

III-210 - ESTUDIO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY

Maur D'Angelo

Estudiante de Ingeniería Civil Hidráulico y Ambiental. Ayudante del Departamento de Ingeniería Ambiental del IMFIA.

Pablo Kok

Estudiante de Ingeniería Civil Hidráulico y Ambiental.

Alice Elizabeth González

Ingeniera Civil Hidráulica y Sanitaria, Doctora en Ingeniería Ambiental. Profesora Agregada y Jefa del Departamento de Ingeniería Ambiental del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental IMFIA.

Julieta Lopez

Ingeniera Civil Hidráulico y Ambiental. Estudiante de la maestría en Ingeniería Ambiental de la Udelar. Profesora adjunta del Departamento de Ingeniería Ambiental del IMFIA.

Nicolás Rezzano Tizze

Ingeniero Civil Hidráulico y Ambiental. Estudiante de la maestría en Ingeniería Ambiental de la Udelar. Asistente del Departamento de Ingeniería Ambiental del IMFIA.

Endereço: Av. Julio Herrera y Reissig 565 – Montevideo – Uruguay - Código Postal 11.300 – Tel: 598 2 7113386 206 – Fax: 598 2 7115277. e-mail: maurodan18@hotmail.com

RESUMEN

Este estudio surge en el marco de un Proyecto de Fin de Carrera de Ingeniería Civil Perfil Hidráulica – Ambiental, que busca trabajar sobre soluciones en cuanto al destino de los residuos sólidos en la ciudad de Montevideo, a partir de la crítica situación existente en cuanto a la escasa vida útil remanente del principal sitio de disposición final en operación. Se realiza un muestreo de residuos sólidos en origen para determinar cantidad y composición de RSD generados, así como algunas de sus características. Se estudian las posibles formas de valorización que se pueden aplicar según los resultados obtenidos y se comparan desde diferentes puntos de vista.

PALABRAS CLAVE: Residuos Sólidos, Residuos Domiciliarios, Muestreo de Residuos, Valorización de Residuos.

INTRODUCCIÓN

A comienzos del Siglo XX, Montevideo disponía la totalidad de sus residuos sólidos con previa incineración. El crecimiento de la ciudad, el cambio de hábitos de consumo y el envejecimiento de las instalaciones, obligó a dejar de realizar ese tratamiento previo que reducía en forma muy importante los volúmenes finales a disponer en terreno. Desde hace varias décadas, los residuos sólidos de la ciudad son dispuestos en una misma zona, donde se han ido sucesivamente abriendo y cerrando diferentes frentes de explotación. En la actualidad la vida útil remanente del sitio es muy acotada, de no más de cinco años. Las complejas experiencias recientes en cuanto a autorizaciones ambientales para instalaciones de gran porte hacen que en este momento no se considere el relleno sanitario sin tratamiento previo como única y obligatoria opción: es necesario analizar el problema con la mayor apertura posible y sin descartar alternativas antes de someterlas a un estudio concienzudo.

OBJETIVO

En este trabajo se busca analizar alternativas de gestión, valorización y disposición final de RSD en la ciudad de Montevideo, ante la inminente finalización de la vida útil del vertedero municipal.

METODOLOGÍA UTILIZADA Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Si bien este Proyecto de Fin de Carrera no es el que laudará una solución para esta compleja problemática, en su desarrollo se recorrerán con la máxima rigurosidad posible todas las etapas necesarias para llegar a la mejor aproximación posible tanto de la caracterización del problema como de las alternativas de intervención más adecuadas.

Inicialmente se realiza una revisión bibliográfica acompañada de búsqueda de información que permita definir: cómo realizar un muestreo adecuado de los residuos sólidos en el punto de generación, conocer los mecanismos de gestión integral de residuos sólidos enfatizando en valorización y disposición final de los mismos, conocer la realidad actual de la gestión y estudiar antecedentes.

Como punto de partida, la obtención de los datos de base aporta un elemento metodológico novedoso y permite generar datos actuales inéditos para nuestro país: se realiza una caracterización de los residuos en origen -es decir, se estudian tasas de generación y composición a partir de los residuos sólidos recogidos en domicilio en un conjunto de viviendas preseleccionadas para las que se contó con la colaboración de sus moradores-. A su vez, cabe mencionar que la realización del muestreo permite sustentar las propuestas a las que se arriba con datos reales, lo que valoriza de forma importante los resultados que surjan del mismo.

