional} = \% OC \times (Pd + P2r) + \text{Población sin cuantificar} \quad (2)$$

Dónde:

$\% OC$ = Grado de ocupación por plazas de hospedaje

Pd = Plazas disponibles

$P2r$ = Plazas de 2da residencia

En este cálculo no se toma en consideración la población que no pernocta en plazas hoteleras o no hace uso de viviendas de segunda residencia, pero sí se encuentra de paso por la ciudad (como estudiantes, trabajadores, etc.) y genera residuos. Debido a que esta población no es cuantificable, se asume un grado de error en el cálculo de la población total. Este error depende de las actividades en cada municipio (la presencia de alguna industria atrayente de empleados, centros docentes y administrativos, etc.) y podría estimarse a través de variables indirectas (recuento de vehículos entrantes y salientes diariamente, por ejemplo) o en estudios específicos.

Factores punta máximo y mínimo de generación de residuos

Las ecuaciones 3, 4 y 5 presentan las fórmulas para el cálculo de los valores del factor punta de generación diario, semanal y mensual respectivamente.

$$FPD = \frac{\text{Generación máxima diaria}}{\text{Generación media diaria}} \quad (3)$$

$$FPS = \frac{\text{Generación máxima semanal}}{\text{Generación media diaria} \times 7 \text{ días}} \quad (4)$$

$$FPM = \frac{\text{Generación máxima mensual}}{\text{Generación media diaria} \times 30 \text{ días}} \quad (5)$$

Así, los factores punta máximos surgen de la relación entre los valores de generación máxima observados y la generación media correspondientes al período considerado.

De manera equivalente pueden definirse los factores punta mínimos como la relación entre la mínima

cantidad generada en el período considerado y el valor medio correspondiente. Su utilidad es menos evidente que la de los factores punta. Viene dada por las opciones de aprovechamiento de la capacidad en momentos de baja demanda. Por ejemplo, al estudiar las opciones de introducir en una planta de tratamiento los residuos remanentes de otras épocas del año.

Para evitar el sobredimensionamiento, al considerar los eventos extremos se deben discriminar los casos excepcionales. Por ello es aconsejable rechazar los valores máximos por encima del percentil 95 %, y los mínimos por debajo del percentil 5 % (Research and Education Association 1978). En otras palabras, si la recogida se realiza diariamente durante el año, es aconsejable excluir de la serie de datos los 18 días o dos semanas de valores extremos, que pueden tener una distorsión provocada, por ejemplo, por incidencias en el servicio de recogida de residuos, o eventos particulares en la comunidad. Estos valores se determinan organizando la serie de datos en orden de magnitud creciente y asignando un número de orden a cada valor en la serie. A continuación se aplica el porcentaje de excedencia dado en la ecuación 6, para cada uno de los valores de la muestra (Tchobanoglous *et al.* 1993). Organizada la serie de datos, se excluyen los valores menores al 5 % y mayores al 95 %.

$$\text{Porcentaje de excedencia} = \frac{\text{No de orden en la serie}}{\text{No de observaciones} + 1} \times 100 \quad (6)$$

Por otro lado, el valor punta diario es fácilmente identificable durante el año, pero no así el valor punta semanal o mensual. Por ejemplo, si se analiza en detalle, la generación máxima o mínima de una semana (estrictamente de lunes a domingo) no necesariamente entrega el mayor o menor valor de generación correspondiente a siete días consecutivos, ya que la generación de residuos durante este periodo puede tener valores máximos en uno o varios días, en forma consecutiva o alternada, a causa de una menor recogida por ser un día festivo, etc. Para considerar todas las posibles combinaciones de generación máxima, las generaciones temporales se deben considerar sobre un período móvil: una semana móvil que se mueve día a día en forma consecutiva para obtener los valores puntas semanales, o un mes móvil, de 30 días, al hallar los valores mensuales.

