



# Residuos: gestión, separación, tecnología y oportunidades

Las doctoras Rosa María Espinosa, Sylvie Turpin, Alethia Vázquez y Maribel Velasco recibieron el Premio Nacional de Proyectos Exitosos de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos 2023 –en su categoría de investigación– de parte del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por su proyecto titulado “Aportes en gestión y tratamiento de residuos”. La distinción fue entregada para reconocer las buenas prácticas, acciones y alternativas ambientales en el país. Cada una de las galardonadas presenta acciones concretas para la separación, manejo y reutilización de diferentes tipos de residuos, desde prácticas en la vida cotidiana hasta mejoras tecnológicas que pueden reducir el impacto en el medio ambiente.

## Residuos orgánicos: retos y oportunidades

### *¿Qué son los residuos orgánicos?*

Son aquellos que, por su origen y composición biológica, son biodegradables o se “echan a perder” fácilmente (**Figura 1**). Generalmente se originan en la preparación de alimentos y sus desperdicios; por ejemplo: cáscaras y bagazo de frutas y verduras, semillas, aceite, papel de cocina, servilletas, otros de alimentos ya preparados, desperdicios de comida como pan, tortilla, carne, sopas y guisos, huesos, espinas, caparazones, productos lácteos, filtros para café, bolsitas de té, palillos, bolsas “compostables”, comida en mal estado. Otra fuente de este tipo de residuos es la jardinería: flores, hojas, pasto, hojarasca, ramas, aserrín y corcho. También están los residuos semiprocesados, como el algodón y la piel de animales, así como la ropa confeccionada con ellos, el papel y el cartón.

### *¿Cuántos se generan?*

Representan el 46.42% del total de los residuos sólidos urbanos en México, lo cual los hace la categoría que constituye la mayor proporción. De acuerdo con datos



Figura 1. Ejemplos de residuos orgánicos. Crédito: Diego de la Vega.

oficiales, se dividen y contribuyen en las siguientes proporciones: residuos alimentarios (33.07%), residuos de jardinería (10.84%), madera (0.79%), fibra vegetal (0.73%), hueso (0.52%) y cuero (0.46%). La acumulación de estos residuos provoca problemas ambientales y de salud, como la generación de gases contaminantes y efecto invernadero, la degradación de los suelos y proliferación de fauna. Pueden llegar a ser un foco de infección.

#### *Retos en la gestión de residuos orgánicos*

Uno de los grandes retos para la gestión sustentable de los residuos orgánicos es su manejo adecuado. Muchos de estos residuos son evitables, ya que los datos de generación indican que la mayor parte corresponden al desperdicio de alimentos.

En estudios realizados en el Área de Tecnologías Sustentables de la UAM Azcapotzalco sobre la composición de residuos de alimentos de diversas fuentes, como domicilios, cafeterías y comerciales, se ha encontrado que una parte importante de ellos se encuentran en buen estado; llama la atención encontrar paquetes de tortillas o bolsas con salsa, por ejemplo, incluso sin abrir o con la mayor parte de su contenido original, o comida caduca sin abrir.

#### *Oportunidades de aprovechamiento*

Dentro de las oportunidades para resolver la problemática de estos residuos se encuentra, en primer lugar, el evitar al máximo que se generen y disminuir el desperdicio; para ello se requiere de mucha información, capacitación, campañas del gobierno y mecanismos que prevengan su generación, que favorezcan su separación y aprovechamiento.

Para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, se debe considerar que contienen nutrientes valiosos que se pueden utilizar como fertilizantes naturales o como base para generar fuentes de energía sostenibles, a través de procesos como el composteo y la digestión anaerobia, entre otros. En la UAM Azcapotzalco, desde hace más de 10 años, se realizan investigaciones para el composteo y lombricomposteo de los residuos de alimentos que se generan en el comedor universitario, junto con los residuos de jardinería. A finales del 2023 se inauguró la planta de composta que permitirá tratar los residuos orgánicos que se generen en la unidad, de modo que no se pierda la oportunidad de recuperar, reciclar y reutilizar estos recursos. Su aprovechamiento, además, evita y reduce los efectos que tienen en el ambiente.

### ■ Separación de residuos para su valorización

■ La primera etapa en la gestión integral de los residuos debe de ser la prevención; es decir, evitar que se generen. Los residuos que no se pueden evitar deben valorizarse. Entre las formas más comunes de valorización están: el compostaje para los residuos orgánicos y el reciclaje para los inorgánicos, como los plásticos, papel, cartón, aluminio y otros metales. Los residuos que no se valorizan generan costos ambientales altos cuando se depositan en sitios de disposición final no controlados o se acumulan en el ambiente. Para que la valorización sea posible los residuos deben separarse.

