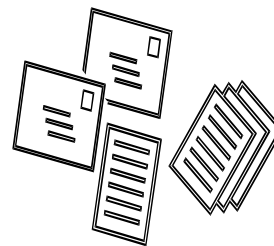


Comentario Especializado



DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS URBANOS EN CUBA

Matilde López Torres, María del Carmen Espinosa Lloréns y Jesús Delgado.*

Dirección de Ciencia y Tecnología Ambiental, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Apartado Postal 6414, *Ministerio de Economía y Planificación, Territorial y 20 de Mayo, Ciudad de La Habana, Cuba.

Las actividades domésticas, públicas, comerciales e industriales originan una corriente de residuos que deben ser tratados adecuadamente, para evitar la contaminación del medio ambiente.

Según las legislaciones y normas vigentes, residuo es todo aquel material derivado de las actividades de producción y consumo que no ha alcanzado, en el contexto en que se produce, ningún valor económico (Ley 10/1998; NC 133: 2002).

Los diversos residuos existentes pueden reunirse en las categorías siguientes: residuos agrícolas, forestales, ganaderos, industriales, mineros y urbanos.

Los **residuos urbanos** son aquellos que se generan por cualquier actividad en los núcleos de población y sus alrededores.

La naturaleza de los residuos urbanos es muy variada, citándose dentro de éstos los de origen doméstico y de mercado, las aguas residuales y lodos de depuradoras y los gases de diversas procedencias. Dentro de esta clasificación no se incluyen los residuos hospitalarios, los que por sus características se abordan de forma especial.

De acuerdo con el estado físico, los RSU pueden ser clasificados como sólidos, líquidos y gaseosos y por su composición en orgánicos e inorgánicos.

Dentro de la categoría de residuos urbanos tienen especial atención y muy particularmente como objetivo a abordar en el presente trabajo, los residuos sólidos urbanos (RSU).

Hoy día el país no cuenta con una información actualizada de la generación y caracterización de los RSU para la toma de decisiones y el desarrollo de métodos de manejo apropiados.

Tanto los RSU como los residuos líquidos generados por la actividad humana, están constituidos por un 60 % de materia orgánica biodegradable, que puede ser reincorporada al suelo en forma de

sustrato o biofertilizante aportándole en este sentido, un beneficio adicional.

La gestión y el tratamiento de los RSU se debe realizar con una visión integral, que considere los factores propios de cada localidad para asegurar su adecuado manejo y beneficio.

Hasta el presente, la solución más generalizada que se le ha dado a los residuos urbanos y en especial, a los residuos sólidos ha sido muy simple, quitarlos de la vista, arrojándolos a los llamados vertederos, sobre todo, a los vertederos incontrolados, u, ocultando el problema enterrándolos.

Entre otras alternativas se tiene la reducción previa del volumen por incineración y el aprovechamiento mediante recuperación o biotransformación.

La incineración, lejos de solucionar el problema de los residuos, lo agrava, ya que origina nuevos residuos, más tóxicos, que contaminan el aire, el suelo y el agua a través de las emisiones a la atmósfera, además de las cenizas que genera.

El compostaje puede ser una alternativa a considerar. Sin embargo, no siempre se dispone de terreno suficiente (de acuerdo con la generación) para llevar a cabo este tratamiento. Esto, sin tener en cuenta el gran tiempo de digestión que se requiere para la estabilización del material orgánico.

Una propuesta de tratamiento de los residuos urbanos en Cuba fue realizada por Sánchez y col. (1999), que incluye los pasos siguientes: mezcla de la fracción orgánica de los RSU con las aguas residuales urbanas, molido de la mezcla, digestión anaerobia en un reactor de gran velocidad, tratamiento en un reactor anaerobio de lecho fijo del efluente líquido del digestor anaerobio y del agua residual restante, tratamiento final por microalgas (si existiera disponibilidad suficiente de terreno) y filtración del efluente final.

El presente trabajo propone un nuevo enfoque de gestión y tratamiento de los RSU en Cuba, el cual posibilita su máximo aprovechamiento y además incluye a las aguas residuales urbanas.

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN CUBA

El país no cuenta con una información actualizada de caracterización de los residuos urbanos. Los últimos informes datan de 1990, período a partir del cual se produjo un cambio general desde el punto de vista económico-financiero que incidió directamente incluso, en el tipo de residuos que hasta ese momento se estaba generando.

Múltiples esfuerzos se realizan hoy día para acometer de forma integrada la actualización de la caracterización de los RSU, en una primera etapa en Ciudad de La Habana, centrando esta actividad el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y la Dirección de Servicios Comunales, con la participación de distintas instituciones, entre ellas: el Centro Nacional de Investigaciones Científicas, el Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología y el Centro de Investigaciones y Manejo de Bahías.

