# SIMPOSIO INTERNACIONAL DE QUÍMICA 2019

# IV Simposio Internacional “Seguridad Tecnológica y Ambiental”

# Tasas de generación, composición y reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos en La Habana, Cuba

***Generation rates, composition and recycling of Municipal Solid Waste in Havana, Cuba***

**María del Carmen Espinosa Lloréns1\*, Matilde López Torres1, Susana Díaz Aguirre2, Cira Lidia Isaac Godínez3, Alejandro Fernández Colomina4, Edward McBean5, Natividad Ramírez Ramírez6**

*1 Dirección de I+D+i, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ave. 25 y 158, Cubanacán, Playa, La Habana, Cuba. Email:* *maria.espinosa@cnic.cu* *(\*Autor de correspondencia);* *matilde.lopez@cnic.cu*

*2 Universidad de Pinar del Río, Calle Martí, esq. a 27 de noviembre, Pinar del Río, Cuba. Email: sdaguirre@cujae.cih.edu.cu*

*3 Universidad Agraria de La Habana, Cuba.*

*4 Dirección Provincial de Servicios Comunales, La Habana, Cuba.*

*5 Escuela de Ingeniería, Universidad de Guelph, Canada. Email:* *emcbean@uoguelph.ca*

*6 Escuela de Geología y Minas. Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México. Email:* *nramirez@ugtomx.onmicrosoft.com*

**Resumen:** Los problemas de los residuos sólidos urbanos (RSU) han ido aumentando con el crecimiento de la población y su urbanización, provocando la necesidad imperiosa de su gestión adecuada. El objetivo del presente trabajo fue establecer los indicadores de generación y la composición de los RSU en áreas residenciales de La Habana, así como analizar su valorización mediante el reciclaje. El estudio se realizó en cinco municipios de la ciudad representativos de áreas urbanas y periurbanas. Para el estudio de la composición física los RSU se clasificaron en 11 ítems de acuerdo con ASTM. Además, el estudio permitió calcular los índices de generación de RSU *per cápita.* El estudio reveló que los residuos orgánicos (de alimentos) representan el porcentaje más alto. El índice de generación *per cápita* fue de 0,70 kg/persona.d. Cinco componentes de los RSU en La Habana son prometedores para las actividades de reciclaje, alcanzando los porcentajes mayores el papel y el cartón. También se observó que el reciclaje es aún insuficiente ya que los porcentajes de recuperación, en relación con la cantidad de residuos generados, son aún insuficientes, desaprovechándose la potencialidad de esta actividad. Los resultados obtenidos son vitales para tomar decisiones con respecto a la gestión de residuos sólidos de la ciudad y constituyen un aporte al Estudio sobre el Plan de Manejo Integrado de los RSU en La Habana.

**Palabras clave:** Composición, Generación, Gestión, Reciclaje, Residuos Sólidos Municipales.

***Abstract***

*Problems of municipal solid waste (MSW) are increasing with growing populations and urbanization, resulting in the necessity for proper management. The aim of this work was establishing the generation and composition of MSW in residential areas of Havana and to analyze their valorization through recycling. Five municipalities of Havana were selected, representing urban and periurban areas. To obtain the physical composition, MSW from residential areas of the selected municipalities were classified into 11 categories according to ASTM standards. The generation rates of the municipalities were also calculated. The study reveals that organic waste (food wastes) represents the highest percentage in the composition. The average generation rate per capita of MSW in whole Havana was 0.70 kg/person-d. Five components of MSW in Havana are promising for recycling activities, with paper and cardboard being the largest. The recovery percentages for recycling, in relation to wastes generated, demonstrate that until now, are insufficient. Those results constitute valuable and essential information that contributes to a basis of knowledge which may be considered in future decisions regarding the management of MSW and would be used in the Study on Integrated Management Plan of MSW in Havana.*

***Keywords:*** *Composition, Generation Rate, Management, Municipal Solid Waste, Recycling.*

## Introducción

Los residuos sólidos urbanos (RSU) resultan los más complejos entre los diferentes tipos de residuos sólidos y su gestión es un gran reto en las áreas urbanas de todo el mundo, cuyos efectos mayores se observan con el rápido crecimiento de las ciudades y pueblos de los países en desarrollo (Aja and Al-Kayiem, 2014) provocando problemas ambientales debido a su manejo y disposición inadecuados. Localmente, los RSU sin recoger contribuyen a provocar inundaciones y contaminación atmosférica, además de que impactan la salud pública provocando problemas respiratorios y cólera (Samwine y col., 2017).

Actualmente en el mundo, las ciudades generan alrededor de 1300 millones de toneladas/año de residuos sólidos. Se estima que, para 2025, esta cifra aumente a 2200 millones de toneladas. Las tasas de generación de residuos se duplicarán en los próximos 20 años en los países de más bajos ingresos (Samwine y col., 2017).