La separación de residuos puede llevarse a cabo en el lugar donde se generan, práctica que se conoce como separación en el origen, o posterior a la recolección en plantas. El realizarla en el origen presenta ventajas importantes, como fomentar la responsabilidad de manejar los residuos de forma adecuada en los generadores y disminuir la contaminación de los residuos; por ejemplo, el papel y el cartón no se ensucian con los residuos de alimentos.

En México la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos establece, desde 2003, su separación. Sin embargo, en la mayor parte del país la ciudadanía entrega al camión recolector sus residuos mezclados. Por ello, en México la sepa-

ración se da a través del sector informal en casi todas las etapas de manejo de los residuos. Los pepenadores urbanos recorren las calles abriendo las bolsas de basura y extrayendo los residuos que tienen un valor económico, los camiones recolectores llevan bolsas enormes, llamadas barcinas (Figura 2), en las que clasifican los residuos que la ciudadanía entrega mezclados y en los tiraderos hay personas que realizan actividades de separación. Los residuos separados son vendidos a centros de acopio y posteriormente estos residuos se incorporan como materiales en procesos productivos.

En México existen ejemplos exitosos de la separación de residuos. Uno de éstos es el de las botellas de PET, cuya tasa de reciclaje se estima entre 50 y 60%. Aunque la mayor parte del acopio de PET se realiza a través del sector informal, el reciclaje de este material tiene beneficios ambientales, económicos y sociales importantes. Otro caso es el de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM A), que cuenta con un programa de separación de residuos desde 2003. En los espacios abiertos hay dos tipos de botes, uno blanco para los residuos recuperables y otro rojo para el resto de los residuos. De 2005 a 2023 se han enviado a valorización 12.2 toneladas (t) de PET, 17.5 t de envases multicapas, 0.95 t de aluminio, 0.45 t de polietileno



Figura 2. Camión recolector con residuos separados en bolsas exteriores llamadas barcinas. Crédito: Maribel Velasco.

de alta densidad, 17.2 t de vidrio, 0.09 t de unicel, 3.6 t de metales ferrosos, 0.56 t de pilas, 11.81 t de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, 5 528 cartuchos de tóner, 13 665 lámparas fluorescentes y 1 660 L de aceite de cocina. Además, la Unidad participa actualmente en un programa piloto con Ecoce para la separación de botellas de PET y empaques flexibles metalizados y no metalizados. Los residuos de jardinería y algunos de los residuos orgánicos se llevan a la planta de composta de la Unidad, inaugurada en 2002.

En la UAM A, en el Área de Tecnologías Sustentables, se realizan investigaciones que generan información sobre la generación y composición de residuos en diferentes entornos, la cual contribuye al diseño de estrategias que fomentan la separación de residuos en la fuente.

Como ciudadanía, debemos asumir nuestra responsabilidad en la gestión de los residuos que generamos. Además de disminuir la generación de residuos, debemos informarnos si en nuestro municipio existe un programa de separación; si es así hay que separar y entregar los residuos como lo solicitan las autoridades. Si vivimos en un lugar sin programa de separación, podemos preguntarle a los recolectores qué residuos separan y entregárselos separados; esto facilitará su valorización. La separación y posterior valorización de los residuos disminuye los costos ambientales de nuestro estilo de vida.

### **Gestión integral de residuos sólidos urbanos y análisis de ciclo de vida**

Datos del 2020 indican que la generación diaria por persona de residuos sólidos urbanos en México es de 0.944 kg, para un total diario en todo el país de 120 128 toneladas.

El manejo de estos residuos es, en general, muy básico: son simplemente recolectados y dispuestos en rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto, sin ningún proceso de valorización previo. Esta forma de manejo tiene muchos impactos negativos: al ser enterrados los residuos, se pierden recursos no renovables como metales, vidrio y plásticos; se contaminan los mantos freáticos; se emiten gases provenientes de

la descomposición de la materia orgánica que propician el calentamiento global y, finalmente, se deja un enorme pasivo para las generaciones futuras.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) promueve otras formas de tratar los residuos: el aprovechamiento material y el energético (**Figura 3**). En el primero, se recupera el material que compone el residuo; las tecnologías utilizadas pueden ser el composteo para la materia orgánica, y la reutilización y el reciclaje para residuos como el papel, cartón, metal, vidrio y plásticos. En el segundo, interesa la energía que los residuos pueden producir. Con la materia orgánica, por digestión anaerobia, se obtiene biogás; en el caso del papel, cartón y plásticos, se produce, por incineración, calor y electricidad, y mediante la aplicación de procesos de separación y secado se elaboran Combustibles Derivados de Residuos (CDR), por mencionar algunas opciones.