De acuerdo con estudios de caracterización realizados en diferentes localidades del país (Tabla 1), los RSU están constituidos por un conjunto de materiales heterogéneos. Es por ello que se plantea la necesidad de agrupar sus distintos componentes en categorías de cierta homogeneidad para valorar selectivamente cada uno de los tipos de residuos.

La cantidad de basura generada hasta 1989, se estimó en 0,5 kg/(hab. · d) (OPS-OMS, 1997). Sin embargo, como bien se ha señalado, la producción ha cambiado en los últimos años, por la variación en los materiales de embalaje y otros cambios en el estilo de vida, lo que

Tabla 1. Caracterización física de los residuos sólidos urbanos en Cuba.

Residuo	Ciudad de La Habana, 1989*	Sancti Spíritus**	Nivel nacional, 1989***
	(% , p/p)		
Desechos de alimentos	59,45	65,00	48,80
Papel cartón	20,34	13,00	18,70
Barreduras, residuos de poda	0,55	6,00	—
Metales	6,23	4,20	3,80
Madera	0,65	1,15	1,80
Botellas y vidrios	3,62	1,76	5,10
Trapos	3,36	4,91	4,90
Cueros	0,44	0,80	1,90
Plásticos	1,68	0,60	4,30
Huesos	0,49	0,09	1,10
Escombros	—	0,67	8,40
Misceláneas	3,19	1,82	1,20
Total	100,00	100,00	100,00

* Tomado de NC 133, 2002. ** Dirección Provincial de Comunales Provincia Sancti Spiritus, 2001. *** Análisis sectorial de residuos sólidos en Cuba, 1997.

ha provocado un aumento en la generación de residuos tales como los plásticos y los metales no ferrosos como el aluminio, no cuantificados con anterioridad.

En la primera mitad de la década de los noventa se reportó un cambio en la tendencia de generación de residuos sólidos, respaldada por la situación de período especial que atravesaba el país. Los estudios realizados por la Dirección de Comunales con posterioridad en el año 2000, han revelado el restablecimiento de la tendencia de generación y alertado sobre la crítica situación ocasionada por su producción y a cuya detención con nuevos enfoques de solución del problema en su origen están llamadas todas las instituciones, organismos y personas involucradas.

El incremento paulatino en la generación de RSU reportada en los últimos años, sitúa a Cuba junto a países desarrollados como España, Austria, Francia, Dinamarca, Alemania y Estados Unidos, lo que a su vez, es tomado como un índice del nivel de vida en un país.

La tendencia en el incremento de la generación de residuos es comparable con el crecimiento de los diferentes renglones reportados. Se observa a su vez una disminución en los desechos de cuero y huesos, lo que se corresponde por un lado con la valoración de estos desechos en el origen y a la disminución de su producción por otro.

Se destaca en todo este análisis el elevado porcentaje de materia orgánica presente (por encima del 50,00 %), por lo que resulta importante su consideración.

PROCEDIMIENTO PARA LA INTRODUCCIÓN DE UN NUEVO PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS URBANOS

El procedimiento se basa en la organización de la comunidad para introducir y promover un sistema de recogida selectiva de los RSU separados en dos fracciones: los residuos biodegradables y los no biodegradables (Fig. 1).

La introducción de este tipo de sistema resulta de difícil aplicación, ya que requiere de cambios de hábitos, por lo que se necesitará de un tiempo de toma de conciencia para que la población coopere con esta actividad.

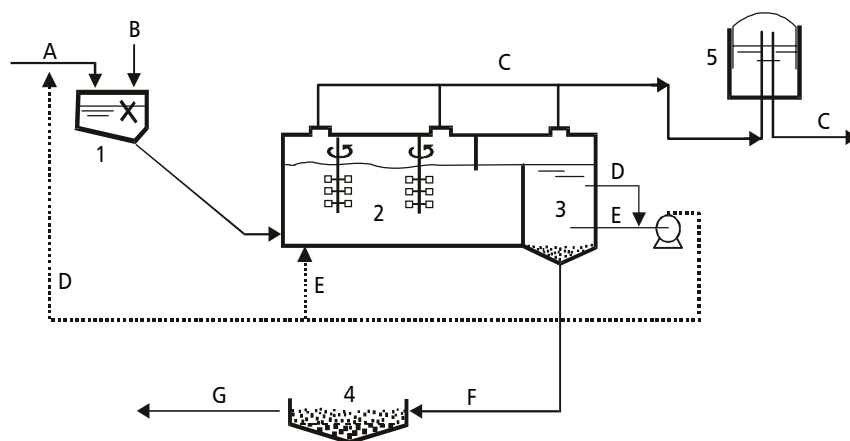
Las condiciones actuales por las que ha pasado y está atravesando el país, con los desastres del huracán Michelle y la actual campaña de limpieza, pueden servir de punto de partida para la labor educativa e incentivar en la población los hábitos y la toma de conciencia ambiental.

