



Curiosidad



Residuos sólidos urbanos: una problemática ambiental y oportunidad energética

José Vian-Pérez*, Alejandra Velasco-Pérez**, Tania García-Herrera**

La basura o, formalmente, los residuos sólidos urbanos (RSU) son los materiales eliminados de las casas-habitación o vía pública al dejar de cumplir con la función para la cual fueron creados. Tradicionalmente, en las instituciones de educación básica y media superior se ha tratado de concientizar a la comunidad estudiantil y sociedad en general acerca de la problemática que implica la generación y deficiente disposición de estos residuos. Las actividades que se han propuesto como alternativa para minimizar dicho problema son las campañas de reciclaje y reutilización de algunos materiales como el plástico o papel. Además de fomentarse una cultura de orden respecto a la disposición y reducción de la cantidad de residuos a eliminar. Por otro lado, poco se ha informado acerca de las tecnologías de valorización energética de los residuos. Es decir, procesos tecnológicos cuyo producto final tiene un valor energético como metano (CH_4) o hidrógeno (H_2), los cuales resultan interesantes desde un punto de vista social, económico y ecológico.



* Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

** Universidad Veracruzana.

Contacto: alvelasco@uv.mx



¿QUÉ PROBLEMA REPRESENTAN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS?

De forma general, los RSU pueden dividirse en dos grandes grupos: *a)* los residuos orgánicos como los de frutas y verduras, residuos de comida y de jardín; *b)* los inorgánicos que incluyen materiales de plástico, vidrio, metales y otros. Aquí es importante mencionar que, como consecuencia de su mala disposición, los RSU ocasionan problemas ecológicos y sociales. Al ser dispuestos de manera incorrecta son contaminantes de suelo, agua y aire. Durante el proceso de descomposición de los RSU orgánicos se generan gases como el dióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO , respectivamente), metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S) y compuestos orgánicos volátiles (como benceno y acetona). Los anteriores son tóxicos, generan malos olores y contribuyen al cambio climático. Además, el agua de lluvia que pasa a través de un depósito de RSU, así como el agua que se libera de los propios residuos, lleva consigo elevada cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas que tienen como destino final los suelos y cuerpos de agua. Una fracción de estos lixiviados son degradados por microorganismos que producen sustancias ácidas o básicas, como ácidos orgánicos y amonio (NH_4^+), que provocan desbalance en el pH del medio. Asimismo, otras fracciones de lixiviados son tóxicas, por lo que afectan directamente la ecología del suelo.

En el ámbito social, son básicamente dos problemas los que se generan: en primer lugar, los tiraderos a cielo abierto atraen y facilitan la proliferación de insectos, aves y mamíferos que pueden transmitir enfermedades como cólera, salmonelosis, dengue y amebiasis, entre otras; el otro problema es que se requieren grandes extensiones de tierra para la disposición final de residuos cuya producción es creciente y cada vez más cerca de los asentamientos poblacionales.





GENERACIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En México, 70% de los residuos que se generan son urbanos, en masa esto equivale a 42,106 millones de toneladas anuales o 115,359 toneladas por día, cada habitante del país contribuye generando en promedio 0.99 kg de residuos al día. Lo anterior, considerando un valor aproximado a la media de producción per cápita para los países de América Latina y del Caribe que es de 1.1 kg/persona/día. Sin embargo, para algunos países se registran producciones de sólo 0.11 kg/persona/día, como es el caso de Uruguay, y en otros como Trinidad y Tobago la producción es de hasta 14 kg/persona/día. Esa variación de producción de RSU se asocia con el nivel de desarrollo de cada país, en el que las actividades económicas predominantes no sólo dictan la cantidad de RSU producidos, también la composición de los mismos y los mecanismos de gestión y tecnologías de disposición o tratamiento (UNEP and CCAC, 2017). En México, en 1950, cuando comenzaba la transición económica (industrialización) del país, el porcentaje de RSU orgánicos era de 70%, mientras que para 2012 esa fracción ya se encontraba en 52% (Inegi, 2015).

En todos los casos, las actividades de gestión deberían estar enfocadas en lograr depositar la menor cantidad posible de residuos en sitios de confinamiento final como rellenos sanitarios. En regiones industrializadas o turísticas, los residuos generados son en su mayoría de naturaleza inorgánica, por lo que un mecanismo efectivo para reducir el volumen de residuos son las prácticas de reutilización y reciclaje de materiales como el PET, vidrio, cartón y metales. En lugares donde predominan actividades agrícolas y ganaderas, la mayor fracción de los residuos es orgánica, por lo que el área para su aprovechamiento son los procesos de tratamiento biológico con fines de generación de energía y obtención de materiales estabilizados. Es decir, materiales que ya no pueden ser degradados biológicamente, por lo cual ya no suponen algún efecto adverso sobre el medio ambiente.