El conocimiento adecuado de la generación de residuos constituye un prerrequisito para el planeamiento y diseño de un buen sistema de gestión (Titti, 2016; Bhattacharjee y Gupta, 2009), el que puede dividirse en cuatro fases, de acuerdo con Christensen (2011): 1) generación de residuos; 2) colección y transporte; 3) tratamiento y 4) reciclaje, utilización y disposición final.

En la mayoría de las ciudades de América Latina y el Caribe, la disposición final de los RSU, especiales y peligrosos se realiza indiscriminadamente y sin segregación. Para lograr mejoras de estos aspectos se requiere la voluntad de los gobiernos, fuertes inversiones y una continua educación de los ciudadanos (Sáez y Urdaneta, 2014; Espinosa y col., 2010).

El establecimiento de una gestión adecuada de los RSU en los países en desarrollo ha sido difícil, en parte, debido a la carencia de estudios sobre la composición de dichos residuos (Buenrosto y col., 2001). Esta información es crítica, ya que la determinación exacta de la cantidad y composición de los RSU es un paso esencial en el desarrollo efectivo de su gestión. Resulta importante la necesaria representatividad en la caracterización de los residuos lo que, a menudo, está comprometido debido a los recursos limitados destinados a ello (Lagerkvist y col., 2011).

En el caso de Cuba, la gestión ineficiente de los RSU es uno de los problemas más significativos identificados en su Estrategia Ambiental Nacional (CITMA, 2016). Se reconoce que en La Habana la gestión de los RSU es uno de los capítulos más demandantes y complejos, por lo que se ha convertido en una necesidad el desarrollo de una estrategia para su manejo integrado. La dificultad principal para crear estos planes ha provenido de la falta de conocimiento de la composición de estos residuos (Espinosa y col.*,* 2008).

A lo largo del tiempo, en el país se han llevado a cabo diferentes trabajos relacionados con esta temática (Espinosa y col*.*, 2010; Espinosa y col*.*, 2008; Körner y col., 2008; Binder y Mosler, 2007; Mosler y col., 2006; Tamas y col., 2005). Sin embargo, estos han sido intentos aislados realizados por diferentes grupos de investigación, la mayoría de las veces con la participación de expertos y apoyo financiero de organizaciones internacionales. Desafortunadamente, ninguno de estos esfuerzos ha sido sostenible (Espinosa y col., 2010).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado, el objetivo de este trabajo es establecer la composición física y la tasa de generación de los RSU de áreas residenciales de La Habana, así como demostrar su potencial de reciclaje, como una alternativa para la valorización de estos residuos.

## Metodología

**2.1 Área de Estudio**

El área de estudio fue La Habana, capital de la República, con una población de 2 121 871 habitantes (ONEI, 2015). Esta ciudad representa alrededor de un 20 % de la población del país y 26 % de su población urbana total. La densidad de población promedio es de 2 914 habitantes/km2. La ciudad tiene un área de 728 km2 con 15 municipios (Fig. 1) que representan 0,6 % del territorio nacional (ONEI, 2015).

****

Fig. 1. Localización del área de estudio.

**Leyenda:** *1****-****Playa; 2****-****Plaza de la Revolución****;*** *3****-****Centro Habana****;*** *4****-****Habana Vieja****;*** *5****-****Regla****;*** *6****-****Habana del Este****;*** *7****-****Guanabacoa****;*** *8****-****San Miguel del Padrón****;*** *9****-*** *10 de Octubre****;*** *10****-****Cerro****;*** *11****-****Marianao****;*** *12****-****La Lisa****;*** *13****-****Boyeros****;*** *14****-****Arroyo Naranjo; 15****-****Cotorro.*

**2.2 Recolección de datos e información.**

La recolección de los datos e información necesaria se llevó a cabo con un estudio de campo, durante 11 semanas, teniendo en cuenta un cronograma pre-establecido.

***Número de muestras (n):***

Para calcular el número de muestras efectivas se aplicó la norma ASTM D 5231 (2008), empleando la ecuación 1:

$n= (t^{\*}{s}/{e.\overbar{x})}^{2}$ (1)

Donde:

*t\*= estadígrafo t de Student correspondiente al nivel de confianza deseado,*

*s = desviación estándar estimada,*

*e= nivel de precisión deseado,*

$\overbar{x}$ *= media estimada*

Se consideraron los residuos orgánicos como componente fundamental de los RSU, teniendo en cuenta la información previa (Espinosa y col., 2010*)*. Se trabajó con un nivel de 95 % de confianza y se estableció una precisión a alcanzar de un 3 % (según EC, 2004, tiene que ser, al menos, de un 10%).

De acuerdo con esto, el número efectivo de muestras necesarias debe ser, al menos, de 53.