Esta etapa requiere de la adopción de medidas inmediatas para garantizar los recursos necesarios y dentro de estos, la adquisición de recipientes diferenciados o bolsas que contribuyan a la identificación del contenido de los RSU para actuar desde el origen del problema.

Los residuos no biodegradables se enviarían a la planta de selección y reciclaje para su consideración. Este tipo de instalación se ha ido extendiendo en todo el país. Sin embargo, su capacidad de tratamiento resulta inferior a la demanda. Esta etapa minimiza la cantidad de residuos a tratar y además, contribuye al ahorro de recursos, energía y divisas por sustitución de importaciones. El país cuenta con la experiencia necesaria y una infraestructura desarrollada para acometer esta actividad.

Las aguas residuales, causantes de malos olores y de la contaminación, se colectarían en una planta para su tratamiento, a la que se dirigirían además, los RSU biodegradables. Estos últimos cuentan con una gran cantidad de lignina y material lignocelulósico de difícil degradación, debiéndose someter previamente a un pretratamiento de tipo físico o químico para hacer más lábil a la lignina.

La experiencia acumulada en el tratamiento de residuos con elevado contenido de lignina ha propuesto la solubilización previa de estos materiales con el empleo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en dosis que oscilan entre 2 y 3 kg/m^3 (López, 2000).



1. Tanque de mezclado.
 2. Digestor completamente mezclado.
 3. Digestor estratificado.
 4. Lecho.
 5. Gasómetro.
- A. RSU + agua residual urbana.
B. $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
C. Biogás.
D. Recirculación del sobrenadante.
E. Recirculación del lodo.
F. Lodos digeridos.
G. Sustrato orgánico.

Fig. 1. Procedimiento para la valoración energética de la fracción orgánica de los RSU.

La tecnología propuesta para la planta de tratamiento está basada en varias operaciones:

■ Preparación y mezclado del residuo

Para esto se emplea un tanque en donde se mezclan en proporción 1:1 en volumen las aguas residuales con los residuos sólidos biodegradables.

■ Prehidrólisis alcalina

Constituye la base fundamental del procedimiento. En esta etapa es donde ocurre la transformación y solubilización del material orgánico complejo. La operación se lleva a cabo en el tanque de preparación herméticamente cerrado, garantizándose el mezclado de la masa para la solubilización química de la materia orgánica. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se adiciona en una proporción de 2 a 3 kg/m^3 manteniendo la agitación por espacio de 4 h.

■ Digestión anaerobia del residuo pretratado

Concluido el pretratamiento, el residuo se introduce en el digestor anaerobio constituido por dos etapas. La primera es la mezcla, donde se logra la mayor degradación del material orgánico, completándose la conversión en la segunda etapa, en la que al mismo tiempo, se logra la separación de la fracción líquida (sobrenadante) y sólida (lodo). Como resultado de la hidrólisis química inicial, se logra con este proceso una mayor producción de biogás.

■ Lechos

El sólido digerido es enviado hacia los lechos para su saneamiento final a través de volteos, con el fin de elevar la temperatura y eliminar de esta forma, microorganismos patógenos y sustancias frotóxicas que no se han podido destruir en la etapa anterior de tratamiento, pudiéndose aprovechar finalmente como enmendante de suelos o sustrato orgánico.

■ Beneficios

Biogás como solución alternativa para satisfacer las necesidades energéticas en una parte de la población. Sustrato orgánico como mejorador de suelos.

■ Beneficios sociales

Reducción de la contaminación en las zonas de disposición incontroladas que actualmente existen.

Eliminación de malos olores, moscas, roedores, así como la reducción de la contaminación de aguas superficiales y del manto freático.

Reducción de enfermedades.

Reducción de los riesgos de incendio en las áreas de disposición.

ANÁLISIS ECONOMICO

El análisis económico permitió definir la capacidad de los diferentes órganos de tratamiento.

La evaluación del efecto económico tuvo en cuenta el valor actual neto (VAN) y el período de recuperación de la inversión (PRI).

Los costos de inversión incluyeron los equipos tecnológicos y la obra civil y los anuales, la mano de obra, los insumos de la planta, la energía y el mantenimiento.

Los gastos de mantenimiento fueron estimados en un 3 % de los equipos tecnológicos, según evaluación realizada por los especialistas del campo en el análisis de prefactibilidad de plantas a gran escala construidas para el tratamiento de residuos agrícolas.

