

Nueva resolución 317.20 sobre gestión integral e inclusiva de residuos sólidos urbanos para generadores especiales en la Provincia de Buenos Aires Por Matías Tarando	2
Modalidades y escalas de compostaje urbano en la Provincia de Buenos Aires Por Pamela Carolina Natan	9
Reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos en el Penal de Olmos Por Federico Wahlberg	20
Laprida, una experiencia pionera en gestión de residuos en la Provincia de Buenos Aires Por Pamela Carolina Natan	24
Panorama actual del manejo de residuos en la ciudad de México Por Estefanía Arriaga Ramos, Zentli Rodríguez González y Aline Villareal Medina	28
Un problema ambiental serio: el reciclado de pilas y baterías Por Franco Dubois, Lorena Falco, Cynthia A. Fuentes, María V. Gallegos, Miguel A. Peluso y Jorge E. Sambeth	37
Diseño y desarrollo de sistemas de limpieza de cuerpos de agua por remoción de residuos sólidos flotantes y su potencial valorización Por Matías Tarando y Romina S. Solana	52
¿La economía circular es una utopía para nuestra sociedad? Por Elizabeth Peralta	59

Nueva Resolución 317/20 sobre Generadores Especiales en provincia de Buenos Aires



Matías Tarando

Dirección Provincial de Residuos
OPDS | Argentina
tarandom@opds.gba.gov.ar

La Gestión Integral e Inclusiva de los Residuos Sólidos Urbanos (GIIRSU) es una nueva concepción asociada a una gestión holística de los residuos con una fuerte incidencia en la justicia social y ambiental en todo el territorio bonaerense, como marco estratégico de la política pública actual.

Pensar una Economía Circular sin la integración de todos los actores de la cadena de valor, incluido los recuperadores urbanos, postergados en términos socio económicos y productivos, resulta en una falaz circularidad. Es necesario, por tanto, aplicar nuevos mecanismos que promuevan la GIIRSU, de manera de fortalecer los diferentes eslabones de la gestión (Sensibilización-Generación-Recolección-Tratamiento-Disposición) y permitir el desarrollo productivo local de toda la cadena de valor del reciclado con inclusión.

Para ello, y como parte de un plan de acción integral de la Dirección Provincial de Residuos (DPR) del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), se ha desarrollado a lo largo del 2020 un extenso relevamiento de la matriz productiva del reciclado en los 135 municipios de la provincia de Buenos Aires, así como de los Grandes Generadores registrados en el Organismo y de las ordenanzas municipales asociadas a estos últimos. A partir de ello, se ha logrado como primer paso en la implementación de esta política pública, el desarrollo de una nueva resolución para Generadores Especiales, la

Resolución 317/20, que deroga la antigua Resolución 138/13 y genera un nuevo marco normativo, sentando así las bases de una nueva forma de pensar la política pública de la gestión de los residuos.

Matriz productiva del reciclado

El relevamiento llevado a cabo en 2020 por la DPR-OPDS permitió determinar, dimensionar y caracterizar el tejido productivo de plantas de separación de RSU activas en la provincia. Se identificó que, de los 135 municipios, 69 de ellas presentan una gestión pública; 28 son cogestionadas entre municipios y cooperativas de recuperadores urbanos; 16 son gestionadas únicamente por cooperativas de recuperadores urbanos; 6 presentan gestión privada y 16 municipios no poseen plantas instaladas. A su vez, se pudo determinar tanto el espectro de los Destinos Sustentables inscriptos en el organismo (y validados para emitir certificados como tratadores de residuos reciclables), como aquellos aún no registrados. Existen 119 cooperativas de recuperadores urbanos en la provincia, que incorporan 6.000 recuperadores formalizados en el sistema, 80 % de las cuales se encuentran en el AMBA, lo que se asocia principalmente a la trama urbana que permite una cercanía a materiales reciclables en cantidad y calidad, a diferencia del interior de la provincia donde prevalecen las Plantas Municipales. Por su parte, aún existe una deuda pendiente con los 400 recuperadores urbanos que trabajan en los basurales, así como con el espectro de informales que desarrollan su actividad en condiciones precarias. Actualmente el OPDS cuenta en su registro de Destinos Sustentables que habilita a gestionar y valorizar los residuos sólidos urbanos en la Provincia, con 60 Cooperativas de las 119, 3 Plantas Municipales de 69 y 23 Plantas Privadas de 46. El tejido productivo, por tanto, se caracteriza por su capilaridad territorial gracias a la presencia de 234 plantas de RSU con una distribución geográfica equitativa, tanto a lo largo y ancho de la provincia, aunque con diferencias respecto de su infraestructura, equipamiento de valorización (cintas, enfardadoras, molinos, agrumadoras, entre otros), capacidad de logística, condiciones laborales de Higiene y Seguridad, etcétera.