Para la definición de la muestra, se eligen las zonas y número de hogares participantes que son necesarios de acuerdo con procedimientos estadísticos confiables. Se aplican métodos estadísticos convencionales y también normas de procedimiento internacionales (ASTM y Norma Mexicana). Se consideró primero la posibilidad de manejar 3 áreas homogéneas y se determinó en consecuencia la cantidad de muestras necesarias para que los resultados estuvieran afectados de un cierto error aceptable (5 %). Luego se realizó el mismo análisis, pero dividiendo en 2 áreas homogéneas, obteniéndose nuevamente la cantidad de muestras necesarias para un determinado error aceptable (5 %).

Se consideraron diferentes opciones para obtener el número de hogares necesarios para el estudio. Finalmente, se presentó un proyecto de Extensión Universitaria ante la Facultad de Ingeniería, que resultó apoyado. Se trata de un Ciclo de Talleres titulado “Valorando tu Basura”, que consiste en 4 talleres abiertos a estudiantes universitarios, con el objetivo de introducir la temática de Residuos Sólidos y realizar un muestreo de los RSD de los participantes. En el segundo de los talleres se presentó la actividad a realizar y se les entregó a los participantes del taller un breve instructivo de modo de orientar la clasificación de los residuos en dos categorías (Figura 1).



Figura 1: Instructivo

Asimismo, se realizó una actividad en el taller para ejercitar la práctica y discutir los criterios de clasificación propuestos. Con esto se busca que las muestras lleguen de la forma más adecuada posible al momento de determinar su composición. El instructivo con las muestras incluye los componentes y subcomponentes a separar de los residuos sólidos, siendo los más importantes: residuos alimenticios, papel, cartón, vidrio, metales y plásticos.

Se realizó un muestreo de los residuos generados en 30 hogares durante 10 días consecutivos. Se tomó este período de tiempo previendo obtener algunos de los días por duplicado, y de modo de lograr una variación de los mismos durante una semana tipo. Se obtuvieron así tasas de generación volumétricas y másicas por habitante y por día, composición en peso de los residuos, y luego en laboratorio se realizan ensayos de las muestras para determinar contenido de humedad y poder calorífico. De este modo, se obtienen insumos necesarios para el análisis de alternativas de valorización de residuos sólidos a llevar adelante. En principio las mismas corresponden a incineración, reciclaje de los elementos que lo permitan, relleno sanitario con producción de biogás y compostaje. Finalmente se realiza una comparación de las alternativas de valorización estudiadas según aspectos socioeconómicos, ambientales, normativos, y posibles barreras a su implementación.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se realiza un muestreo de 30 hogares que corresponden al área homogénea media alta. Esto significa que se ha logrado muestrear la generación de residuos en esta área con un 5,5 % de error.

Se determinó la composición de los RSD recolectados en su punto de generación. Se separó en distintas componentes y a su vez cada componente se subdividió en los elementos que en cada caso resultó necesario separar (por ejemplo, los plásticos se separaron en 7 clases diferentes).

Para determinar la composición, se midieron pesos y volúmenes de cada elemento, para lo cual se utilizaron recipientes calibrados y una balanza de precisión. Además, se tomaron a diario muestras para ensayar contenido de humedad y poder calorífico de la fracción húmeda.

Composición diaria en peso

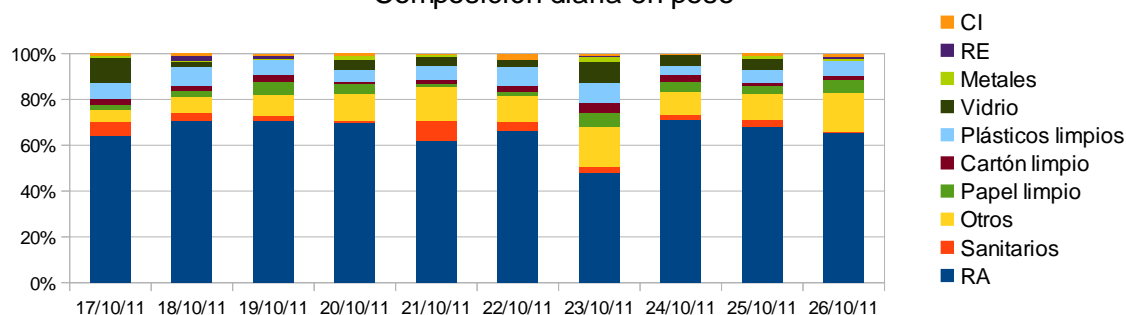


Figura 2: Variación de la composición diaria en peso para el muestreo realizado¹

A partir de los datos relevados en el muestreo se determinaron los porcentajes promedio de todos los días en peso y volumen de los distintos componentes y las desviaciones de los mismos (Tabla 1). En el caso de las desviaciones se trata de datos que interesa tener para determinar, según algunas normas, cuántas muestras se necesitan para lograr un muestreo de residuos sólidos que responda a ciertos márgenes de precisión y nivel de confianza y que, a la fecha, no existían para nuestro país.