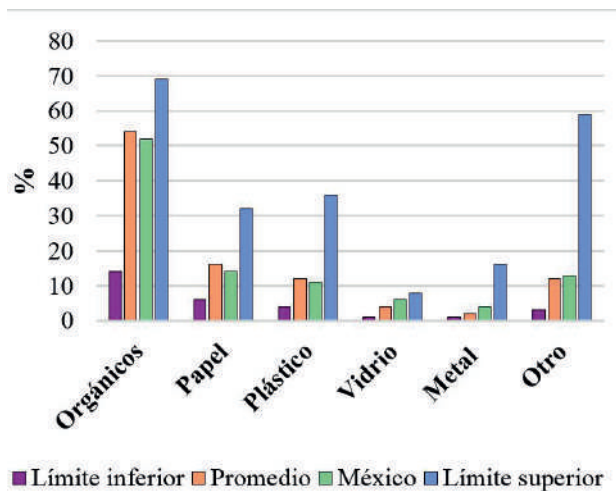


Figura 1. Composición de los residuos sólidos urbanos generados en México, en comparación con los países de América Latina y del Caribe (UNEP and CCAC, 2017; Inegi, 2015).

En países en vía de desarrollo existen tres tipos de sitios de disposición final: relleno sanitario, sitios controlados y tiraderos a cielo abierto. Los dos últimos sólo son lugares de confinamiento en los que no se controla el flujo de lixiviados, ni la emisión de gases a la atmósfera. Los rellenos sanitarios son obras de ingeniería en los que una extensión de tierra es impermeabilizada y sobre la cual se van depositando los RSU en capas, cada capa de residuos es cubierta con una de tierra y así sucesivamente. Además, cuenta con sistemas de canales y antorchas para el control de los lixiviados y gases generados, evitando su flujo hacia los suelos y la atmósfera, respectivamente.

En México existen 260 rellenos sanitarios, donde se disponen alrededor de 28 millones de toneladas de RSU (Semarnat, 2017). En ellos, los residuos pueden quedar atrapados en ambientes anaerobios (ausencia de oxígeno) al cubrirlos con tierra, en esta condición se reproducen microorganismos que al consumir la fracción orgánica de los RSU producen biogás, por lo que una deficiente operación de los rellenos tiene como consecuencia la emisión de 10% de metano del total global y malos olores debido al sulfuro de hidrógeno H_2S y otros compuestos orgánicos volátiles.

La zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León, es pionera, en América Latina, en valorizar energéticamente el metano producido en su relleno sanitario. En 2003, el organismo público encargado de la gestión de los RSU (Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos –Simeprode–) a través de la empresa Bioenergía de Nuevo León, S.A. (Benlesa) construye una planta de generación de energía eléctrica con capacidad

de 7.42 MW.h que incrementó hasta 20.8 MW.h en 2015. La energía cogenerada es destinada al consumo de oficinas gubernamentales, alumbrado público y a la operación del metro de Monterrey (INECC-Semarnat, 2015).

En caso contrario, en regiones donde el único fin de los rellenos sanitarios es confinar los residuos, es necesario alargar su periodo de vida y controlar las emisiones líquidas y gaseosas. Lo anterior se puede lograr disminuyendo la cantidad de residuos a disponer a través de la práctica de actividades como separación en el origen y reciclaje de materiales.

En algunas regiones estas actividades no han tenido éxito por diversos factores. El primero de ellos es la carencia de la infraestructura adecuada, por ejemplo, en algunas ciudades se colocan contenedores para depositar la basura separada como orgánica, metales, plásticos, etc., pero al no contar con los medios de transporte adecuados para cada uno de ellos, los residuos vuelven a mezclarse; el segundo se refiere a que la participación de la población en esta clasificación depende de la obtención de alguna retribución. En México, 39% de las personas que separa sus residuos lo hace por obtener beneficio monetario.

Al llevarse a cabo con éxito la separación de RSU, surge la necesidad de implementar tecnologías de tratamiento para las fracciones no recuperables, los más difundidos mundialmente son los tratamientos térmicos y los biológicos. Ambas opciones tienen la característica de tener un balance positivo de energía, es decir, en el proceso se genera la energía necesaria para su funcionamiento y un extra que puede ser utilizado, por ejemplo, para alumbrado público.