Gráfico 1. Plantas de RSU de la Provincia de Buenos Aires. Fuente: OPDS.

Registro de Grandes Generadores

Otro de los relevamientos previos al desarrollo de la nueva normativa refirió a comprender y determinar aquellos municipios con ordenanzas municipales respecto a los Grandes Generadores (GG), así como el espectro de grandes generadores formalizados a la fecha. De dicho relevamiento se pudo constatar que 36 municipios bonaerenses cuentan con normativas sobre el tema, aproximadamente 10 de ellos (durante los años 2014-2020 posterior a las resoluciones 137, 138 y 139 del 2013) han dictado una ordenanza específica de GG, mientras que el resto de los municipios legisla la temática en sus ordenanzas de RSU. El análisis de las ordenanzas de los municipios de Almirante Brown (Ordenanza 10742/16), Avellaneda (Ordenanza 27235/16), General Pueyrredón (Ordenanza 20002/10), Hurlingham (Ordenanza 16965/18), Lomas de Zamora (Ordenanza 16161/17), Moreno (Ordenanza 6268/20), Quilmes (Ordenanza 12554/16) y Zárate (Ordenanzas 4686/18 y 4769), permitió determinar los aspectos principales destacados en dichas ordenanzas, tales como la caracterización de los GG, los planes de gestión, las responsabilidades de los generadores de residuos, las multas, la fiscalización y control de los municipios y el papel de las cooperativas de recuperadores.

Por otra parte, el área de Grandes Generadores del Organismo cuenta en sus registros con más del 90 % de los expedientes en formato papel (sobre los 567 existentes a la fecha). Estos expedientes corresponden principalmente a planes de gestión de residuos presentados por countries según Resolución 137/13 (319) —luego RINE Res. 139/13 (125)—, los alcanzados por la Res. 138/13 (83) y, finalmente,

los planes de gestión de balnearios Res. 85/14 (40). De la totalidad de los Planes GIRSU de GG sólo 51 se encuentran aprobados a la fecha: 43 son de Res 137/13, 4 de 138/13 y 4 de 139/13. Para el caso de la Res 85/14, 11 fueron desaprobados y 39 vencidos. Por último, y respecto a la distribución territorial, se puede destacar una fuerte presencia de Planes GIRSU de GG referidos a countries pertenecientes a los municipios de Pilar (115), Tigre (46), Escobar (37), Esteban Echeverría y La Plata (18) y Moreno (17). Para el caso de la Res. 138/13 y 139/13 se observa una marcada concentración del municipio de Pilar con 19 y 28 planes presentados, respectivamente.

Se observa, finalmente, un bajo nivel y una alta heterogeneidad en la presentación de los Planes de gestión de los GG a la fecha; además, una falta de sistematización en la presentación y evaluación de los mismos, escasos recursos humanos y falta de vinculación entre los actores intervinientes en la gestión de los residuos (municipios, recuperadores urbanos, grandes generadores, privados, universidades, etcétera).

Nueva Resolución 317/20 Generadores Especiales

La nueva resolución fue consecuencia, por tanto, del trabajo de la Dirección Provincial de Residuos, asociada a una serie de etapas de investigación y consultas donde se analizaron las normativas preexistentes, los contextos sociales y económicos, el mapa de actores, y se evaluaron las prioridades de política pública y la factibilidad de aplicación. Luego de la redacción se llevaron a cabo consultas sobre los lineamientos de la nueva resolución a cooperativas de recuperadores, a expertos académicos de diversas universidades nacionales, a funcionarios municipales y a entidades como la Asociación de Supermercados Unidos (ASU), la Cámara Empresaria de Medio Ambiente (CEMA), la Asociación Civil Compromiso Empresarial para el Reciclaje (CEMPRE) y el Instituto Argentino del Envase.