**2.3 Cantidad y composición de los residuos domiciliarios.**

**2.3.1 Estudio de cantidad de residuos (en el origen de la generación).**

Cada grupo familiar recibió instrucciones de almacenar los RSU, hasta su recogida por el personal seleccionado, durante el período del estudio (11 semanas). Los inspectores fueron a los domicilios de las familias seleccionadas para recoger sus residuos. Los residentes recibieron instrucciones de separar los residuos en orgánicos (restos de comida y otros materiales orgánicos inadecuados para el reciclaje, como papel higiénico usado) e inorgánicos.

**2.3.2 Estudio de composición.**

Este estudio permitió obtener información de la composición material de los RSU con el propósito de evaluar la composición en sí misma y la posibilidad de aplicar un esquema de reciclaje. Se aplicó la norma ASTM (2008) para la determinación de la composición de RSU sin procesar. Los residuos recogidos en las fuentes de generación fueron segregados manualmente en once tipos diferentes: 1) Papel y cartón, 2) Aluminio, 3) Metales en general, 4) Plásticos, 5) Vidrio y Cerámica, 6) Textiles, 7) Madera, 8) Residuos de alimentos, 9) Goma, 10) Cuero, 11) Otros.

La densidad (Bd, g/cm3) fue medida obteniendo el peso seco de un volumen conocido de la muestra, calculándose de acuerdo con la fórmula 2:

Bd= Ms/Vt (2)

Donde:

*Ms,es la masa de muestra secada en estufa (g),*

*V, es el volumen total de la muestra (cm3).*

La humedad fue medida gravimétricamente, secando el material en una estufa a 103-105ºC hasta peso constante.

**2.4 Estudio de recobrado y reciclaje.**

Se desarrolló para determinar, teniendo en cuenta la cantidad de RSU que pudieran ser recuperados para el reciclaje en La Habana, el tratamiento que se aplicaría luego de la recuperación, así como para identificar el mercado potencial de reciclaje.

**2.5 Procesamiento estadístico de los datos.**

Se emplearon Excel 2013 y Statgraphics Centurion XV para el cálculo de los principales estadígrafos. Para la detección de posibles valores anómalos se aplicó el test de Grübbs de acuerdo con lo recomendado por ISO 5725 (1994).

## Resultados y discusión

**3.1 Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en La Habana.**

En los años anteriores (2010-2013) al presente estudio y, de acuerdo con la cantidad de habitantes (ONEI, 2015a) de la ciudad, se había estimado una tasa de generación global de RSU de alrededor de 1494 ton/d, con tan solo un 0,7% de variabilidad interanual. En el 2014 la estimación resultó en 1474 ton/d, mostrando una ligera tendencia a la disminución, probablemente debido a la situación económica, mientras que la población total permaneció casi constante.

**3.2 Cantidad total de RSU en los 15 municipios de La Habana.**

Los RSU de las viviendas de las diferentes áreas urbanas de la ciudad fueron colectados por camiones compactadores, mientras que en las áreas periurbanas también se usaron otros tipos de vehículos como camiones de volteo y carretas tiradas por tractores o por caballos. Esta situación crea diferencias en las cifras de densidad de los RSU.



Fig. 2. Comportamiento de la generación de RSU por municipios de La Habana, en 2014.

Los valores del índice de generación *per cápita* (kg/persona.d) en los 15 municipios de La Habana oscilaron en un intervalo de 0,685 a 0,715 (Fig. 2), cifras que muestran un promedio de 0,70 kg/persona.d, muy similar al estimado en el 2000 (0,72 kg/persona.d) y reportado por López y col. (2007).

El estudio más abarcador, relacionado con el diagnóstico de la situación de los RSU en América Latina y el Caribe, realizado por la Organización Panamericana de Salud (OPS y CEPIS, 1998), mostró que el índice de generación de RSU *per cápita* promedio en 16 áreas metropolitanas y ciudades con más de 2 millones de habitantes fue de 0,97 kg/persona.d; en 16 ciudades cuya población fue de 500 000 – 2 millones de habitantes fue de 0,74 kg/persona.d y en 24 ciudades, intermedias y pequeñas, con menos de 500 000 habitantes, el índice de generación promedio fue 0,55 kg/persona.d. En este caso, La Habana, con aproximadamente 2 millones de habitantes, mostró un índice de generación promedio de 0,70 kg/persona.d, cifra que concuerda con el estudio realizado por la OPS para esta región geográfica.

En 2010, la OPS junto con la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) y el Banco Interamericano de Desarrollo (IDB) realizaron nuevamente la evaluación regional de la gestión de los RSU en América Latina y el Caribe (OPS, AIDIS, IDB, 2010), reportándose un índice de generación promedio de 0,93 kg/persona.d y observándose un incremento palpable de la generación de RSU en los países de la región. Se denota que este reporte no incluyó estudios de composición de esos residuos.

Sin embargo, en La Habana se ha observado un comportamiento diferente en la generación de RSU. Al comparar las cifras de generación de RSU en 2014 (presente trabajo) en los municipios de La Habana, con respecto a las cifras reportadas en otros documentos para los años 2012 y 2010 (ONEI, 2012; ONEI, 2010) se percibe un decrecimiento de la generación en todos ellos (Fig. 3).