Caso de aplicación

Como caso de aplicación se utilizó esta metodología para analizar la generación de residuos domésticos en los mayores municipios de la región de

Cantabria. Cantabria es una Comunidad Autónoma situada en el Norte de España, en el litoral cantábrico. Su población actual es de 590 000 habitantes, con un producto interno bruto (PIB) de 23.343 €/cápita (ICANE 2010). La actividad económica se centra principalmente en el sector servicios (64 %), vinculada en su mayor parte al turismo en localidades costeras y algún valle interior. La industria supone un 22 % de su actividad económica y se agrupa entorno a su capital y otros dos municipios principales. Teniendo en cuenta que la población puede ser un factor diferencial para la generación de residuos, en este estudio se seleccionaron para el análisis los 11 municipios con población mayor a 10 000 habitantes (y menor a 200 000 habitantes), que serían característicos de los municipios de tamaño intermedio. Estos municipios, que se han enumerado como Mun 01 a Mun 11, agrupan el 68.8 % de la población en la región (INE 2010b).

El sistema de gestión de los residuos domésticos en estos municipios incluye en todos ellos, desde 2006, la recogida selectiva de tres fracciones reciclables (envases ligeros, que incluye envases plásticos, metálicos y multicapa; residuos de papel y cartón y vidrio). En este estudio se consideraron estas tres corrientes y la de residuos mezclados, denominada también fracción “resto”. No se han considerado los residuos de recogida especial (voluminosos, residuos peligrosos del hogar, etc.), pues suponen un volumen menor y siguen una gestión muy diferente a los otros materiales.

Teniendo en cuenta el momento de implantación total del sistema de recogida selectiva en todos los municipios, para el análisis de los residuos sólidos se consideró el periodo 2006 a 2009 (en el momento de elaboración del estudio no se disponían de datos más

recientes). En el proceso de recopilación de información se consultaron los municipios implicados, la empresa regional encargada de la recogida de residuos mezclados, papel y cartón y envases ligeros en los municipios menores de 50 000 habitantes, la empresa recicladora de vidrio y la empresa explotadora de la planta de tratamiento integral de los residuos domésticos en la región. Sólo se obtuvo información de carácter diario relativa a los residuos mezclados en casi todos los municipios. Al ser la frecuencia de recogida menor, para el resto de fracciones se obtuvieron datos de carácter mensual, salvo para el vidrio, del que se recopilaban valores de carácter anual, desglosados en meses sólo para tres municipios. Por este motivo el estudio de variabilidad se centró en los valores mensuales de las corrientes de residuos mezclados, papel y cartón y envases ligeros, como se muestra a continuación. La discusión se centra en los valores obtenidos para la TGPC y los FPM máximos, por ser los parámetros más relevantes.

RESULTADOS

Los cuadros I y II reúnen los datos de población censada y población total, las tasas de generación medias del período 2006-2009 y los factores punta máximo y mínimo obtenidos en cada municipio para cada corriente de residuos, así como los valores agregados. En estos resultados se observa que hay variaciones significativas en las TGPC (de hasta el 26 % sobre la media) y en los FPM (de hasta el 44 % sobre la media). Entre los factores punta observados, destacan los municipios con mayor componente estacional (Mun 03, Mun 05 y Mun 08).

CUADRO I. POBLACIÓN ESTIMADA Y TGPC MEDIA DE RESIDUOS DOMÉSTICOS PARA PERIODO 2006-2009

Municipios	Pob. censada*	Pob. media estimada*	Residuos mezclados**	Envases ligeros**	Papel y cartón**	Vidrio **	TGPC total**	TGPC total***
Mun 01	182 433	197 543	0.94	0.02	0.08	0.04	1.08	394
Mun 02	55 855	57 351	0.98	0.03	0.07	0.03	1.11	406
Mun 03	30 172	44 536	0.93	0.01	0.04	0.04	1.02	373
Mun 04	30 794	31 872	1.11	0.02	0.08	0.03	1.24	452
Mun 05	12 791	28 269	0.96	0.01	0.02	0.04	1.03	376
Mun 06	18 319	19 397	1.14	0.01	0.04	0.03	1.22	446
Mun 07	16 713	17 148	0.96	0.03	0.09	0.01	1.08	396
Mun 08	11 570	14 664	1.04	0.01	0.04	0.04	1.13	413
Mun 09	10 722	11 809	1.30	0.01	0.06	0.02	1.39	509
Mun 10	11 359	11 676	0.94	0.01	0.04	0.04	1.04	378
Mun 11	10 276	11 216	0.96	0.02	0.08	0.06	1.11	405
Total (suma o media)	391 004	445 481	0.98	0.02	0.06	0.04	1.10	403