Tabla 1: Porcentaje promedio y desviación de cada componente para el muestreo realizado

Componente	% en peso del total promedio (%)	desviación
Residuos Alimenticios	65,4	10,5
Sanitarios	3,3	2,7
Otros	11,9	5,1
Papel	4,0	2,0
Cartón	2,3	1,0
Plásticos	6,6	1,5
Vidrio	4,0	3,1
Metales	0,9	0,6
Residuos Electrónicos	0,5	0,7
Categoría Incorrecta	1,0	0,6

También se determina la variación de la generación promedio diaria por persona en el intervalo de tiempo muestreado (Figura 3), así como la proporción de residuos sólidos reciclables y no reciclables generados diariamente en cada hogar. En la variación que se observa en la Figura 3, existe una repetición de los picos de generación los días lunes. Un muestreo más dilatado en el tiempo podría brindar información valiosa en este sentido, de modo de definir, por ejemplo, criterios de recolección.

En promedio, la producción de RSD por día per cápita resultó ser 0,4 Kg/hab.d.

¹ RA: Residuos Alimenticios, RE: Residuos especiales, CI: Clasificación incorrecta

Evolución de la PPC

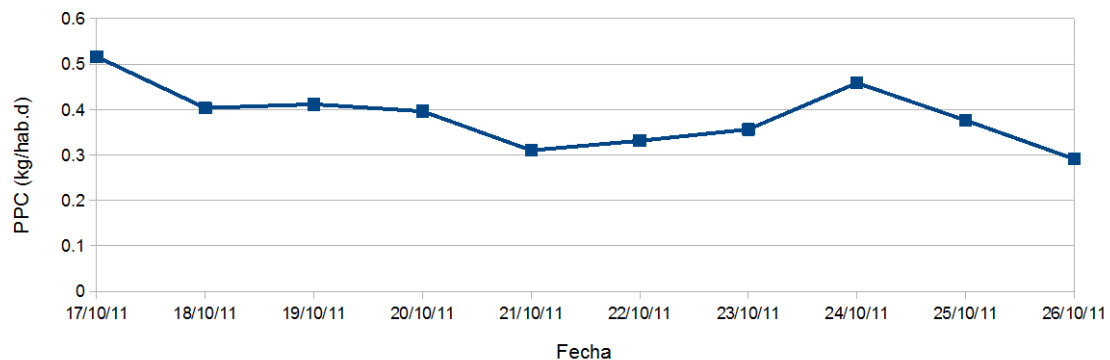


Figura 3: Variación diaria de la producción per cápita para el muestreo realizado

La composición en volumen promedio obtenida a partir del procedimiento de caracterización seguido puede observarse en las Figuras 4 y 5.

Composición resultante en volumen

Promedio

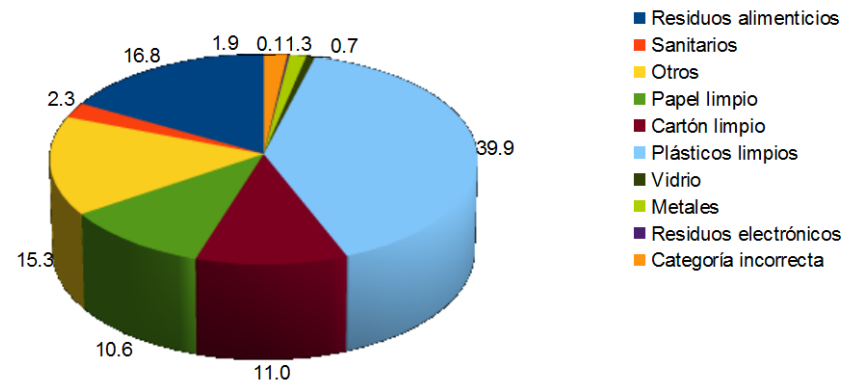


Figura 4: Composición promedio de los RSD en volumen.

