

Los beneficios de revalorizar nuestros residuos

Alejandra Torres Lara
Juan Fernando García Trejo

En la sociedad actual hemos normalizado un ritmo de consumo cada vez mayor. Desde alimentos hasta objetos tecnológicos, pasando por prendas de vestir, y cosméticos, entre otros, nuestra demanda no cesa. Esta tendencia, impulsada en parte por el aumento poblacional, tiene un doble filo. Si bien impulsa la economía, también trae consigo diversos daños ambientales ocasionados por los procesos de manufactura y transporte. Uno de los problemas más visibles es el aumento en la generación de residuos. En este artículo nos centraremos en los residuos y el beneficio que conlleva su revalorización.

Para abordar este tema, primero debemos entender qué es un residuo. La Real Academia Española lo define como aquel material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación. En términos legales en México, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos define a los residuos como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha, y que pueden ser valorizados, o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley.

Es relevante destacar que la misma ley promueve la revalorización de los desechos. Una iniciativa que, sin duda, busca mitigar los problemas de contaminación derivados de la acumulación de residuos.

Pero, ¿cómo se clasifican estos residuos? Existen tres grandes grupos, los cuales se diferencian en función de sus características y orígenes: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP) (LGPGIR, 2003). En este artículo, nos enfocaremos en la porción de los residuos orgánicos que se encuentra dentro de los RSU generados en el país.

RELEVANCIA DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU POTENCIAL DE REVALORIZACIÓN EN MÉXICO

México se encuentra en una posición destacada a nivel mundial en cuanto a la generación de residuos orgánicos. Según datos del INEGI (2020), el 52.4 % de los RSU en el país está constituido por material orgánico, como restos de comida y desechos de jardinería. Sorprendentemente, del total de estos residuos, un 21.2 % tiene potencial de revalorización en mercados ya consolidados.

Esto sugiere una oportunidad económica y de desarrollo significativa. Sin embargo, enfrentamos desafíos para aprovechar esta oportunidad, principalmente debido a las complejidades logísticas en la cadena de suministro. Estas dificultades surgen de factores como la infraestructura de transporte, la concentración urbana y la diversidad geográfica y sociopolítica del país.

La mala gestión de los residuos orgánicos no solo representa una oportunidad económica perdida, también un riesgo ambiental y de salud. Estos residuos contribuyen con un 5 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Sin embargo, revalorizar los residuos puede atenuar estos problemas. Los residuos tratados adecuadamente pueden transformarse en nuevos productos, ya sea directamente o a través de procesos físicos, químicos o biológicos.

Por ejemplo, las tecnologías físicas se centran en modificar propiedades como el tamaño o la humedad de los residuos. Las tecnologías químicas aplican diversas reacciones a las materias, entre las más comúnmente utilizadas se encuentran la

combustión, la pirólisis y la gasificación. Y por último, las tecnologías biológicas, donde los residuos pueden utilizarse como alimento para el crecimiento de microorganismos y organismos. En el caso de los microorganismos, a partir de su digestión se generan productos de alto valor comercial; además de los organismos empleados es posible extraer aún más compuestos que son utilizados para fabricar productos de diversa índole. En todos estos procesos pueden obtenerse diferentes tipos de productos, desde combustibles, fármacos y fertilizantes, hasta alimentos para animales, plásticos y compuestos químicos (Yaashikaa *et al.*, 2022).

A pesar de los potenciales beneficios que involucra, el mercado de revalorización en México aún es incipiente. Sin embargo, a escala global, la tendencia está cambiando. Los consumidores están favoreciendo productos sostenibles y éticos, lo que potencia una economía circular.

La economía circular, propuesta en 1966, es un modelo que busca el desarrollo sostenible al minimizar insumos y desperdicios. Se fundamenta en los principios de las 3 R: reducción, reutilización y reciclaje. Su objetivo es que los subproductos sean recursos para nuevos ciclos productivos. Este modelo no solo exige un cambio en la industria, sino también en el comportamiento del consumidor. Acciones cotidianas, como separar residuos o evitar productos no reciclables, son esenciales. Se estima que la adopción de la economía circular podría añadir 4.5 billones de dólares a la economía global para 2030, y 25 billones para 2050. Solo en reciclaje, reutilización y remanufactura se podría desbloquear 1 billón de dólares anuales para 2025 (Foro Económico Mundial, 2019).