* hab/día, ** kg/hab/día, ***kg/hab/año

CUADRO II. FACTORES PUNTA MENSUALES (FPM) DE RESIDUOS DOMÉSTICOS PARA PERIODO 2006-2009

Municipio	FPM residuos mezclados		FPM residuos envases		FPM residuos papel y cartón		FPM globales	
	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín
Mun 01	1.07	0.95	1.10	0.91	1.09	0.91	1.10	0.90
Mun 02	1.03	0.96	1.19	0.91	1.16	0.89	1.09	0.91
Mun 03	1.25	0.86	1.30	0.81	1.17	0.83	1.29	0.83
Mun 04	1.09	0.90	1.15	0.82	1.16	0.85	1.10	0.88
Mun 05	1.67	0.75	1.41	0.78	1.27	0.85	1.76	0.75
Mun 06	1.16	0.87	1.23	0.82	1.16	0.79	1.20	0.83
Mun 07	1.06	0.94	1.22	0.79	1.16	0.86	1.08	0.92
Mun 08	1.32	0.87	1.43	0.71	1.24	0.79	1.38	0.83
Mun 09	1.13	0.87	1.23	0.82	1.19	0.82	1.16	0.83
Mun 10	1.10	0.90	1.23	0.82	1.26	0.79	1.15	0.84
Mun 11	1.11	0.90	1.20	0.78	1.16	0.80	1.11	0.92
Media	1.18	0.89	1.24	0.82	1.18	0.83	1.22	0.86

La **figura 1** presenta los valores medios mensuales de generación per cápita de cada corriente de residuos obtenidos considerando los 11 municipios. Como se observa, en el periodo 2006-2009 hubo una tendencia al decrecimiento en la generación de residuos: las tasas globales de generación evolucionan desde 403 kg/hab/año hasta 389 kg/hab/año, lo que supone un decrecimiento del 3.5 %. Considerando los distintos tipos de materiales, los resultados muestran un decrecimiento del 6.7 % en el valor de TGPC de los residuos mezclados (se pasa de 365 kg/hab/año a 340 kg/hab/año) y un incremento del 26.6 % de los residuos reciclables recogidos separadamente (al pasar de 39 kg/hab/año a 49 kg/hab/año).

Por otro lado, como ejemplo, en la **figura 2** se compara la evolución de la generación de residuos totales con la evolución de la población total en el Municipio 05. Se pone de manifiesto la relación directa entre el aumento en la generación de residuos

y el aumento de la población real, con fuerte componente estacional en temporada de verano.

La **figura 3** muestra el ratio población estacional/población total de cada municipio en relación con los factores punta máximo y mínimo mensuales obtenidos para las corrientes de residuos consideradas. Se observa cómo los mayores porcentajes de variación estacional de población (Mun 03, Mun 05 y Mun 08) se corresponden con los mayores factores punta máximo y menores factores mínimos.

DISCUSIÓN

Los resultados mostrados en los **cuadros I y II** revelan que, para el rango de población estudiado, ni el valor de tasa de generación per cápita (TGPC) ni los factores punta tienen una relación directa con el tamaño de la población oficialmente registrada,

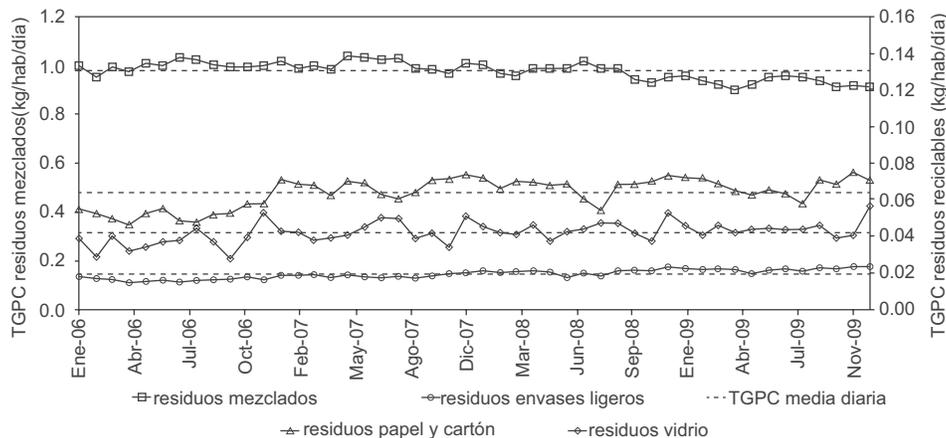


Fig. 1. Evolución de la media de TGPC diaria de las corrientes de residuos en los 11 municipios