La Resolución 317/20, que reemplaza a la Res. 138/13, tiene por objetivos centrales disminuir la disposición final de RSU, promover la recuperación y el reciclado de materiales, y generar trabajo e insumos para la industria, convirtiendo a la provincia en motor

productivo del reciclado y fomentando la economía circular con un nuevo paradigma de inclusión social. De este modo, la justicia social y ambiental se cristaliza en la nueva resolución a partir de establecer la actividad desarrollada por las cooperativas y/o asociaciones civiles de recuperadores de residuos urbanos como prestadora de un servicio esencial para la comunidad, la preservación del ambiente y la salud pública. A través de esta actividad se incluye socialmente a trabajadores y se generan fuentes de empleo sustentable por medio de la economía circular, al aprovechar los RSU como recurso generador de valor económico. A su vez, se extiende el abordaje normativo, ya no sólo al AMBA, sino a toda la provincia, promoviendo la equidad territorial y ambiental en todos los municipios.

Asimismo, se amplían las categorías de sujetos obligados, considerados como Generadores Especiales, y se incorporan universidades públicas y privadas, las dependencias de la administración pública, los supermercados, los centros de distribución, los servicios de alojamiento. También se comprende como GG a comercios, a empresas de servicios y a toda actividad privada comercial e inherente a las actividades autorizadas que genere más de 1000 kg al mes —así como también a los GG que dispone la res.138/13—. Se determinan los aspectos mínimos a presentar en los Planes de Gestión de Residuos según: la separación en origen de al menos dos fracciones, reciclables y no reciclables; la recolección diferenciada, tratamiento y disposición final; el envío de la fracción seca reciclable a un Destino Sustentable habilitado por el OPDS; el registro de operaciones y la presentación de acciones de sensibilización y capacitación en gestión sostenible de los residuos. En este sentido, se establecen categorías de certificación (A, B y C), incorporando nuevos aspectos no sólo ambientales sino también sociales y educativos. De tal forma, se promueve para la categoría más alta (A) la optimización de la separación en origen, el envío de la totalidad de la fracción seca reciclable a cooperativas de recuperadores o Plantas Municipales registradas como destinos sustentables, la realización de acciones de sensibilización ambiental, la reducción en la generación de residuos y las acciones de tratamiento de Aceite Vegetal Usado (AVU), de desperdicio de alimentos y/o de la fracción orgánica de los residuos.

Por otra parte, se dinamiza la presentación de los Planes de Gestión al sistematizar su carga vía formulario online, lo que reduce tiempos de presentación y evaluación, y permite, a su vez, la generación de datos sobre la trazabilidad de los residuos, que permitirán establecer metas de cumplimiento y/o implementación, dimensionamiento de flujos de materiales reciclables y caracterización de nuevos generadores especiales.

Su implementación comenzó el 1 de marzo de 2021. Los planes de gestión aprobados tendrán una vigencia de dos años y deberán ser presentados y rubricados por un profesional inscripto en el Registro Único de Profesionales Ambientales y Administradores de Relaciones (RUPAYAR). Asimismo, se establece la posibilidad de celebrar convenios con los municipios, organismos públicos y universidades públicas para fortalecer la implementación de esta resolución, tanto en la fiscalización como en acciones que promuevan su cumplimiento.

Plan de acción

Se establece como estrategia de abordaje la realización de una comunicación pública de los aspectos más importantes de la resolución junto a la articulación multisectorial para su implementación, y una estrategia progresiva y permanente de fiscalización. Para ello, se están llevando a cabo Mesas Ambientales con los municipios y el mapa de actores (cooperativas, Generadores Especiales, técnicos del RUPAYAR, universidades), con el objetivo de realizar una capacitación sobre la Res. 317/20 y de desarrollar líneas de acción, seguimiento y articulación en común. En ese sentido, se acompañará el abordaje con instructivos para los distintos actores y una nueva resolución de Destinos Sustentables, que facilite los procesos y requisitos de inscripción para lograr la formalización de la matriz productiva local.

Finalmente, se destaca que la Res. 317/20 fue declarada en marzo de 2021 de interés federal por parte del Consejo Federal de Medio Ambiente revalorizando a nivel nacional el desarrollo de la política pública bonaerense, sentando nuevas bases en materia de política pública. Trae un horizonte de trabajo con desafíos referidos a la implementación



progresiva de la gestión integral de los residuos y a la inclusión social, el tratamiento y dimensionamiento de las diferentes corrientes de residuos, el fortalecimiento de toda la cadena de valor del reciclado, la educación ambiental y la separación en origen como nuevo concepto de higiene urbana. Todo esto permitirá la planificación a mediano y largo plazo en pos de lograr la reactivación económica y productiva de una Provincia en Marcha, que sea el motor productivo de reciclado, con generación de empleo, cuidado ambiental y desarrollo sostenible. ●