En general, la tasa de generación tuvo una tendencia decreciente del 2010 al 2014, probablemente debido a la situación económica que también provocó problemas en el sistema de recolección. A esto se suma el aumento en el número de personas del sector informal que hacen uso de los RSU ya depositados en los contenedores.



Fig. 3. Tasas de generación de RSU en diferentes municipios de La Habana durante los años 2010, 2012 y 2014.

**3.3 Estudios en los cinco municipios seleccionados.**

Se seleccionaron cinco municipios representativos de toda la ciudad: Plaza de la Revolución, Centro Habana, Guanabacoa, Marianao y Boyeros. Los primeros dos representan zonas urbanas y los tres últimos, zonas periurbanas (Fig. 1).

En estos cinco municipios se realizaron los estudios de generación, composición y reciclaje. La cantidad de habitantes de estos municipios aparece en la Tabla 1. Boyeros es el municipio con mayor número de habitantes entre los estudiados, mientras que Centro Habana es el municipio con mayor densidad de población (hab./km2) en toda Cuba.

Tabla 1. Cantidad de habitantes en los municipios seleccionados *(según ONEI, 2015b)***.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Municipio** | **Habitantes (2014)** |
| Plaza de la Rev. | 147668 |
| Centro Habana | 140049 |
| Guanabacoa | 117604 |
| Marianao | 135844 |
| Boyeros | 192233 |

Teniendo en cuenta el estudio realizado en domicilios individuales se demostró que el índice de generación promedio en los municipios que corresponden a áreas urbanas (Centro Habana, Plaza) es de 0,701 kg/persona.d, mientras que el valor promedio de los tres municipios de áreas periurbanas (Guanabacoa, Marianao y Boyeros) tuvo un valor de 0,688 kg/person.d, ligeramente inferior al anterior.