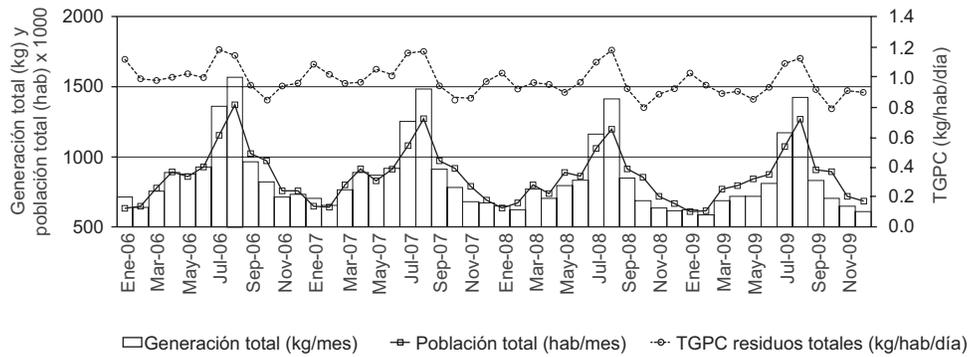


Fig. 2. Evolución de la generación de residuos totales vs. población total en el Mun 05

frente a lo que algunos autores han señalado (Rhyner *et al.* 1988, Pitchel 2005 y Williams 2005). Para el Mun 01, por ejemplo, que es el municipio de mayor población, se obtiene una TGPC de 394 kg/hab/año, frente al municipio Mun 09 que, con una población diecisiete veces menor, registra una TGPC de 509 kg/hab/año. Esto es debido esencialmente a que estos parámetros se ven afectados por la variación estacional de la población (ver **Figs. 2 y 3**), y coincide con lo observado por Maclaren y Yu (1995), que señalaron la importancia de considerar los residuos generados por la población estacional. En esta línea, en OSE (2008) también se señala que la TGPC de residuos no guarda relación con el tamaño de la ciudad. Además, se menciona que, al igual que en este estudio, en poblaciones costeras se obtienen mayores TGPC que en poblaciones interiores, pero dentro de éstas no se detecta tampoco una relación entre generación de residuos y el tamaño de población.

Entre las TGPC mostradas en el **cuadro I**, las mayores tasas corresponden a municipios cercanos a la capital (Mun 09, Mun 04, Mun 06 y Mun 02), donde recientemente ha trasladado su residencia una fracción importante de población, que aún no

figura en los registros del censo y tampoco ha sido considerada como población estacional (ya que no existen estudios acabados al respecto).

Otro aspecto a tener en cuenta, es la compleja cuantificación de las migraciones diarias, debido nuevamente a la falta de información estandarizada, como las personas que trabajan en un término municipal distinto al de residencia, las que no pernoctan en la ciudad, pero sí hacen uso de centros de ocio, playas, espacios públicos, etc. Esto se pone de manifiesto en la **figura 2**, donde se muestra la variación de la TGPC del Mun 05 a lo largo del tiempo. Como para los cálculos se ha tenido en cuenta la población total (incluyendo la estacional correspondiente a cada mes, según el método presentado en el apartado anterior), la oscilación de la TGPC obtenida a lo largo del año se atribuye a la presencia de más población que la considerada. De hecho el municipio es conocido por la afluencia de público a las playas en la temporada estival o para estancias temporales en fines de semana y festivos. Esta incertidumbre impide obtener un valor preciso de la TGPC, aunque en todo caso, se logra una mejor aproximación a lo que realmente produce cada persona que calculando los valores sobre la población censada.