Modalidades y escalas de compostaje urbano en la provincia de Buenos Aires



Pamela Carolina Natan

Dirección Provincial de Residuos
OPDS | Argentina
natanp@opds.gba.gov.ar

Resumen

El compostaje permite transformar los residuos orgánicos en un abono para los suelos y cierra el círculo virtuoso de la materia orgánica. Este artículo tipifica las diversas modalidades que se encuentran activas en la provincia de Buenos Aires: compostaje domiciliario, compostaje compartido, compostaje centralizado de residuos verdes y compostaje centralizado de residuos orgánicos domiciliarios. Lograr una gestión adecuada de los residuos orgánicos es un desafío mayor y por ello desde el OPDS se vienen brindando capacitaciones, generando contenidos, asesorando y dando seguimiento a las iniciativas para potenciarlas.

Introducción

El compostaje es un sistema de tratamiento que permite transformar los residuos orgánicos domiciliarios, municipales, agrícolas e industriales en un abono para los suelos, lo que cierra el círculo virtuoso de la materia orgánica. Se trata de un proceso vivo, ya que se basa en estimular la presencia de microorganismos que utilizarán tales desechos como recursos vitales para su crecimiento y desarrollo. Este artículo pretende tipificar las diversas modalidades de compostaje urbano que se encuentran activas en la provincia de Buenos Aires, para visibilizar las acciones que se están impulsando no solo desde los gobiernos locales, sino también por parte de la sociedad civil. La información

fue obtenida a partir de un relevamiento efectuado en los 135 municipios bonaerenses¹ por la Dirección Provincial de Residuos del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) durante agosto del 2020, de la recorrida del territorio y de los intercambios con referentes ambientales y organizaciones que se han comunicado para dar a conocer sus iniciativas exitosas y los desafíos encontrados, y para solicitar asesoramiento para potenciarlas.

Compostaje domiciliario

El compostaje domiciliario consiste en el tratamiento de los residuos orgánicos vegetales en el mismo hogar en que se generan, a partir de la adopción de una compostera y de las buenas prácticas que aseguran el éxito del proceso. A través de dicho tratamiento pueden transformarse con total seguridad los restos de yerba, café, cáscaras, carozos y todo otro descarte de la preparación de las comidas (a excepción de los desechos de origen animal) y los restos de jardinería (pasto, hojas, ramas), para obtener como resultado un abono que puede ser utilizado en macetas, huertas y canteros.

Esta modalidad de compostaje se caracteriza por el papel activo y responsable que asume el hogar generador del residuo. Trae aparejados beneficios múltiples y colectivos vinculados a la reducción de costos económicos y ambientales en la recolección municipal, traslado y disposición final, y en la mejora de la separación en origen de las corrientes de reciclables (papeles, cartones, vidrio, plástico y metales), lo que propicia que estos residuos lleguen en condiciones adecuadas para su manipulación por los recuperadores urbanos y su posterior valorización. La promoción del compostaje domiciliario necesita de una sólida campaña de sensibilización e información respecto de cómo arrancar y darle seguimiento a la práctica. Para ello, son numerosos los municipios que generan y hacen difusión de contenidos vía redes sociales y páginas oficiales, dictan talleres presenciales o virtuales a cargo de técnicos propios, de organismos públicos (INTI, INTA, OPDS), fundaciones, ONG o profesionales independientes.

1. Si bien la encuesta fue enviada a los 135 municipios, se obtuvieron respuestas de 116 municipios, que representan un 86 % del total.



Taller de compostaje y huerta dictado por el municipio de Ituzaingó.

Otras acciones relevadas consisten en facilitar el acceso al equipamiento necesario para compostar. Por citar algunos ejemplos, el programa “Avellaneda Recicla” implementó un sistema *online* para la solicitud de composteras domiciliarias desde su página web; las mismas son entregadas con una bolsa de chips (podas trozadas) que sirven como material estructurante y aporte de carbono. “Escobar Sostenible” las entrega a vecinos y vecinas que adhieran el pago de impuestos al débito automático. Olavarría ha propuesto talleres para la autoconstrucción de las composteras y Laprida está incorporando tales dispositivos en viviendas que entrega en el marco de planes sociales de hábitat.



Entrega de la compostera número 1000 por el programa “Avellaneda Recicla”. Se ofrece también una bolsa de chips de poda para su uso como estructurante.