El análisis de los beneficios incluye el empleo de la materia orgánica digerida como sustrato para plantas, cuyo costo actual es de \$80,00 USD/ m^3 y el empleo del biogás como suministrador de CO_2 , tomando como base el costo de los cilindros a razón de \$6,28 USD.

El flujo beneficio-costo fue convertido al valor actual neto, teniendo en cuenta una tasa de interés del 10 %, el cual es usado internacionalmente en estos estudios (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de los resultados fundamentales del análisis económico.

Años	Período de recuperación (años)	VAN
10	2,76	\$164 374,79

Comparando los resultados obtenidos con otras variantes tecnológicas reportadas, entre ellas, la de pretratamiento térmico de los residuos complejos, donde el período de recuperación de la inversión llega a los 4 años, se puede inferir que la alternativa propuesta resulta más ventajosa para ser valorada dentro del enfoque de gestión integral. Con esta propuesta se logra la recuperación de la inversión en menos de 3 años.

Estos resultados se deben fundamentalmente al mayor aprovechamiento de los residuos después de hidrolizados, lo que conduce a una disminución del tiempo de digestión del material orgánico (10 d) y por tanto, a una disminución en el volumen del digestor, órgano principal de tratamiento.

Además, se logra disminuir los riesgos de contaminación no solo medio ambiental, sino también, por la manipulación directa durante el tratamiento.

CONCLUSIONES

La región de América Latina y el Caribe y en particular en Cuba, no se cuenta con un programa de gestión de los residuos sólidos urbanos, por lo que toda acción encaminada a la gestión integrada de los residuos sólidos deberá tomarse en consideración para su valoración.

Con el enfoque propuesto se obtendría:

- El incentivo y la promoción de un programa de clasificación en origen y reco-

lección selectiva de los residuos sólidos urbanos.

- El fomento de iniciativas que permitan la máxima valoración de la materia orgánica mediante tratamientos como la biometanización.
- La reducción y minimización de la disposición final de los residuos que lleguen a los vertederos.

BIBLIOGRAFIA

- Brummeler E., Aarnink M.M. J. and Koster, W. Dry anaerobic digestion of solid organic waste in a biocell reactor at pilot plant scale. **Water Science Technology**, **25**, 7, 301-310, 1992.
- Chamy R., Poirrier P. y Schiappacasse M.C. Tratamiento anaerobio de residuos sólidos. Memorias del III Taller y Seminario Latinoamericano. Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Montevideo, Uruguay, 217-230, 1994.
- Gijzen H. Recent development in the anaerobic digestion of solid and semi-solid waste. Paper presented at the Workshop Curso - Taller Internacional. Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Febrero-marzo. Universidad del Valle, Cali, Colombia, 1995.
- Hashimoto A.G., Chen Y.R., Varel V.H. and Prior R.L. Anaerobic fermentation of animal manure. Joint Meeting of American Society of Agricultural Engineering and Canadian Society of Agricultural Engineering. Winnipeg, Canada, 1979.
- Hashimoto A.G., Chen Y.R., Varel V.H. and Prior R.L. Anaerobic Fermentation of Animal Manure. Presented at: Meeting of American Society of Agricultural Engineers and Canadian Society of Agricultural Engineering. June 24-27. University of Anitiba, 1989.
- Dirección de Comunales. Informe, 2000.
- Dirección Provincial de Comunales. Sancti Spiritus. Informe, 2001.
- BOE No. 96. Ley 10/1998 de Residuos del 21 abril.
- López M. Procedimiento de pretratamiento para mejorar la digestión anaerobia de residuos sólidos. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Centro Nacional de Investigaciones Científicas, 2000.
- NC 133.2002. Residuos sólidos urbanos. Almacenamiento, recolección y transportación.
- OPS-OMS. Análisis sectorial de residuos sólidos en Cuba. Serie Análisis Sectoriales No. 13. Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud, 1997.
- Rodríguez Vidal F.J. Curso de Verano. Gestión de Residuos Urbanos e Industriales. Universidad de Burgos. España, 2000.
- Sánchez E., López M., Rovirosa N., Travieso L. y Morales J.L. Gestión para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de residuales urbanos en Cuba. **Revista Residuos**, España, No. 51, 90-93, 1999.
- Six W. and De Baere L. Dry anaerobic Conversion of Municipal solid waste by means of the DRANCO Process. **Water Science and Technology**, **25**, 7, 295-330, 1992.
- Verstraete W., Tanghe T., Smul A. and Grootaerd, H. Anaerobic biotechnology for sustainable waste treatment. Biotechnology. Saylor G. and Sanseverino J. Davis K (Ed.). Biotechnology in the Sustainable Environment. Plenum Press. New York & London, 343-359, 1997.