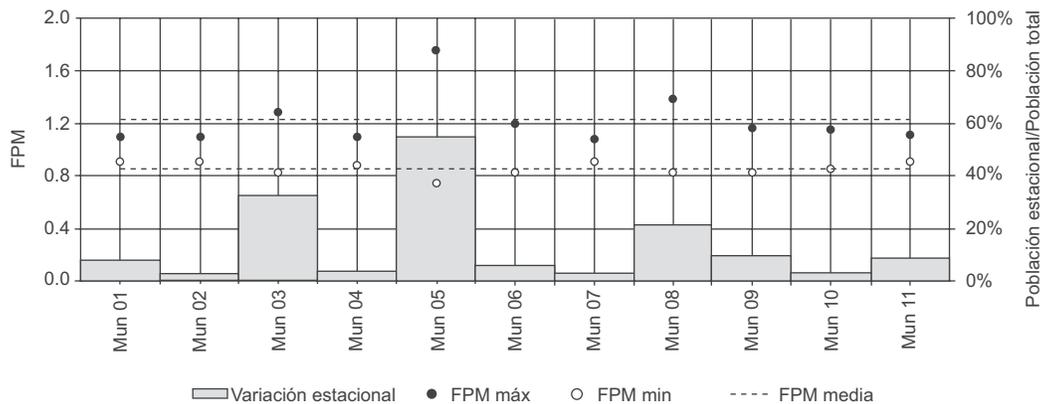


Fig. 3. FPM de los residuos totales generados en los 11 municipios

En comparación con la TGPC publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE 2009) para Cantabria, donde se señala que para el año 2007, el valor era de 593 kg/hab/año, los resultados obtenidos en este estudio son un 30 % menor. Sin embargo es posible que no exista ninguna desviación, simplemente que se trate de tasas diferentes. Como en otros casos, al declarar esta tasa no se especifica sobre qué población se ha calculado y no sólo eso, sino que se habla de “residuos sólidos municipales” o “residuos urbanos”, sin especificar los tipos de residuos incluidos, dejando un amplio rango de residuos posibles a considerar. Esto impide la comparación entre tasas y valores publicados por distintos organismos o en distintos períodos.

Finalmente, no se han obtenido diferencias significativas entre los factores punta hallados para las distintas corrientes de residuos en cada municipio, ni para los hallados agregando todos (**Cuadro II**). Esto indica que las cantidades recogidas de los distintos materiales evolucionan de manera similar, y por tanto que la población no cambia su comportamiento en este aspecto a lo largo del año.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha propuesto una metodología para el cálculo de los parámetros básicos de diseño de distintos elementos de un sistema de gestión de residuos domésticos, que permite tener en cuenta la población real del municipio y por tanto, caracterizar de mejor forma el comportamiento de la misma en cuanto a la generación de residuos.

En los casos estudiados se ha obtenido una TGPC global (de residuos mezclados, envases ligeros, papel y cartón y vidrio) promedio de 403 kg/hab/año, variando considerablemente entre los municipios (entre 373 y 509 kg/hab/año). Para el diseño de equipamiento de gestión en municipios de la zona, teniendo en cuenta la incertidumbre de las migraciones diarias, se sugiere considerar como referencia este rango o el valor promedio, aplicándolo sobre la población total correspondiente.

La variabilidad en la generación también ha sido diferente. Se han obtenido factores punta mensuales máximos (FPM) globales variando entre 1.08 y 1.76 y FPM mínimos globales variando entre 0.75 y 0.92.

En el análisis de resultados, se ha comprobado que no existe una relación directa del tamaño de la población con la tasa de generación per cápita (TGPC) y los factores punta de residuos domésticos considerados en este estudio.

El factor principal que condiciona los factores punta está relacionado directamente con la población estacional generadora de residuos, más que con los gustos y preferencias de los habitantes. Por lo tanto, los factores punta en este tipo de poblaciones, con influencia estacional relevante, son propios de cada comunidad o ciudad y no son extrapolables. A falta de datos, para una buena aproximación del valor del factor punta máximo en municipios turísticos, podría estimarse con la tasa población total máxima/población media.

Estas conclusiones confirman el impacto de la población estacional sobre el sistema de gestión de residuos y justifican, técnicamente, las iniciativas políticas de introducir tasas ambientales al turismo, para cubrir el sobrecoste de explotación por las sobrecargas temporales.