El municipio de Boyeros tuvo la mayor cantidad de residuos generados, pero el menor índice de generación (0,686 kg/persona.d) (Fig. 4). Por otra parte, el municipio de Guanabacoa tuvo la menor cantidad de residuos generados en la ciudad, ya que es el de menor cantidad de habitantes, pero también mostró uno de los menores índices de generación. Ambos municipios se encuentran en áreas periurbanas. En contraposición, los municipios del área urbana (Plaza de la Revolución y Centro Habana) tuvieron los mayores índices de generación.

~~~~

Fig. 4. Comportamiento de la generación de RSU en los cinco municipios estudiados.

En Cuba, debido a su propio sistema social, no resulta totalmente viable correlacionar este tipo de resultados con los ingresos promedios de los habitantes por municipio, aspecto que es usual en este tipo de trabajo.

**3.4. Estudio de composición de los RSU.**

El número efectivo de muestras (camiones empleados para la recogida de RSU) tomadas para este estudio fue de 178, cifra que sobrepasó más de tres veces el número mínimo de muestras calculadas teniendo en cuenta la norma ASTM D 5231 (2008). Esto permitió lograr una precisión en los resultados del 2%. Este valor permitió asegurar la confiabilidad en los resultados del estudio de composición para emplearlos en el proceso de toma de decisiones. La importancia de la confiabilidad de los estudios de composición ha sido enfatizada por Sharma y McBean (2009), proponiendo una nueva metodología para este tipo de estudio.

Los resultados del estudio de composición de residuos generados en viviendas (Tabla 2) confirmaron que los residuos de alimentos eran el componente fundamental (60 % como promedio de los cinco municipios), lo que coincide con los resultados encontrados por Espinosa y col. (2008) anteriormente. También, en otras ciudades de países en desarrollo los residuos orgánicos predominan en los estudios de composición.

Es evidente que, de los 11 componentes de los RSU separados, sólo 8 de ellos (papel y cartón, aluminio, otros metales, plástico, vidrio, textiles, residuos de madera y poda y residuos de alimentos) estuvieron presentes en todos los municipios. De los tres restantes, de “Goma” sólo se encontró un porcentaje pequeño en Boyeros, y de “Otros” en Guanabacoa. No se reportó “Cuero" en la composición de ninguno de los municipios.

Tabla 2. Resultados del Estudio de Composición (% peso) en los 5 municipios seleccionados.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Municipio** |
| **Centro Habana** | **Guanabacoa** | **Plaza de la Rev.** | **Marianao** | **Boyeros** |
| **No.** | **Componente (%)** | $$\overbar{X}$$ | **DE** | $$\overbar{X}$$ | **DE** | $$\overbar{X}$$ | **DE** | $$\overbar{X}$$ | **DE** | $$\overbar{X}$$ | **DE** |
| 1 | Papel y Catón | 9,65 | 0,35 | 8,15 | 1,63 | 1,60 | 1,13 | 12,15 | 9,83 | 14,85 | 12,37 |
| 2 | Aluminio | 0,35 | 0,49 | 0,55 | 0,07 | 0,70 | 0,14 | 1,25 | 0,92 | 0,60 | 0,00 |
| 3 | Metales (general)  | 0,35 | 0,49 | 2,00 | 2,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,42 |
| 4 | Plástico | 6,30 | 2,26 | 7,25 | 1,20 | 6,05 | 1,48 | 11,10 | 0,85 | 10,90 | 2,83 |
| 5 | Vidrio | 8,00 | 10,04 | 20,10 | 2,12 | 10,25 | 3,75 | 3,85 | 0,07 | 10,35 | 2,76 |
| 6 | Textiles | 0,35 | 0,49 | 1,40 | 1,27 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,42 | 3,10 | 4,38 |
| 7 | Residuos de madera y poda  | 9,50 | 10,61 | 6,80 | 8,77 | 22,05 | 31,18 | 0,65 | 0,92 | 6,15 | 5,59 |
| 8 | Residuos de alimentos | 65,55 | 3,32 | 52,20 | 5,09 | 59,30 | 37,34 | 70,70 | 8,34 | 53,45 | 22,42 |
| 9 | Goma | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,42 |
| 10 | Cuero | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | Otros | 0,00 | 0,00 | 1,45 | 2,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| **TOTAL** | **100,05** | **0,21** | **99,90** | **0,14** | **99,95** | **0,07** | **100,00** | **0,14** | **100,00** | **0,00** |
| **Densidad (kg/m3)** | **230** | **40** | **190** | **80** | **220** | **130** | **150** | **110** | **200** | **60** |
| **Humedad (%)** | **49,90** | **0,85** | **41,15** | **2,19** | **42,45** | **28,92** | **49,00** | **0,00** | **38,65** | **15,06** |

*Leyenda: X: promedio; DE: desviación estándar*

En cuanto a los valores de densidad de los RSU encontrados en los municipios de áreas urbanas (Centro Habana y Plaza de la Revolución), donde se usan camiones compactadores, fundamentalmente, para la recogida de RSU, los valores promedio de densidad estuvieron alrededor de 225 kg/m3. Los municipios de áreas periurbanas tuvieron un valor promedio de densidad de 180 kg/m3. Este parámetro se emplea para el diseño de la recogida de residuos (tipo de contenedor, por ejemplo), las facilidades para el tratamiento y los vertederos.

Las diferencias de densidad de los RSU entre los municipios (150 to 230 kg/m3) se deben, en parte, a los diferentes tipos de vehículos empleados para su recogida. En La Habana se emplean una amplia variedad de vehículos con este objetivo, por lo tanto, las densidades son mayores cuando se emplean camiones compactadores y las menores cuando se usan carretas tiradas por tractores y carretones de caballos.

El alto contenido de humedad se debe, fundamentalmente, al predominio de los residuos de alimentos. Esta característica es esencial para definir la gestión adecuada de los RSU en la ciudad.