“Ituzaingó SE PA RA” efectúa sorteos de composteras construidas por un taller protegido utilizando madera de *pallets*, mientras que Chascomús expone en las ferias locales un modelo que diseñó un vecino a partir de materiales de descarte y de bajo costo para que los interesados puedan replicarlo. Adolfo Alsina y Ayacucho entregan núcleos de lombrices rojas californianas para los hogares que desean incorporarlas como aliadas del proceso: si bien estos animalitos no son indispensables, despiertan la curiosidad de quien se inicia y contribuyen a diversificar las estrategias de apropiación de la práctica. Otra propuesta original es la de Trenque Lauquen que lanzó un desafío artístico llamado “Concurso Ideas Ambientales” para que la comunidad participe elaborando videos vinculados a las temáticas ambientales, entre ellas, la gestión de residuos.



Stand informativo y exposición de compostera de tambor en Chascomús.

A través del instrumento normativo, municipios como Zárate, Guaminí y Pergamino han incorporado la promoción del compostaje domiciliario en sus ordenanzas, mientras que Escobar, Adolfo Alsina y Guaminí han declarado de interés el “Mes del Compostaje” que inició como una propuesta ciudadana y tomó tal impulso durante el Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio (ASPO) que logró incluso la adhesión del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Nación. Este año se espera que el evento, que tiene lugar entre el 22 de marzo —Día del Agua— y el 22 de abril —Día de la Tierra—, supere aún más la convocatoria del 2020.

Darle seguimiento a las composteras entregadas, establecer un canal de consultas para los vecinos y vecinas y efectuar campañas puerta a puerta son algunos de los

elementos que podrían potenciar aún más las iniciativas para asegurar el éxito de la práctica domiciliaria. En este sentido, formar y disponer de equipos de Promotores de Compostaje puede darle mayor vuelo a la consolidación de la temática en la agenda municipal, además de ser una oportunidad de desarrollar nuevas competencias en el territorio, en vinculación con instituciones educativas de todos los niveles.

Compostaje compartido

El compostaje compartido, comunitario o colectivo es una modalidad de tratamiento local donde los generadores se hacen cargo parcial o totalmente de su gestión en un sitio de compostaje común al cual aportan de manera voluntaria sus residuos orgánicos. Se trata de una alternativa para quienes no pueden realizar el compostaje domiciliario por falta de espacio y se constituye además en un lugar de encuentro vecinal y fortalecimiento de los lazos comunitarios, muchas veces precedido o acompañado de una huerta donde se emplea el compost producido.

Los sitios de compostaje compartido pueden ubicarse en una institución u organización, sea esta una escuela, dependencia administrativa, club, centro vecinal, sociedad de fomento u otro espacio comunitario. Es el caso de “La Sartén por el Mango”, un comedor de alimentación saludable que funciona en Lanús donde se tratan no sólo los residuos orgánicos provenientes de la cocina, sino también aquellos del mantenimiento del predio. Para asegurar el funcionamiento adecuado, es importante designar al menos una persona a cargo de su mantenimiento, que suele ser personal de cocina o de limpieza. Si se realiza en una institución educativa puede incluso pensarse que dicha responsabilidad recaiga en un curso en particular que trabaje la temática a lo largo del ciclo lectivo. De hecho, en Vicente López poseen una propuesta integral de educación ambiental para establecimientos educativos llamada “Escuelas Sustentables”, que incluye una primera unidad dedicada a la huerta y al compostaje. Otro ejemplo es el de Tapalqué, que ha instalado una compostera comunitaria en Las Casas Bioclimáticas, sitio de sensibilización ambiental donde también funcionan las oficinas de las áreas municipales de ambiente y producción.



Compostera institucional y cartelera de La Casa Bioclimática de Tapalqué.



Otra variante del compostaje compartido es cuando el sitio se ubica en la vía pública, usualmente en plazas, plazoletas, parques o terrenos junto a las vías de tren. Este es el caso del compostaje barrial que se viene desarrollando en diversos puntos de San Isidro y que surgió por vecinos autoconvocados y organizados a través de redes sociales. En estos casos es interesante que el municipio acompañe la práctica disponiendo de ordenanzas para promoverla o fortaleciendo el dispositivo a partir de facilitar material estructurante (chips de poda), riego, cartelera y talleres de capacitación. Otra estrategia consiste en asociar el sitio de compostaje compartido a un Punto Verde, de modo tal que se puedan utilizar las mismas instalaciones para el guardado de las herramientas necesarias y se constituya en un nodo de sensibilización ambiental.