Aun cuando estas opciones de aprovechamiento permiten reducir los riesgos a la salud y a los ecosistemas, también generan impactos ambientales.

En la UAM Azcapotzalco, en el Área de Tecnologías Sustentables, se realizan investigaciones sobre las diferentes opciones de gestión de los residuos orgánicos y aprovechables, sus ventajas, desventajas y los parámetros de operación, entre otros. Sin embargo, no se estudiaban los impactos que pueden generar estas opciones. El Área ha trabajado para cubrir este aspecto, con la utilización de la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV determina los impactos ambientales potenciales de un producto o un servicio, durante todo su ciclo de vida, a partir de la cuantificación de la energía y los materiales usados, así como de los residuos generados en cada etapa del ciclo de vida. Igualmente, con el ACV, se pueden comparar los impactos de varios productos o servicios.

En el caso de la gestión de los residuos, el ACV permite comparar las opciones de aprovechamiento de los residuos. Las investigaciones muestran que, en términos generales, el tiradero y el relleno son las peores opciones, y resulta más propicio el relleno con recuperación de energía; la incineración debe ser también con recuperación de energía; la gasificación

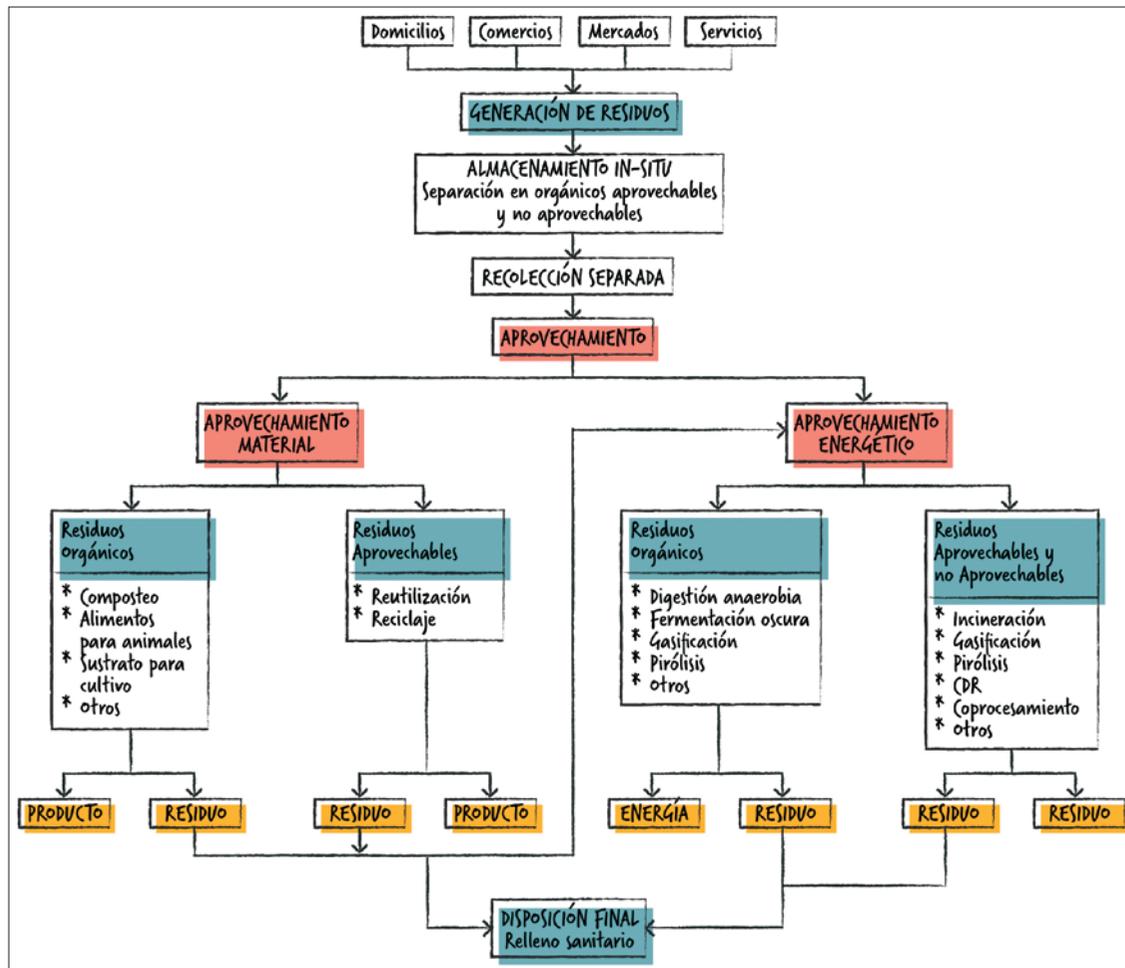


Figura 3. Origen, aprovechamiento, clasificación y disposición final de los residuos en México. Crédito: Sylvie Turpin y Diego de la Vega.

y los CDR deben ser impulsados porque evitan gases contaminantes; las técnicas de reciclaje de materiales son favorables y las técnicas de aprovechamiento de la materia orgánica son siempre una mejor alternativa que depositarla en rellenos sanitarios. Habrá que añadir, para cada caso, las características locales y regionales de transporte, la disponibilidad de agua y energía, así como las oportunidades de mercado.

La gestión integral de los residuos implica también la evaluación de los impactos que pueden provocar las opciones de aprovechamiento.

### Innovación en el manejo sustentable de residuos plásticos

El aumento en la generación de residuos plásticos y su llegada al ambiente han generado preocupación

a nivel global. Ante esto, la comunidad científica ha trabajado intensamente en encontrar soluciones para generar menos residuos, aprovecharlos mejor y disminuir sus impactos ambientales.