EL MANEJO CONVENCIONAL DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN MÉXICO Y ESTRATEGIAS PARA MEJORAR

Según el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (DBGIR) 2020, México produce 44 millones de toneladas de RSU anuales, es decir, 120,128 toneladas diarias; esta cantidad es comparable al peso de 300 aviones comerciales. Se estima que cada habitante por día genera 0.944 kg de RSU;

tan solo entre 2010 y 2020, esta cifra aumentó 20 mil toneladas diarias adicionales.

Lamentablemente, la gestión de los RSU dista mucho de ser la adecuada. Oficialmente, en México existen dos tipos de sitios de disposición final de los residuos: 1) los rellenos sanitarios son la opción más efectiva, ya que cuentan con la infraestructura adecuada para contener y controlar el escape de materiales, lixiviados (sustancias líquidas que circulan entre los residuos de los vertederos) y gases que pudieran ser nocivos; y 2) los rellenos de tierra controlados, que se diferencian de los primeros en la capacidad de impermeabilización de su infraestructura, la cual no cumple con las especificaciones para controlar los lixiviados. Sorprendentemente, solo el 13 % de los rellenos sanitarios en México son adecuados y cumplen con las normas establecidas (SEMARNAT, 2022). Aunque todas las entidades federativas cuentan con rellenos sanitarios, esto no es suficiente para satisfacer las necesidades nacionales. Y pese a esto, la solución no radica en erigir más; por el contrario, se busca plantear alternativas para reducir el volumen de los RSU depositados en ellas.

Cabe destacar que el destino final de la mayor parte de los RSU depende de los consumidores. Tan solo 144 municipios en el país practican la recolección selectiva, de la cual se recuperan solo el 5.8 % del total generado (SEMARNAT, 2022).

En cuanto a la fracción orgánica, a escala nacional se producen aproximadamente 56,427 toneladas diarias, con un potencial considerable para el tratamiento mediante compostaje o biodigestión (PNPGIR, 2022).

El hábito de la separación de RSU en casa es crucial para fomentar que la revalorización, como modelo de negocio lucrativo, se vuelva una realidad. Lo anterior se debe a que la descomposición de los residuos conlleva su contaminación, reduciendo drásticamente sus posibilidades de revalorización.

Esta problemática ha motivado la creación de nuevas legislaciones y normativas, destacando el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024. Este programa se encarga de analizar la capacidad real de reciclaje en el

país, así como de fomentar el crecimiento de las unidades que realizan alguna actividad de revalorización.

ESTRATEGIAS DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Biogás: energía a partir de desperdicio. Los biodigestores anaeróbicos se caracterizan por ser un biosistema que emplea los procesos biológicos de la descomposición de materia orgánica realizada por los microorganismos; la descomposición de la materia se realiza en ausencia del oxígeno, produciendo metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El 10 % de la materia se transforma en lodos, mientras que el 90 % restante se emplea como gas. Este biogás puede utilizarse como una fuente de energía renovable para la generación de electricidad o como combustible. Tan solo en el 2015, la SAGARPA reportó que, en México, la bioenergía generada a partir de biodigestores representó aproximadamente el 8 % del consumo de energía primaria.

En México se reportan alrededor de 800 biodigestores domésticos, 109 productivos y más de 1000 industriales, promovidos por diversas dependencias gubernamentales o fundaciones del sector privado. Sin embargo, en los últimos años se ha duplicado el número de biodigestores, ya que para el 2024 la Ley para la Transición Energética tiene como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 35 % (SENER 2017).

Compostaje y vermicompostaje: transformando desperdicio en nutrientes. Una de las estrategias más ampliamente usadas para revalorizar los residuos orgánicos es el compostaje. Estos procesos biológicos, basados en la acción de microorganismos aerobios y lombrices (en el caso del vermicompost), transforman los residuos en abono natural rico en nutrientes. La práctica del compostaje no solo reduce la cantidad de residuos destinados a los vertederos, sino que también produce un recurso valioso para la agricultura y la jardinería. Diversos estudios respaldan los beneficios económicos y



Figura 1. Estrategias de revalorización. Métodos más comunes para revalorizar y los productos derivados de la revalorización.

ambientales de estas estrategias a nivel local. En México existen diversas empresas dedicadas a la elaboración de compostaje a partir de residuos industriales y domésticos, por ejemplo, Hagamos composta juntos, Gaia Orgánicos, Aldea Verde, COMPOSTAMEX, El Morado Compost, entre otras. Esto sugiere que puede ser un medio rentable.