Composteras comunitarias instaladas por grupos autoconvocados de vecinos y vecinas de San Isidro.



Una última variante, vinculada al compostaje compartido, es aquella que podría potencialmente desarrollarse a nivel residencial; en este caso, las composteras se instalan en un patio, jardín o terraza común a todos los copropietarios/inquilinos de un edificio. Allí podrían tratarse los residuos orgánicos vegetales de cada departamento por el aporte voluntario de los habitantes del inmueble. Si bien no se han relevado aún este tipo de experiencias en la provincia, es una práctica común en otros países; podría propiciarse a partir de la capacitación de la administración de consorcios para que estos a su vez transfieran la iniciativa e incorporen en la tarea de la portería lo referido a la custodia del buen funcionamiento del dispositivo.

Compostaje centralizado de residuos verdes municipales

Los residuos verdes municipales incluyen los restos del mantenimiento de espacios verdes y arbolado urbano: podas, recortes de pasto, desmalezado, hojas verdes y hojarasca. Según su proveniencia (plazoletas, plazas, parques, bulevares, bordes de caminos) y los hábitos de la comunidad (si arrojan o no residuos a la vía pública), suelen presentar mayor o menor presencia de impropios como plásticos, papeles, cartones, metales, etcétera. Es una corriente de residuos con gran potencial para su compostaje, ya que se genera por los servicios de higiene y espacios públicos municipales, y tiene un bajo grado de degradabilidad, por lo cual su gestión no suele traer complicaciones. Además, constituye una buena oportunidad para desarrollar competencias locales en el tratamiento de esta fracción y generar un compost de calidad para su uso en viveros forestales, en huertas y en los mismos espacios verdes donde se generaron.

En este sentido, se destaca la experiencia de Vicente López que desde el 2018 lleva adelante su programa "VL Composta" a través del cual el municipio ha capacitado y ha incorporado a las tareas de su personal de mantenimiento de espacios verdes el traslado y el tratamiento de los residuos que se generan en ocho plazas y parques. Cada sitio de compostaje está conformado por 3 módulos de 1 m³ construidos con "madera" plástica. Dos veces al año cosechan entre 4 y 5 toneladas de compost que es entregado a los vecinos y vecinas como parte de las acciones de sensibilización.

Compostaje de residuos verdes en plazas y parques de Vicente López.



En La Plata, la cooperativa “La Unión Hace la Fuerza” también se ha iniciado en el compostaje de los restos de pasto y hojarasca que recogen del mantenimiento de la avenida de circunvalación y del Paseo del Bosque, con el fin de producir un compost para su huerta agroecológica.

El municipio de Lomas de Zamora, en su afán por mejorar la gestión ambiental del Parque Municipal, de una extensión aproximada de cuarenta hectáreas, ha iniciado un programa de acondicionamiento de diversos sectores como centros demostrativos de producción de alimentos, paisajismo sustentable, reforestación con nativas y compostaje incipiente de residuos verdes provenientes del mantenimiento del predio.

En esta misma línea, Villarino está tramitando actualmente la certificación según Resolución Conjunta SENASA - SCyMA 1/2019 del compost que producen en su Vivero Argerich. Si bien hoy ya lo utilizan internamente en el predio, dicha certificación los habilitará a la comercialización del mismo. Utilizan como materia prima chips provenientes de la poda urbana, recortes de pasto del mantenimiento de predios municipales y tierra de corral. Como equipamiento para la tarea, cuentan con una chipeadora, una pala cargadora, una volteadora, un tamiz rotativo y una embolsadora. En cuanto a recursos humanos, son un total de ocho personas que trabajan en todas las tareas vinculadas al vivero y al compostaje.

Otros municipios como San Miguel, Berazategui y Pilar también están iniciando su tránsito en el compostaje a gran escala de esta fracción.



Compostaje en planta de transferencia de podas de Pilar.