La composición promedio de los RSU de La Habana, teniendo en cuenta la composición de los residuos de los municipios representativos, se muestra en la figura 5. Estas características son típicas de ciudades en países en desarrollo y se encuentran dominadas por los residuos orgánicos.



Fig. 5. Composición física promedio de los RSU en La Habana.

La alta cifra de residuos de alimentos que se encuentran, como promedio, en los RSU de la ciudad reflejan la ausencia de valorización de la fracción orgánica de los mismos (FORSU), una situación que se ha denotado con anterioridad (Espinosa y col., 2008). Es decir, existe un fuerte recurso potencial para la recuperación, en términos de alimento animal, compostaje o energía (como biogás). De acuerdo con las condiciones de Cuba, una de las aplicaciones más promisorias para la FORSU es la obtención de biogás (Campuzano y González-Martínez, 2016). Esta técnica ha sido estudiada en Cuba por muchas décadas, usando otros residuos sólidos (por ejemplo, cachaza y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales), pero su aplicación con la FORSU es limitada (López y col*.*, 2008; Espinosa y col., 2007; López y col*.*, 2004) desaprovechándose su potencialidad.

La cantidad de residuos reciclables, fundamentalmente vidrio (10,5%), papel y cartón (9,3%) y plásticos (8,3 %), presentes en el estudio de composición, apuntan a la necesidad de introducir una separación en el origen.

Al comparar la composición de los RSU de La Habana, encontrados en el presente trabajo, con los reportados por otros investigadores en ciudades de diferentes países (Tabla 3), ésta mostró similitudes interesantes. Por ejemplo, los residuos de alimentos son la fracción predominante, demostrando la misma situación de falta de valorización; en muchos casos la humedad es alta, por la misma razón.

Tabla 3. Comparación de los resultados de composición encontrados en La Habana, con los de otras ciudades en diferentes países.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Componente (%)** | **Habana** | **Patna,****India1** | **Abuja,****Nigeria2** | **Ciudad de****Guatemala3** | **Tucumán, Argentina4** | **Vancouver, Canada4** |
| Papel y cartón | 9,30 | 4 | 9,7 | 13,9 | 6,4 (4,7+1,7)\* | 32,3 (27,1+5,2)\* |
| Aluminio | 0,70 | 1 | - |  | - | - |
| Metales | 0,50 | - | 3,2 | 1,8 | 0,4 | 3,4 |
| Plásticos | 8,00 | 6 | 8,7 | 8,1 | 9,4 | 13,3 |
| Vidrio | 11,00 | 2 | 2,6 | 3,2 | 4,5 | 3,1 |
| Textiles | 1,03 | 5 | 1,6 | 3,6 |  |  |
| Madera y residuos de poda | 9,03 | - | - | - |  |  |
| Residuos de alimentos | 60,24 | 45 | 63,6 | 63,3 | 79,1 | 33,5 |
| Goma | 0,06 | - | - | - |  |  |
| Cuero | 0,00 | 2 | - | - |  |  |
| Otros | 0,29 | 35 | 10,6 | 6,1 | 1,0 | 2,9 |
| Humedad (%) | 50 | 35 | - | 60 |  |  |

*1 Gandhe y Kumar, 2016; 2 Ogwueleka,2013; 3 OPS-CEPIS (1998); 4 McBean y col., 2005.*

*\* En McBean y col. (2005), los valores de papel y cartón se reportan separadamente.*

**3.5 Componentes Reciclables.**

**3.5.1 Reciclaje.**

El reciclaje es uno de los aspectos comprendidos en la gestión de los residuos sólidos. Se refiere a la recogida y separación de los residuos sólidos en sus componentes y su transformación o re-manufactura en materiales de uso y comercializables (Christensen, 2011). La Ley 1288, de enero de 1975, es una de las más antiguas de nuestro país con el objetivo, aún vigente, de la utilización más racional de los recursos en la economía nacional. Esto conlleva a la aplicación de una política de recuperación y reutilización de los residuos.

En La Habana, igual que en otras áreas urbanas de Cuba, el reciclaje de los RSU es una actividad que involucra tanto a los sectores formales (Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas (UERMP) como a los informales (personas que recolectan determinados artículos para su venta en las tiendas dedicadas al efecto).

El estudio de recuperación se centró en la fracción inorgánica de los RSU, enfatizando cinco productos (aluminio, plástico, vidrio, papel y cartón y textiles), teniendo en cuenta los resultados del estudio de composición en La Habana (Fig. 5). Los datos de generación y de recobrado de los cinco productos en esta ciudad, en el 2014, aparecen en la Tabla 6.

Tabla 4. Generación y recobrado de RSU reciclables en La Habana, durante 2014.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Productos** | **Generación** | **Reciclaje** |
|  | **t** | **t** | **%** |
| Aluminio | 15062,0 | 2958,3 | 19,6 |
| Vidrio | 816,9 | 285,1 | 34,9 |
| Plásticos | 4288,7 | 405,8 | 9,5 |
| Papel y Cartón  | 32713,3 | 10290,5 | 31,5 |
| Textiles | 772,3 | 140,0 | 18,1 |

En el 2014, el mayor volumen generado fue de Papel y Cartón, pero el ítem con mayores porcentajes de reciclaje fue el Vidrio, seguido del Papel y Cartón. Se observaron bajos niveles de reciclaje con respecto a la generación, entre otras causas porque no se usan como una sustitución de importaciones o para la exportación afectando, además, el medio ambiente por la contaminación causada con su disposición final.

Existen algunos proyectos en países en desarrollo para mejorar el reciclaje (McBean y col., 2007) involucrando a los propios habitantes. En Cuba, este tipo de iniciativas ha sido implementada canjeando reciclables por refrescos, por ejemplo, en los establecimientos dedicados a esta gestión pertenecientes a la UERMP, aunque también esta Unión de Empresas recoge residuos reciclables en las empresas estatales.