#### Bioplásticos

Los bioplásticos incluyen dos tipos de plásticos: los biobasados, que se obtienen de recursos renovables, y los biodegradables, que pueden ser reintegrados a los ciclos naturales por la acción de microorganismos. Contrario a lo que se piensa, el que un plástico se obtenga de plantas no lo vuelve automáticamente biodegradable, pues eso depende de su estructura química. Los plásticos biobasados permiten disminuir la dependencia de los combustibles fósiles que se usan tradicionalmente para fabricar plásticos; sin embargo, generan impactos ambientales que incluyen

el uso de tierra de cultivo, agua y agroquímicos. Los biodegradables, por otro lado, pueden ayudar a incorporar los residuos plásticos a los procesos naturales, aunque para que esto ocurra debe dárseles un manejo muy específico, que incluye su tratamiento en plantas de composteo.

Es importante, sin embargo, que estos nuevos materiales sean evaluados para tener certeza sobre el comportamiento que tendrán en los sistemas de gestión de residuos, y en ese sentido en la UAM Azcapotzalco se han implementado metodologías que permiten analizar su degradación en procesos de composteo, relleno sanitario, tiraderos a cielo abierto y en el medio marino.

*Uso de inteligencia artificial*

El reciclaje de plásticos generalmente se hace mediante procesos mecánicos, en los que se calientan, se funden y se usan para fabricar nuevos productos; esto requiere de volúmenes altos de plásticos separados por tipo. La separación de plásticos mezclados generalmente involucra procesos manuales, mecánicos y ópticos. Actualmente, se están desarrollando aplicaciones de inteligencia artificial capaces de aprender a diferenciar distintos residuos plásticos a partir de identificación visual, consistentemente y

a bajo costo (Figura 4). Este tipo de herramientas puede ser muy relevante, especialmente en procesos en los que se manejan residuos potencialmente tóxicos.

*Reciclaje químico*

El reciclaje químico permite procesar plásticos mezclados, e incluso contaminados con alimentos. En el proceso, los residuos se calientan en un equipo en condiciones específicas de oxigenación, con la adición de solventes y otros compuestos. Esto provoca que las grandes moléculas que forman los plásticos se rompan en fragmentos pequeños en la forma de gases combustibles y compuestos químicos que pueden usarse para producir plásticos u otros productos. Estas tecnologías aún se encuentran en desarrollo, por lo que pueden requerir altas inversiones y consumo elevado de energía, además de que podrían generar emisiones de gases de efecto invernadero.