Figura 2. Práctica de separación en el origen de los RSU (UANL, 2019).

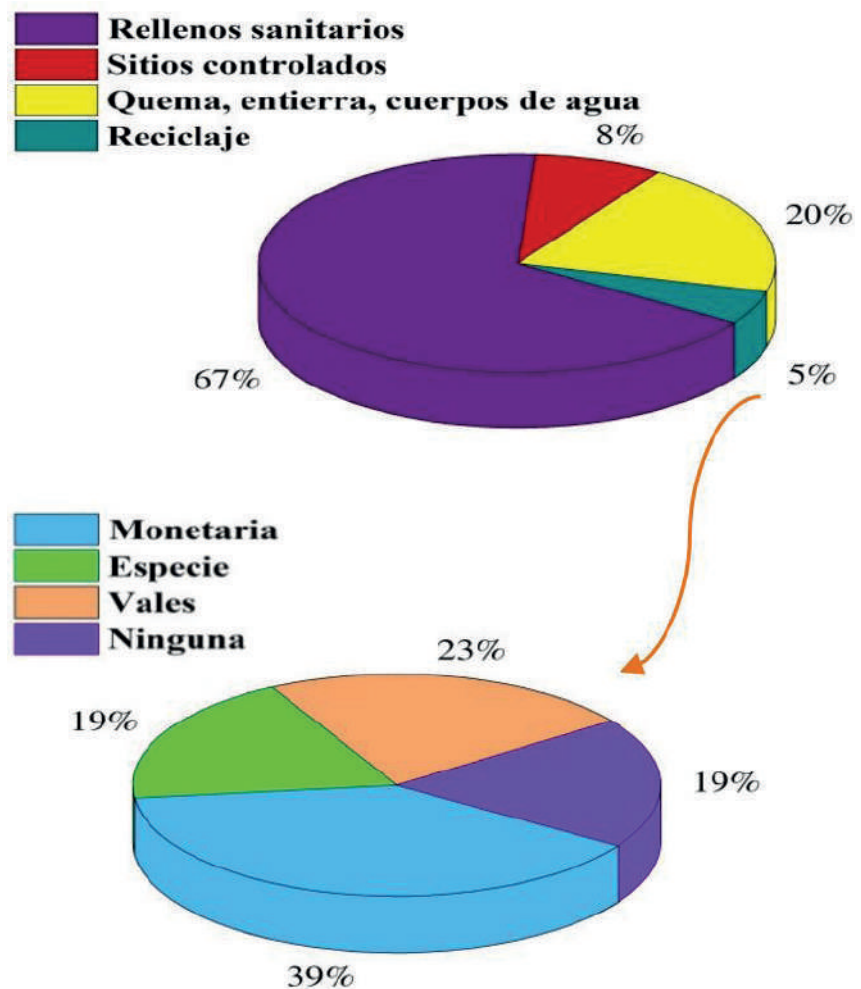


Figura 3. Lugares de disposición final de RSU en México y tipo de retribución que obtienen los habitantes que participan en actividades de reciclaje (Inegi, 2015)



TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Después del reciclaje, los residuos remanentes pueden ser enviados a disposición final o eliminarse mediante algún método de tratamiento. Los tratamientos térmicos son procesos físico-químicos que utilizan calor para degradar los residuos, con lo cual se recuperan metales y se extrae energía calorífica que puede ser utilizada en la industria para generar vapor de proceso o electricidad. La combustión, pirolisis y gasificación son tecnologías térmicas denominados en conjunto WTE (por sus acrónimos en inglés *Waste to Energy*).

Con la combustión se reduce en 95% la cantidad de residuos. Los residuos son quemados, por lo que se alcanzan temperaturas de 1200°C, el oxígeno necesario para la combustión se toma del aire y se generan cenizas, agua y gases (principalmente dióxido de carbono). Por cada tonelada de RSU sometidos a este tratamiento se liberan 685 kW.h, de los cuales 339 kW.h son consumidos por el propio proceso.

Aplicando presiones mayores a la atmosférica y temperaturas de 700°C en condiciones de ausencia de oxígeno se favorece la transformación de los residuos en gases con elevado poder calorífico como el hidrógeno (H_2), metano (CH_4) y otros como monóxido de carbono (CO). Al utilizar los gases combustibles generados se pueden obtener



544 kW.h de energía, de los cuales se consumen solo 78 kW.h en el tratamiento.