**3.5.2 Tratamiento**

Luego de la recogida, existen diferentes tratamientos aplicados a los productos seleccionados en el estudio de reciclaje, permitiendo un recobrado potencial para el mercado nacional (Tabla 5).

Tabla 5. Tratamiento y mercado nacional estatal potencial para los residuos sólidos reciclables.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Productos** | **Tratamiento** | **Mercado estatal nacional potencial** |
| **Aluminio** | Clasificación por tiposDescontaminaciónPrensado | Industrias locales para producir bienes. |
| **Vidrio** | Clasificación por coloresDescontaminación Molido | Industrias locales productoras de artículos de vidrio,Empresa Nacional del Fósforo,Empresa de Cerámica Roja |
| **Plásticos** | Separación y Clasificación,Prensado, Molido,Lavado, Secado,Pelletizado | Industrias Locales, PROVARI, Plástico Cajimalla,Industria Deportiva y otros. |
| **Papel y Cartón** | Separación y Clasificación,Prensado | Empresa Nacional de Papel, Empresa de Productos Sanitarios (Prosa), CUBA 9,Empresas de Asbesto y Cemento, Tejas Infinitas  |
| **Textiles** | Separación y Clasificación,Prensado | Industrias locales, Ministerio de Turismo, Empresas de Muebles, Empresas de Mantenimiento, Servicios Comunales, Direcciones Municipales del Poder Popular y otros |

Por otro lado, se debe tener en cuenta al sector cuentapropista como mercado nacional potencial identificado, ya que éste es un sector con un rápido crecimiento en Cuba hoy en día.

Resulta importante señalar que se requiere un fuerte desarrollo tecnológico para la aplicación de la política de reciclaje, con la introducción de las tecnologías más modernas y limpias que permitan un incremento sustancial en el recobrado y en el procesamiento de los residuos reciclables, reduciendo los costos de operación y con una mejora sostenida de la calidad y el valor de los productos obtenidos.

Como se demuestra, existe una amplia diversidad de residuos generados en la economía, los cuales con un tratamiento adecuado pueden ser reciclados, ya sea por la UERMP o por la entidad de origen como parte del proceso de producción, sustituyendo importaciones, aumentando las exportaciones y contribuyendo a la protección del medio ambiente.

Cuba ha estado evaluando propuestas de 28 empresas extranjeras que desean invertir en el proyecto de gestión integrada de RSU nacional, para reducir los impactos negativos al ambiente y a la salud humana (Opciones, 2016). Se han evaluado las tecnologías más adecuadas para las condiciones existentes en el país, teniendo en cuenta los tipos de residuos y las más eficientes en la generación de electricidad a partir de estos. Esta inversión aumentaría la generación de electricidad, la recuperación de residuos reciclables, reduciendo los impactos ambientales y sociales.

## Conclusiones

En el 2014, La Habana mostró una tasa de generación de RSU *per cápita* de 0,70 kg/persona.d, muy similar a los valores encontrados en otras ciudades de países en desarrollo.

El estudio de composición demostró que, entre 11 componentes, los residuos de alimentos fueron el componente fundamental, lo que provocó un contenido de humedad alto en los RSU.

Cinco de los componentes de los RSU en La Habana resultaron promisorios para el reciclaje, de los que los mayores porcentajes resultaron el papel y cartón. Aún no resultan suficientes los porcentajes de recuperación, teniendo en cuenta los residuos generados.

Los resultados obtenidos son valiosos para la toma de decisiones respecto a la gestión de los RSU, constituyendo una contribución útil para el plan de su manejo integrado en La Habana

## Referencias bibliográficas

1. Aja Ogboo Chikere and Al-Kayiem, Hussain H. (2014). Review of municipal solid waste management options in Malaysia, with an emphasis on sustainable waste-to-energy options. J Mater Cycles Waste Manag Vol. 16, pp. 693–710.
2. ASTM. (2014) Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste. Designation: D 5231 – 92, 2008.
3. Bhattacharjee, S. and Gupta, S. (2009) Physical composition and characteristics of municipal solid waste of Silchar City, Assam, North East India. Poll. Res., 28(2): 203-206.
4. Binder C. R., Mosler H. J. (2007) Waste-resource flows of short-lived goods in households of Santiago de Cuba. Resources, Conservation and Recycling Vol. 51, pp. 265–283
5. Buenrosto, O., Bocco, G., Bernache, G., (2001). Urban solid waste generation and disposal in Mexico: a case study. Waste Management & Research 19 (2), 169–176.
6. Campuzano, R. and González-Martínez, S. (2016). Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. Waste Management Vol. 54, pp. 3–12.
7. Christensen T. H. (2011) Solid Waste Technology & Management, Volume 1, Wiley, Chichester.
8. CITMA (2016). Estrategia Ambiental Nacional 2016-2020, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Habana, Cuba, p. 12.
9. EC-European Commission. (2004) Methodology for the analysis of solid waste (SWAtool). 5th Framework Program, Vienna, Austria. 31p. + app. 26p. <http://www. swa-tool.net. (revisado 04.04.14).