Compostaje centralizado de residuos orgánicos domiciliarios

Esta modalidad consiste en centralizar en una planta de compostaje el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos domiciliarios que deben ser adecuadamente separados en origen y recolectados de manera diferenciada (es decir, que en ningún momento deben entrar en contacto con otros desechos como pañales, pilas, baterías, solventes, plásticos, vidrio, metales, etcétera). Esta escala de procesamiento admite residuos tanto de origen vegetal como animal mientras se efectúe en conformidad con la normativa vigente que exige, entre otras cosas, una etapa de alta temperatura, una estabilización y un período de maduración para obtener un producto de calidad agrícola. En este tipo de plantas, la primera fase de tratamiento precisa de mayor control de olores y vectores, lo cual requiere de inversiones mayores de infraestructura y seguimiento, y de una trazabilidad adecuada. Lograr dicha trazabilidad es complejo por la multiplicidad de actores que involucra —cada hogar se encarga de la separación—, sumado a las características inherentes a la materia orgánica —humedad y alta degradabilidad—, que encarecen y complejizan su recogida selectiva. Por ello es una modalidad que suele plantearse en etapas avanzadas de una gestión integral, cuando la recolección diferenciada de reciclables secos está consolidada y ya se han agotado las estrategias de promoción de compostaje domiciliario y compartido.

No obstante ello, en la actualidad hay iniciativas en ciertos municipios como Bahía Blanca, Bolívar, Carlos Casares, Laprida, Rauch y Trenque Lauquen donde se efectúa un compostaje parcial de los residuos orgánicos que son separados manual o mecánicamente como rechazo de la planta de separación de reciclables. En estos casos, si bien se obtiene un producto bioestabilizado, no puede considerarse un compost de calidad agrícola en los términos de la Resolución Conjunta SENASA - SCyMA 1/2019, en tanto los residuos orgánicos que le ha dado origen no han sido separados en el lugar de generación y puede persistir la contaminación por haber estado en contacto con otros desechos domésticos diversos. Suele ser entregado en jornadas de "eco-canjes" a cambio de reciclables secos o de otras corrientes como aceite vegetal usado (AVU), para promover la separación en origen y el afianzamiento del Día Verde municipal. En tales casos, es importante aclarar a los vecinos y las vecinas que no debe ser utilizado en huertas comestibles sino sólo para plantas ornamentales.



Embolsado de abono para su entrega como eco-canje en Trenque Lauquen.

Estrategia provincial de valorización de residuos orgánicos

Como se ha podido advertir, el compostaje presenta mucho potencial en cuanto es una práctica que puede desarrollarse desde la escala doméstica hasta la industrial con impactos positivos ambientales, económicos y sociales. Una estrategia de abordaje

integral debería incluir también la prevención de las pérdidas y los desperdicios de alimentos, y el afianzamiento de otras modalidades de valorización de orgánicos alineados dentro de lógicas de economía circular y gestión a proximidad. Por ejemplo, el diseño de circuitos para la alimentación animal, el uso de sustratos orgánicos residuales para la producción de hongos comestibles, la oferta de ramas y troncos de podas como leña social, el empleo de chips y hojarasca como cobertura vegetal, entre otras.

Ciertamente, lograr una gestión adecuada de los residuos orgánicos es un desafío mayor que requiere la articulación de los diversos actores del territorio, la sensibilización y la capacitación de estos, y el diseño y la implementación de programas participativos, en una lógica de mejora continua y progresividad. Para contribuir a ello, desde el equipo de la Dirección Provincial de Residuos del OPDS se vienen brindando capacitaciones (canal de YouTube: <https://youtu.be/vSVzubrFgDc>) y asesorías al respecto, y se han generado contenidos específicos de libre descarga como el Manual de Compostaje (<https://bit.ly/3nncdP0>) y el Catálogo de Diseños y Construcción de Composteras (<http://bit.ly/CatalogoComposteras>).

El compostaje no es solamente un sistema adecuado de tratamiento de una fracción mayoritaria de los residuos, es también una oportunidad para revincularnos como sociedad con el ciclo de la naturaleza y la ocasión para que cada cual desde su escala pueda, como los microorganismos, transformar sus desechos en un recurso. ●

Rehabilitación de computadoras en las cárceles

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, refuncionalización y recuperación de materiales



Federico Wahlberg

Director de Residuos Especiales y Patogénicos
OPDS | Argentina
wahlbergf@opds.gba.gov.ar

El viernes 27 de febrero desde el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) fuimos a visitar el taller de refuncionalización de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs) que funciona dentro de la Unidad Penitenciaria N.º 1 Lisandro Olmos. En esta cárcel, fundada en 1939, se encuentran unas 2600 personas privadas de su libertad. Doce de ellas trabajan dentro del taller que se ocupa de revisar computadores y otros artefactos que municipios, organismos provinciales, oficinas y hogares descartaron. El objetivo es recuperar aquello que puede ser reutilizado y desarmar lo que no, para luego vender sus partes como materia prima para otros procesos productivos. El OPDS se hizo presente para evaluar el funcionamiento del taller y sugerir mejoras acordes a la normativa, como paso necesario para la inscripción del mismo en el registro de Refuncionalizadores de RAEEs.