Mediante el proceso de gasificación se busca producir gases combustibles, como H_2 y CH_4 , a partir de los RSU. Esto se logra incinerando parcialmente los residuos, requiriendo menor cantidad de oxígeno que una combustión total. Las temperaturas que se alcanzan rondan los $1100^\circ C$, y el balance energético es similar al proceso de combustión.

Las tres opciones reducen los RSU a cenizas, de las cuales se pueden recuperar metales, y en el caso de las provenientes del proceso de gasificación, también pueden utilizarse para construcción debido a sus características vítreas. Entonces, después de aplicar un proceso de tratamiento de este tipo, si se tenía la necesidad de confinar en un relleno sanitario una tonelada de RSU, ahora sólo se tendrán que disponer 50 kg de cenizas que no son sujetas a la acción de microorganismos, anulando la producción de biogás contaminante y malos olores en el sitio de disposición. La pirolisis posee el mejor balance energético, con una ganancia neta de energía de 466 kW.h por tonelada de residuo tratada, aunque con las otras tecnologías también se obtienen ganancias positivas de 345 kW.h. El punto negativo que tienen los tratamientos térmicos es que sus subproductos gaseosos son tóxicos como el ácido clorhídrico (HCl), sulfuro de hidrógeno (H_2S), cianuro de hidrógeno (HCN), amoníaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Por lo tanto, es importante analizar los aspectos técnicos, económicos, los rendimientos energéticos y el impacto ambiental para elegir el proceso de tratamiento más acorde a cada situación (Castaldi, 2014).



TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

De forma natural, en el ambiente se lleva a cabo la transformación de materia por parte de diversos microorganismos. Un ejemplo de esto es cuando la cáscara de algún fruto es depositada en el suelo de un jardín, después de un tiempo es transformada en un material con características similares a las del suelo. Es decir, ocurre que los microorganismos que crecen sobre la superficie de la cascara, la consumen, produciendo CO_2 , agua y mineralizando el material. En los pantanos, el agua está saturada de sólidos, por lo que no existe oxígeno gaseoso (O_2) disuelto en el medio, en estas condiciones anaerobias, el metabolismo de los microorganismos presentes es distinto, por lo que la materia que consumen la transforman en metano y dióxido de carbono, principalmente. Las tecnologías biológicas de tratamiento de residuos son la aplicación de los procesos biológicos que ocurren en el medio ambiente, reproduciendo esos fenómenos en sistemas (obras de ingeniería) donde se controlan las características fisicoquímicas que maximizan la actividad de los microorganismos responsables de la biotransformación de los materiales.

Por otro lado, el composteo es la tecnología aerobia para el tratamiento de residuos orgánicos. En esta tecnología se depositan en dispositivos o sobre superficies impermeables una mezcla de residuos orgánicos, tierra y un material de soporte que puede ser virutas de madera, estos materiales

deben ser mezclados periódicamente con el propósito de suministrarles aire. Los microorganismos presentes en la tierra llevan a cabo la degradación de los RSU orgánicos. El material de soporte incrementa la porosidad de la mezcla, permitiendo que el aire se difunda a través de ella, evitando la generación de zonas anaerobias donde se producirían gases como metano y compuestos aromáticos. El producto final del proceso es un material estabilizado (30% del volumen inicial de residuos sometidos a tratamiento) con características fertilizantes por su elevado contenido de nitrógeno y fósforo. El principal punto débil de esta tecnología es el prolongado tiempo de proceso (mayor a 90 días), lo cual implícitamente significa la necesidad de grandes extensiones de terreno (Montalvo y Guerrero, 2003).

Los procesos de digestión anaerobia son la otra alternativa biológica. Se lleva a cabo en biorreactores, dispositivos cerrados para asegurar ambientes anaerobios dentro de ellos, a los que se les controla el pH en un punto neutro (valor de 7) y la temperatura de operación (generalmente es fijada a un valor de 36 o 45°C). Los biorreactores pueden ser tanques equipados con impulsores que promueven la mezcla y homogenización de los materiales en todo el volumen de trabajo, o dispositivos tubulares con mecanismos que obliguen a los materiales a pasar como un émbolo a través de toda su longitud. Los RSU orgánicos se alimentan a los biorreactores en conjunto con agua residual (agua que ya ha sido utilizada en otra actividad) para ajustar la concentración de sólidos a un valor menor a 35%. Un grupo de microorganismos anaerobios se encarga de desintegrar y producir ácidos orgánicos y finalmente producir un biogás con elevado contenido de metano (>70%). Al final del proceso se tiene un material rico en nutrientes como nitrógeno y fosforo que puede ser utilizado como mejorador de suelos y un biogás con poder calorífico volumétrico de 10.49 kW.h.m³ que puede ser empleado como combustible directamente o para generar energía eléctrica.