Composición diaria en volumen

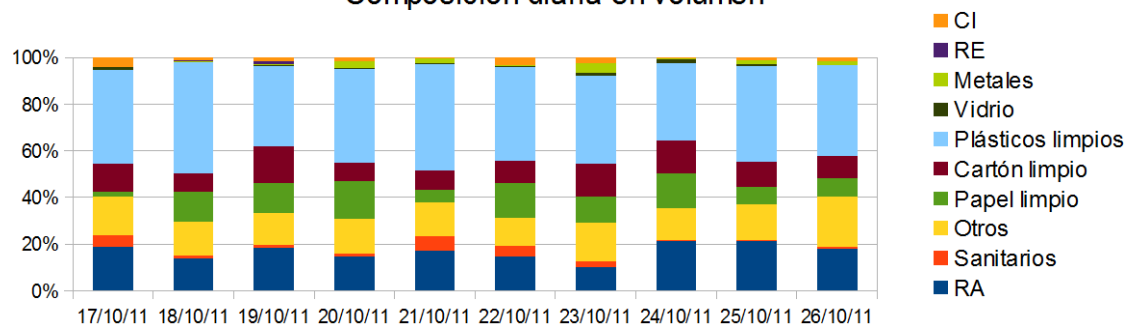


Figura 5: Variación de la composición de los RSD en volumen a lo largo del muestreo.

La densidad de los RSD en su conjunto resultó ser, en promedio, 83,5 Kg/m³.

Utilizando muestras extraídas de los RSD recolectados, se realizaron ensayos de contenido de humedad y poder calorífico. Los resultados de estos ensayos son insumos sumamente útiles para poder realizar, con datos propios, el pre diseño de distintas alternativas de valorización. Los ensayos de contenido de humedad fueron realizados utilizando muestras compuestas de residuos reciclables y no reciclables (Tabla 2).

Tabla 2: Ensayos de contenido de humedad.

Día	Fecha	Contenido de humedad (%)
1 Jueves	20/10/11	30,1
2 Viernes	21/10/11	58,0
3 Sábado	22/10/11	46,0
4 Domingo	23/10/11	46,6
5 Lunes	24/10/11	52,8
6 Martes	25/10/11	57,3
7 Miércoles	26/10/11	64,5

Para los ensayos de poder calorífico se utilizaron muestras diarias conformadas solamente por residuos no reciclables por un período de siete días (Tabla 3).

Tabla 3: Ensayos de poder calorífico.

PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS) J/g					
ID MUESTRA	CH (%)	PCS (J/g) base húmeda		PCS (J/g) base anhidra	
	base húmeda	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
JUEVES	73,2	4042	246	15056	916
VIERNES	56,3	6020	280	13772	640
SABADO	70,2	8363	164	28015	549
DOMINGO	82,3	3533	99	19986	559
LUNES	67,4	6430	285	19741	874
MARTES	85,3	2566	129	17488	878
MIERCOLES	72,6	5396	209	19663	763

CH: contenido de humedad

PCS: poder calorífico superior

Los procedimientos seguidos en la realización de los ensayos se encuentran dentro de áreas escasamente desarrolladas en el país, por lo que además de obtener información relevante para el proyecto, se trata de promover el desarrollo de recursos humanos en dicho sector.

PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN DE RSD EN MONTEVIDEO.

Para proyectar alternativas de valorización, es necesario conocer la cantidad total, en peso y en volumen, de RSD generados diariamente en la ciudad.

Para lograrlo, se analizaron por separado las PPC de RSD en los hogares muestreados de 2, 3 y 4 habitantes. Ya que mediante la aplicación del Test de D'Agostino se pudo ver que dichos hogares tenían una distribución normal en cuanto a su generación de residuos, se resolvió asignar la PPC media correspondiente a cada barrio montevideano según su número medio de habitantes por hogar (Tabla 4).

Multiplicando la PPC asignada a cada barrio por la población de dicho barrio se obtiene la cantidad en peso de RSD generados en un día. Utilizando la densidad media obtenida en la caracterización realizada pueden obtenerse los volúmenes de RSD generados diariamente.

Tabla 4: PPC medias.

N° de habitantes del hogar	PPC media (Kg/hab.d)
2	0,33
3	0,45
4	0,38

Siguiendo este procedimiento se obtienen los estimativos de las cantidades, en peso y en volumen, de RSD generadas diariamente en la ciudad de Montevideo. Estas son 550 Ton/d y 6235 m³/d en peso y en volumen respectivamente.

COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DE RSD.

Se propusieron tres alternativas para la valorización de los RSD generados diariamente en la ciudad de Montevideo. Todas ellas parten de la base que los habitantes de la ciudad clasifican sus residuos en dos categorías: reciclables y no reciclables. En todas las alternativas propuestas, los residuos reciclables son enviados a una planta de clasificación, en donde se separan los distintos componentes (papel, cartón, vidrio, plásticos, metales, etc) para su posterior acopio y venta como materia prima. La diferencia entre las tres alternativas propuestas radica en el tratamiento de la fracción no reciclable de los RSD.