10. Espinosa Ma. del C., López M., Pellón A., Fernández A., Díaz S. (2010). Cuban research in municipal solid waste. In: Solid Waste Management and Environmental Remediation. Chapter 3. Editors: T. Faerber, J. Herzog. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-60741-761-3, pp. 125-176.
11. Espinosa Ma. del C., López M., Álvarez H., Pellón A., García J., Díaz S., Fernández A. (2008). Characterization of municipal solid waste form the main landfills of Havana City. Waste Management Vol. 28, pp. 2013-2021.
12. Espinosa Ma. del C., López Torres M., Pellón Arrechea A., Mayarí Navarro R. y Fernández Colomina A. (2007). La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 38, No. 1, p. 33.
13. Gandhe H. D, Kumar A. (2016). Efficient Resource Recovery Options from Municipal Solid Waste: Case Study of Patna, India. Curr World Environ 2016;11(1).
14. ISO 5725. (1994) Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Parts 1–4. 1994.
15. Körner I., Saborit-Sánchez I., Aguilera-Corrales Y. (2008) Proposal for the integration of decentralised composting of the organic fraction of municipal solid waste into the waste management system of Cuba. Waste Management Vol. 28, pp. 64–72.
16. Lagerkvist A., Ecke H. and Christensen T. H. (2011). Waste Characterization: Approaches and Methods. Chapter 2 Waste generation and Characterization. 2.1. In Solid Waste Technology & Management, Edited by Thomas Christensen. Volume 1, Wiley, Chichester.
17. López-Torres M., Espinosa-Lloréns Ma. del C. (2008). Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. Waste Management, Vol. 28 (11), pp. 2229-2234.
18. López-Torres M., Espinosa-Lloréns Ma. del C., Escobedo R., Delgado, J. (2004). Gestión Integral de los Residuos Urbanos Sólidos y Líquidos en Cuba. Tecnología, Ciencia y Educación, enero-junio, vol. 19, número 001. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, Distrito Federal, México, pp. 5-13.
19. McBean E.A., del Rosso E., Rovers F.A. (2005) Improvements in financing for sustainability in solid waste management. Resources, Conservation and Recycling Vol. 43 pp. 391–401.
20. McBean E.A., Gondim F., Rovers F. (2007) Constraints and opportunities influencing recycling rates in some developing countries. Journal of Solid Waste Technology and Management. Vol. 33 (1), pp. 16-24.
21. Mosler H. J., Drescherb S., Zurbrügg C., Caballero Rodríguez T., Guzmán Miranda O. (2006). Formulating waste management strategies based on waste management practices of households in Santiago de Cuba, Cuba. Habitat International Vol. 30, pp. 849–862.
22. [Ogwueleka](file:///D%3A%5C0-Mami%5C0-ESPINOSA%5C2-PUBLICACIONES-9_37%20GB%5C2016%5CPARA%20PUBLICAR-2016%5CPARA%20ACTUALIZACI%C3%93N%20BIBLIO%20PUBLI%20RSU%5CREFERENCIAS%20CITADAS%20ARTICULO%5CSurvey%20of%20household%20waste%20composition%20and%20quantities%20in%20Abuja%2C%20Nigeria.htm), T. Ch. (2013). Survey of household waste composition and quantities in Abuja, Nigeria. [Resources, Conservation and Recycling](http://www.sciencedirect.com/science/journal/09213449). Vol. [77](http://www.sciencedirect.com/science/journal/09213449/77/supp/C), pp. 52–60.
23. ONEI a. (2015) Anuario Estadístico de La Habana 2014. Oficina Nacional de Estadísticas e Información.
24. ONEI b. (2015) Anuario estadístico por municipio de La Habana 2014. Oficina Nacional de Estadísticas e Información.
25. ONEI. (2015) Anuario Estadístico de Cuba 2014. Capítulo 3: Población. Oficina Nacional de Estadísticas e Información.
26. ONEI. (2013) Anuario Estadístico de La Habana 2012. Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Edición 2013.
27. ONEI. (2011) Anuario Estadístico de La Habana 2010. Oficina Nacional de Estadísticas e Información.
28. Opciones. (2016). <http://www.opciones.cu/cuba/2016-06-09/analizan-en-la-isla-propuesta> de inversión para gestión de desechos. Revisado: 10/06/2016.
29. OPS y CEPIS. (1998) Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud. <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/resisoli/dsm/dsmcap03.html> (Revisado: 02/may/2016).
30. OPS, AIDIS, BID. (2010) Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud, Ass. Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y Banco Interamericano de Desarrollo. 164 pp.
31. Sahimaa O., Hupponen M., Horttanainen M., Sorvari J. (2015). Method for residual household waste composition studies. Waste Management Vol. 46, pp. 3–14.
32. Samwine T., Peng Wu, Lezhong Xu, Yaoliang Shen, Emmanuel Appiah, Wang Yaoqi. (2017). Challenges and Prospects of Solid Waste Management in Ghana. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis. Vol. 5, No. 4, pp. 96-102. doi: 10.11648/j.ijema.20170504.11.
33. Sharma M. and McBean E. A. (2009) Strategy for use of alternative waste sort sizes for characterizing solid waste composition. Waste Management and Research. Vol. 27, pp. 38-45.
34. Tamas A., H.-J. Mosler, R. Tobias, T. Caballero Rodríguez, O. Guzmán Miranda. (2005) Factors determining the intentions to reuse, separate and compost household waste in the city of Santiago de Cuba. Proceedings of Waste-The Social Context. Edmonton. Alberta, Canada.
35. Titti, G. (2016). Vehicle routing problem solved through genetic algorithms in the framework of municipal solid waste collection and transport. Thesis. Academic year 2015/2016. University of Padova. Engineering Faculty. Civil and Engineering Department. Padova. 144 pp.