Por otro lado, la similitud entre los factores punta para diferentes corrientes de residuos generados indica que el comportamiento de la población, tanto en cuanto a la composición como a la separación del residuo producido, se mantiene a lo largo del año. Esto implica que el impacto estacional es similar en las distintas áreas del servicio de gestión de residuos.

Finalmente, en el estudio se ha comprobado que existe una dispersión y falta de datos estadísticos sobre residuos, causada por la participación de diferentes actores en la gestión de los mismos. Además, la información disponible muchas veces carece de precisión, lo que reduce su utilidad. Es importante mejorar la gestión en este ámbito, creando un banco de datos que agrupe toda la información del sistema y estandarizando los indicadores de evaluación, lo que contribuiría a la optimización del sistema de gestión de residuos. Esta necesidad es común en muchos lugares, como se indica, por ejemplo en el Reglamento CE 2150 (2002).

AGRADECIMIENTOS

A la Beca MAEC-AECID 2008-2010 de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, que permitió la realización de este Máster de Investigación en Ingeniería Ambiental en la Universidad de Cantabria (Santander, España) y el desarrollo de este artículo.

REFERENCIAS

Hockett D., Lober D.J. y Pilgrim K. (1995). Determinants of per capita municipal solid waste generation in the

- Southeastern United States. *J. Environ. Manage.* 45, 205-217.
- ICANE (2010). Contabilidad regional de España. Instituto Cántabro de Estadísticas [en línea] <http://www.icane.es/opencms/opencms/Publicaciones> 25/01/2010.
- INE (2010a). Censo de Población y Viviendas 2001. Instituto Nacional de Estadística de España [en línea]. http://www.ine.es/censo_accesible/es/inicio.jsp 25/01/2010.
- INE (2010b). Censo de Población y Viviendas. Base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas de España, [en línea]. http://www.ine.es/censo_accesible/es/inicio.jsp 25/01/2010.
- INE (2009). Encuesta sobre Residuos. Base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas de España, [en línea]. <http://www.ine.es/prensa/np572.pdf> 20/10/2009.
- Maclaren V. y Yu C-C. (1995). A comparison of two waste stream quantification and characterization methodologies. *Waste Manage. Res.* 13, 343-361.
- MARM (2008). Perfil Ambiental de España: Residuos 2.5, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino [en línea] http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/perfil_ambiental_2008/pdf/2_5Residuos.pdf 25/01/2010.
- Morrison M. y Tobias F. (1965). Some statistical characteristics of a peak to average ratio. *American Statistical Association and American Society for Quality.* 7, 379-385.
- OSE (2008). Sostenibilidad local: Una aproximación urbana y rural. Observatorio de la Sostenibilidad en España [en línea]. http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Informes/tematicos/sostenibilidad_local/sostenibilidad_local-esp.pdf 03/12/2012.
- OSE (2012). Retos para la Sostenibilidad: Camino a Río+20. Observatorio de la Sostenibilidad en España [En Línea]. http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Informes/tematicos/rio-20/RIO+20-esp.pdf 03/12/2012.
- Pitchel J. (2005). *Waste management practices: Municipal, hazardous and industrial.* Taylor & Francis EUA, 600 pp.
- Reglamento CE 2150 (2002). Norma Oficial del Parlamento Europeo y del Consejo. Estadísticas sobre los residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, DO L 332. 25 de noviembre de 2002.
- Reinhart D., Worrell W. y Vesilind P. (2002). *Solid Waste Engineering.* Brooks/Cole, Stamford, EUA, pp. 33-38.
- Research and Education Association (1978). *Modern Pollution Control Technology*, Vol. II. Research & Education Association, Nueva York, EUA, pp. 82-89.
- Rhyner C., Leander J., Schwartz L., Wenger R. y Kohrell M. (1995). *Waste management and Resource Recovery.* Lewis Publishers, Boca Ratón, EUA, pp.48-50.
- Rhyner C. y Green B. (1988). The predictive accuracy of published solid waste generation factors. *Waste Manage. Res.* 6, 329-338.
- Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management.* McGraw-Hill. Nueva York, EUA, pp. 137-145 y 927-929.
- Williams P. (2005). *Waste Treatment and Disposal.* John Wiley & Sons, Ltd, London, Reino Unido, pp. 69-77.