Las alternativas consideradas fueron:

- Alternativa 1: Reciclaje, Incineración y Relleno Sanitario.
- Alternativa 2: Reciclaje y Relleno Sanitario.
- Alternativa 3: Reciclaje, Biodigestión anaerobia y Relleno Sanitario.

Las alternativas propuestas se compararon teniendo en cuenta diez criterios referidos a aspectos técnicos, logísticos, económicos, constructivos y ambientales. Los criterios utilizados fueron:

1. Área necesaria
2. Complejidad operativa
3. Accesibilidad
4. Inversión inicial
5. Costos operativos
6. Emisiones
7. Control y Monitoreo
8. Riesgos Ambientales
9. Flexibilidad en la recepción de residuos
10. Mano de obra necesaria

A modo de ejemplo, algunos de los criterios de comparación utilizados en lo que respecta a las emisiones generadas fueron.

Tabla 5: Emisiones generadas.

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<ul style="list-style-type: none"> • Dioxinas y furanos. • Material particulado. • Otros gases. • Cenizas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lixiviado. • Metano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Metano. • Efluente semi-líquido.

Una vez realizado el análisis comparativo, se concluyó que la alternativa 1 resulta ser la más conveniente para tratar y valorizar la totalidad de los RSD generados diariamente en la ciudad de Montevideo.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

Si bien las distintas características comparadas no fueron ponderadas al momento de la evaluación, algunas de ellas resultan determinantes al momento de seleccionar la alternativa más adecuada. Este es el ejemplo del área necesaria, en donde la incineración es la única alternativa que presenta un valor razonable si se piensa en el tratamiento de la totalidad de los residuos sólidos domiciliarios generados en la ciudad de Montevideo. En este sentido, se propone estudiar, a modo de experiencia piloto, la implementación de un sistema de biodigestión anaerobia enfocado al tratamiento de los RSD generados por una población objetivo a definir que sea, lógicamente, mucho menor a la población de la ciudad de Montevideo, de modo que esta opción de tratamiento y valorización de RSD sea viable.

A modo de conclusión, se propone desarrollar, en base a los resultados obtenidos en capítulos anteriores, la alternativa 1, con el fin de brindar tratamiento y disposición final a la totalidad de los RSD generados diariamente en la ciudad de Montevideo.

A su vez, se propone desarrollar, en el marco de una experiencia piloto, la alternativa 3, con el fin de tratar y disponer los RSD generados por una población objetivo a definir que sea mucho menor a la población de la ciudad de Montevideo. Con esta experiencia se busca atacar el problema de tratamiento y disposición de RSD generados por pequeñas comunidades.

Luego de realizado el muestreo se visualiza con claridad que los residuos sólidos deben ser clasificados en su lugar de generación, de modo de hacer viable los métodos de valorización. En ese sentido se concluye que muchas de las formas de valorización que podrían ser propuestas, deben ser acompañados de una propuesta de clasificación en origen, ya que en la ciudad de Montevideo no se realizan prácticas de este tipo.

Referido a este punto se realizaron dos observaciones en cuanto al muestreo realizado. Por un lado se observó que varios de los hogares muestreados ya realizaban clasificación en origen. Por otro lado se visualizó que a partir del protocolo entregado a los hogares, la clasificación fue muy buena, contabilizándose porcentajes de error de clasificación muy bajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CEMPRE URUGUAY. Residuos Sólidos Urbanos – Manual de Gestión Integral. CEMPRE Uruguay, 1998.
2. Proyecto PNUD/URU/91/008. Úselo y Tírelo... para que otros lo reciclen, 2000.
3. DRA. ING. ALICE ELIZABETH GONZÁLEZ. Elementos de Ingeniería Ambiental. UdelaR-Facultad de Ingeniería, 2009.
4. LOTHAR SACHS. Estadística Aplicada.
5. G. TCHOBANOGLIOUS, H. THEISEN. Gestión Integral de Residuos Sólidos, Vol I y II, Ed. McGraw-Hill, España, 1994.
6. SIG, Intendencia de Montevideo. <http://sig.montevideo.gub.uy/>
7. HERBERT F. LUND. Manual McGraw-Hill de Reciclaje, 1996.
8. Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana, Noviembre 2005.
9. ASTM D5231 - 92(2008) Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste.
10. Norma Mexicana NMX-AA-061-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación. Environmental Protection Soil Contamination-Municipal Solid Residues-Determination of Generation, 1985.