Tecnologías Emergentes. La investigación continua ha llevado al desarrollo de tecnologías más avanzadas para la revalorización de los residuos orgánicos. Desde la conversión termoquímica hasta la bioextracción de nutrientes, estas innovaciones buscan maximizar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental asociado con la gestión de residuos. Estas nuevas tecnologías se apoyan de la bioprospección (la búsqueda de organismos, genes o moléculas derivadas de ellos que sean útiles para la industria); esto permite contar con estrategias más específicas para obtener compuestos de alto valor a partir de residuos particulares. Como ejemplo, puede mencionarse el uso de los residuos de la industria cárnica. A partir de ellos se pueden obtener desde fertilizantes, alimento para mascotas, jabones,

biodiésel y lubricantes, hasta grasas que son empleadas en cosméticos y procesos involucrados en la polimerización del caucho y el plástico. También se pueden mencionar la quitina (extraída de carcasas de camarón) y el ácido hialurónico (obtenido de despojos de peces); ambas sustancias son ampliamente usadas en medicina y cosméticos.

La Figura 1 resume las estrategias mencionadas en los párrafos anteriores.

LA MOSCA SOLDADO NEGRA: UN ALIADO EN LA REVALORIZACIÓN

Dentro de las tecnologías emergentes se encuentra el uso de la mosca soldado negra (MSN), una mosca muy diferente a la mosca doméstica que todos conocemos. La MSN es originaria de las zonas tropicales de América, aunque actualmente es normal encontrarla en los continentes que cuentan con un clima tropical. Además de ser inofensiva para el humano y otros animales, ya que no transmite enfermedades, también hay que agradecerle su capacidad de ahuyentar a la mosca doméstica pues compite con ella. La razón por la que la MSN es tan relevante para este artículo se debe a su capacidad

para alimentarse de los residuos orgánicos (RO) durante sus estadios larvarios. Unas 10,000 larvas son capaces de consumir 2.5 a 5 kilogramos en un solo día. El metabolismo de la larva transforma los RO en tres subproductos: 1) una materia larval rica en proteínas, que puede ser empleada como alimento para peces, aves y ganado; 2) la excreta de las larvas, llamado comúnmente *frass*, que sirve como un potente abono para los cultivos; y 3) la grasa proveniente de las larvas, que puede ser empleada para producir biodiésel (Rehman *et al.*, 2023). Otra ventaja es que su cultivo puede realizarse a pequeña escala de manera rudimentaria, tal como se muestra en la Figura 2. Existen suficientes guías accesibles en línea que ofrecen la información detallada para coleccionar las moscas en su hábitat natural e iniciar su reproducción. Una de las guías más completas que se puede consultar es la de Dortmans y colaboradores (2017).

A pesar de todas estas ventajas, en México son pocos los lugares donde se empieza a usar la MSN. Dentro del país, la planta de MSN con mayor crecimiento se encuentra en la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala, donde la investigación

está enfocada en su producción a gran escala. En la Tabla 1 se resumen las características de funcionamiento que implican las diversas estrategias en el manejo de residuos. También se incluyen beneficios y desventajas de las mismas.

CONCLUSIÓN

La revalorización de residuos orgánicos no solo aborda problemas medioambientales, sino que ofrece oportunidades económicas significativas. La combinación de técnicas convencionales con enfoques más especializados abre un abanico de posibilidades para transformar lo que habitualmente consideramos “desperdicio” en recursos valiosos, tanto para el presente como para el futuro.

Entre las alternativas mencionadas en este artículo, aquellas más accesibles, cuando se implementan correctamente y se escalan, pueden generar beneficios económicos sustanciales. Entre estas opciones destaca el uso de la mosca soldado negra, una alternativa accesible que no requiere para su manejo de personal altamente especializado y que presenta un potencial de rendimiento