Es importante señalar, que si bien las nuevas herramientas y tecnologías permiten optimizar procesos, el componente más importante de los sistemas de gestión de residuos es la participación de los distintos actores. En este sentido, la Universidad Autónoma Metropolitana, además de desarrollar

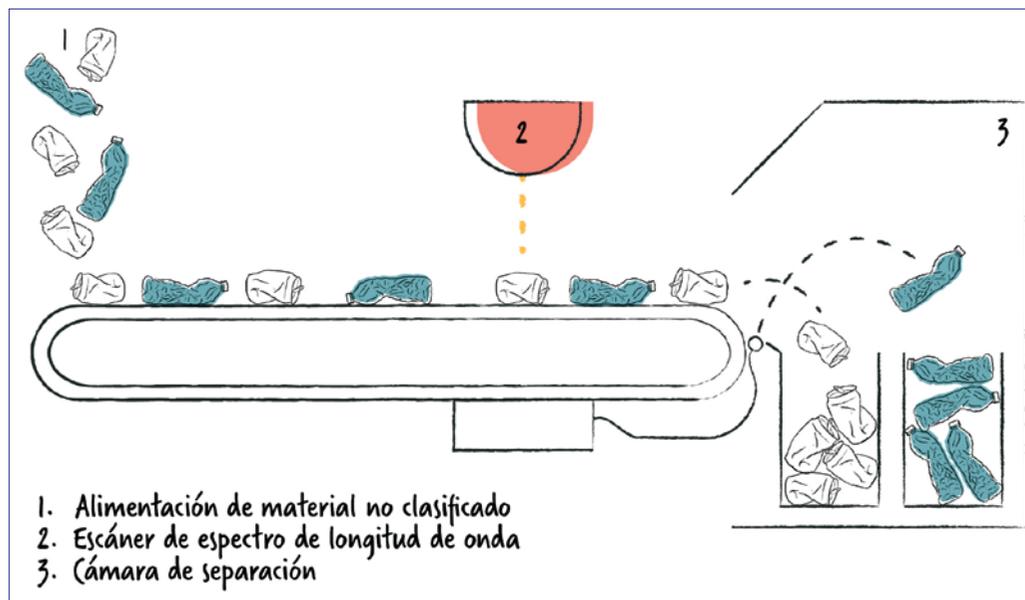


Figura 4. Ejemplo de la separación de residuos con la asistencia de inteligencia artificial y apoyos electromecánicos. Crédito: Diego de la Vega.

investigación científica y tecnológica en torno al tema, promueve de manera activa, a través de la docencia, la vinculación y la operación de sus instalaciones, temas relevantes como la concientización sobre el consumo responsable, la necesidad de la separación en la fuente y las distintas alternativas de prevención y manejo de los residuos. Con ello, además de apoyar de manera concreta a gobiernos locales, asociaciones y empresas, se ha contribuido a mitigar la contaminación generada por los residuos en nuestro país, en casos específicos como el de la presencia de microplásticos en el ambiente. El trabajo desarrollado por el Área de Tecnologías Sustentables ha permitido definir una línea base para este tipo de contaminación, además de generar metodologías de muestreo y análisis que han sido retomadas por distintas instituciones para ampliar el conocimiento en torno al tema.

#### **Rosa María Espinosa Valdemar**

UAM Azcapotzalco.  
rmev@azc.uam.mx

#### **Maribel Velasco Pérez**

UAM Azcapotzalco.  
mvp@azc.uam.mx

#### **Sylvie Jeanne Turpin Marion**

UAM Azcapotzalco.  
stm@azc.uam.mx

#### **Alethia Vázquez Morillas**

UAM Azcapotzalco.  
alethia@azc.uam.mx

#### **Mario A. De Leo Winkler**

UAM Rectoría General.  
madeleowinkler@correo.uam.mx

La sección “Residuos orgánicos: retos y oportunidades” fue escrita por la doctora Rosa María Espinosa Valdemar; el escrito titulado “Separación de residuos para su valorización” contó con la redacción de la doctora Maribel Velasco Pérez; la sección “Gestión integral de residuos sólidos urbanos y análisis de ciclo de vida” es una aportación de la doctora Sylvie Jeanne Turpin Marion, e “Innovación en el manejo sustentable de residuos plásticos” es un texto de la doctora Alethia Vázquez Morillas, todas ellas adscritas a la Universidad Autónoma Metropolitana.



#### **Lecturas recomendadas**

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* [en línea], 8 de mayo de 2023. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>, consultado el 1 de junio de 2024.

Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX [en línea], Información sobre la gestión de los residuos en la CDMX. Disponible en: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/residuos-solidos>, consultado el 1 de junio de 2024.

Ihobe (2009), “Análisis de Ciclo de Vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto” [en línea], Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco. Disponible en: <https://www.ihobe.eus/publicaciones/analisis-ciclo-vida-y-huella-carbono-dos-maneras-medir-impacto-ambiental-un-producto-2>, consultado el 1 de junio de 2024.