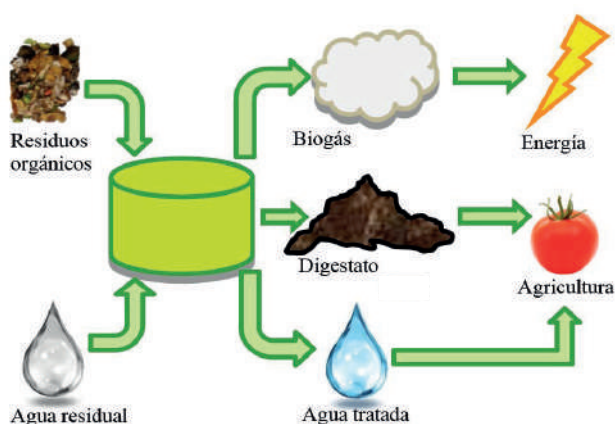


Figura 4. Digestión anaerobia de residuos orgánicos.

Un balance energético de un proceso anaerobio se puede realizar tomando como base de cálculo la generación de residuos sólidos urbanos, estimada para un polígono de 100,000 habitantes (99 toneladas por día), de los cuales 52% son de naturaleza orgánica. Si estos RSUO son tratados mediante un sistema operado en forma óptima, se generarían 3434.75 m³/d de metano y 1.10 t/d de composta, además de que se tratarían 102.75 m³ de agua residual. La composta generada, así como el agua tratada, son productos de valor apreciable para actividades agrícolas. El metano resultante del proceso rendiría 36 030.53 kW.h/d de energía, considerando un poder calorífico volumétrico de 10.49 kW.h./m³ para el metano, esto es suficiente para abastecer de energía eléctrica a 1242 hogares típicos mexicanos. En otro escenario, si la energía generada se utiliza para otros fines como alumbrado público, un municipio obtendría ahorros por este concepto de entre 2.6 y 10 millones de pesos anuales (considerando precios de entre 0.85 y 2 pesos por kW.h) (UNEP and CCAC, 2017; Inegi, 2015).

CONCLUSIONES

Actualmente la generación de RSU es una problemática de índole social, económica y ecológica, que toma mayor fuerza en países subdesarrollados y en vía de desarrollo. En todas las actividades que realiza el ser humano se generan residuos que deben ser eliminados o confinados de forma que se minimice el efecto negativo que tienen sobre el medio ambiente.

Gracias a la investigación científica y el desarrollo tecnológico en este ámbito, se han propuesto tecnologías de tratamiento térmico y biológico que permiten disminuir hasta 95% de los residuos a disponer en rellenos sanitarios, lo cual prolonga su vida útil y evita que grandes extensiones de tierra se destinen para almacenarlos. Asimismo, los productos de esas tecnologías son principalmente gases combustibles con lo que se cambia el enfoque social-económico de una situación problema hacia una situación de oportunidad energética. En países como México, la proporción de RSU orgánicos abre la posibilidad de implementar estas tecnologías. Sin embargo, es necesario que el gobierno en sus distintos niveles proporcione la infraestructura necesaria para incentivar la cultura de separación de residuos y reciclaje, aspectos clave para el éxito del manejo sustentable de los residuos sólidos urbanos.

REFERENCIAS

Castaldi, J.M. (2014). Perspectives on sustainable waste management. *The Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 5: 547-562.

INECC-Semarnat. (2015). *Programa Estatal de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Nuevo León 2009-2015*. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187464/Nuevo_Le_n.pdf

Inegi. (2015). *Censo nacional de gobiernos municipales y delegacionales. Módulo ambiental de residuos sólidos*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2015/default.html#Tabulados>

Montalvo, S., y Guerrero, L. (2003). *Tratamiento anaerobio de residuos*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.

Semarnat. (2017). *Indicadores básicos del desempeño ambiental-residuos sólidos*. Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores14/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual3.html

UNEP and CCAC. (2017). *Progress and opportunities for Reducing Short-lived Climate Pollutants across Latin America and the Caribbean*. Disponible en <https://www.ccacoalition.org/es/resources/progress-and-opportunities-reducing-slcp-across-latin-america-and-caribbean>

Universidad Autónoma de Nuevo León. (2019). *Manejo y gestión de residuos sólidos urbanos con características reciclables*. Disponible en: <http://sds.uanl.mx/manejo-y-gestion-de-residuos-2/>