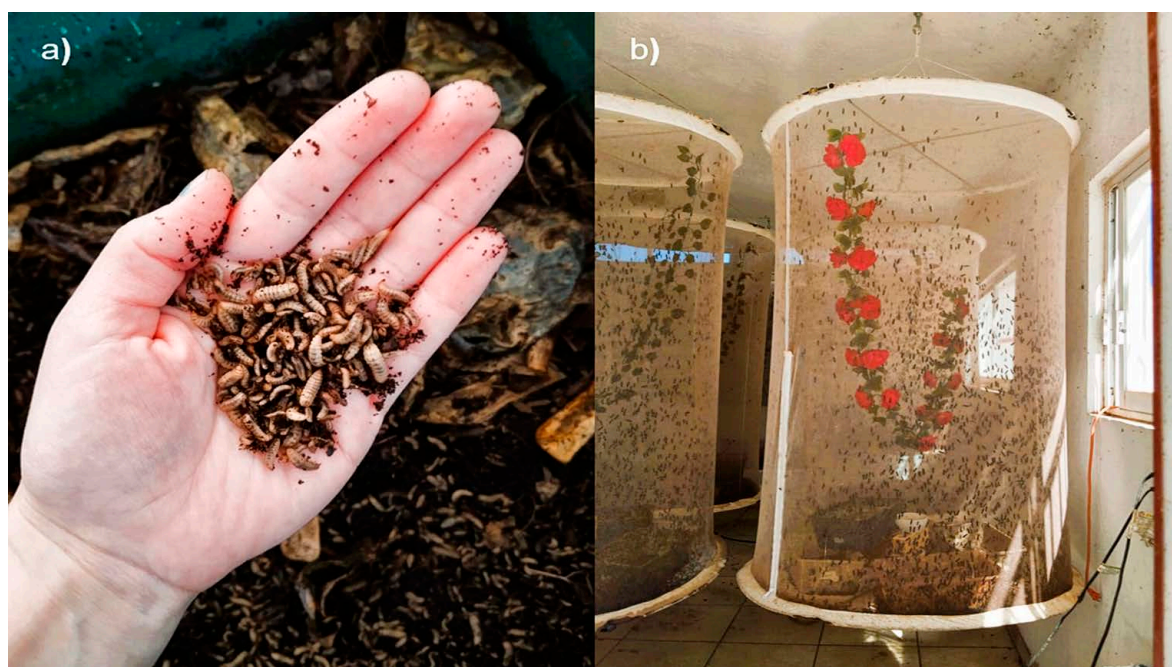


Figura 2. a) Larvas de mosca soldado negro crecidas en residuos de frutería dentro de un huacal de plástico. b) Jaulas para su reproducción, elaboradas con tela tul y varillas de herrería.

Parámetros	Convencional Relleno sanitario	Composta y vermicomposta	Mosca soldado negro	Biodigestores	Tecnologías emergentes
Accesibilidad	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Complejidad del mantenimiento	Mínimo	Mínimo	Medio	Medio	Alto
Equipo necesario	Alto (aplanadoras y grúas)	Mínimo (equipo de jardinería)	Mínimo (cajones, tamices y jaulas de malla)	Mínimo (tanques y tubos de PVC)	Alto (equipo especial de laboratorio)
Calificación del personal	Mínimo	Mínimo	Mínimo /Medio	Medio	Alto
Inversión de infraestructura	Alto	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Alto
Reducción del volumen de RO	Densidad de compac- tación de 500 kg/m ³	85 %	79 %	90 %	Depende del proceso
Contaminación por lixiviados	Sí	No	No	No	Depende del proceso
Emisión de gases	Media	Mínima	Mínima	Mínima (mientras se controle)	Depende del proceso
Impacto económico y social	Bajo	Medio	Alto	Medio	Alto

Tabla 1. Comparativa técnica del manejo de residuos convencional y alternos.

considerable, especialmente dado el crecimiento en su demanda de mercado.

El principio de la revalorización, como su nombre lo dice, consiste en valorar. Encontrar el valor de lo que consumimos nos puede llevar a descubrir nuevas maneras de usarlo.

R E F E R E N C I A S

DBGIR (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>.

Dortmans B, Diener S, Verstappen BM and Zurbrugg C (2017). Black Soldier Fly Biowaste Processing A Step-by-Step Guide. Recuperado de: https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf.

Foro Económico Mundial (2019). It's time for the circular economy to go global and you can help. Recuperado de: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/its-time-for-the-circular-economy-to-go-global-and-you-can-help/>.

LPGIR (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23_LEY_GENERAL_PARA_LA_PREVENCION_Y_GESTION_INTEGRAL_DE_LOS_RESIDUOS.pdf.

PNPGIR (2022). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673815&fecha=09/12/2022#gsc.tab=0.

Rehman KU, Hollah C, Wiesotzki K, Rehman RU, Rehman AU, Zhang J, Zheng L, Nienaber T, Heinz V and Aganovic K (2023). Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. Waste Management. (1):81-97.

SAGARPA (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346978/Manejo_de_residuos_Detallado.pdf.

SEMARNAT (2022). Residuos. Recuperado de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf.

SENER (2017). Reporte de inteligencia tecnológica. Biocombustibles saseosos. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329908/Reporte_Inteligencia_Tecnologica_BIOGAS_Final.pdf.

Yaashikaa P, Kumar S and Varjan S (2022). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. *Bioresource Technology* 343:126126.

Alejandra Torres Lara
Juan Fernando García Trejo
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
fernando.garcia@uaq.mx