Cuando entramos a la Unidad Penitenciaria nos estaba esperando Marcelo Lafolia, director provincial de Políticas de Inclusión del Ministerio de Justicia. Cruzamos la primera de varias puertas. Nos presentó a Rodrigo Ledesma, subdirector de Asistencia y Tratamiento de la institución. Ledesma nos aclaró que en el penal había 2601 personas. No se le escapa una, ni siquiera en las estadísticas. Luego se presentaron un par de penitenciarios que nos acompañaron durante toda la visita.

Caminamos custodiados, a nuestra izquierda, por un paredón blanco que delimitaba un extenso patio. A

la derecha, Marcelo nos iba presentando un par de edificios: el Centro Cultural donde enseñan boxeo y la escuela donde se enseñan todos los niveles educativos: primario, secundario y universitario. Más adelante saludamos a un entrenador de fútbol y a sus jugadores. Finalmente, llegamos al galpón que alberga varios talleres: carpintería, herrería y el taller que habíamos ido a ver.

Dentro del galpón nos recibió Claudio, a quien solo conocíamos en formato virtual. Claudio Fittipaldi es prefecto mayor, Jefe de Departamento del programa "Disposición y Reutilización de Tecnología en Desuso" desde su creación, en 2009. El programa depende del Servicio Penitenciario Bonaerense. Se ocupa de la reducción, reutilización y reciclado de RAEEs a nivel provincial. Antes de la pandemia trabajaban unos 200 internos. Actualmente se encuentran activas siete plantas de tratamiento de RAEEs que operan en cárceles de la provincia. El taller de Olmos fue el primero en funcionar.

Durante la visita nos reunimos con las doce personas privadas de su libertad que trabajan en el taller, abierto luego de meses de cuarentena. Antes de la pandemia habían llegado a ser 40. Ellos comparten un gran mesón común donde desmantelan las computadoras. Allí también fuimos desmantelando la formalidad de la visita. Nos contaron que la pandemia los afectó fuertemente. El taller estuvo cerrado y eso fue muy duro. Para ellos, participar de esta experiencia significa aprender un oficio muy particular. Es una tarea que realiza muy poca gente en el país. Al evitar que las computadoras terminen en basurales, también ellos se valorizan.

Durante la charla que mantuvimos nos transmitieron que trabajar en el taller les permite salir de sus pabellones y relacionarse con otros en un contexto de trabajo en equipo. A lo largo del tiempo desarrollaron vínculos de compañerismo entre ellos. "Cuando uno de nosotros llega a otro pabellón ya tiene un par de conocidos". Se apoyan entre ellos. Se rescatan. Se demuestran a sí mismos que no están obsoletos, que cumplen una función importante para la sociedad. La reducción de la pena también aparece como una posibilidad, una esperanza que se cuece entre montañas de impresoras y monitores que también esperan su turno para salir y volver a aportar a la sociedad.

El programa recibe donaciones de basura electrónica proveniente de municipios, ministerios y organismos provinciales (el OPDS entre ellos), y otras instituciones. En lo fundamental reciben computadores e impresoras. La mayoría aún funciona. Pero solo una pequeña parte logrará rehabilitarse dentro del taller y saldrá de la cárcel para volver a trabajar. Ya se han realizado donaciones a escuelas y comedores comunitarios *del afuera*. Esas computadoras se han reinsertado. También se destinan a equipar el propio Servicio Penitenciario Bonaerense. Más computadoras en las escuelas *del adentro* potencian la formación de otros compañeros. El esfuerzo de unos multiplica las posibilidades de otros.

La mayoría de las computadoras no gozarán del beneficio de ser refuncionalizadas. No tendrán ese derecho porque la evolución tecnológica dictaminó que se han vuelto obsoletas para el sistema. Entre un 70 % y un 80 % serán desguazadas en el taller. Por suerte están los trabajadores, que valorizan el metal y el plástico de las carcasas, el cobre de los cables y, sobre todo, lo más valioso: las plaquetas. En realidad, el oro y otros metales dentro de ellas. Por eso hay empresas argentinas que las compran. Estas, a su vez, se ocupan de exportarlas a una empresa europea que finalmente realiza la operación conocida como "minería urbana". La tecnología para convertir plaquetas en lingotes de oro no existe en el país. En el mesón de trabajo, los doce usan Elementos de Protección Personal, como corresponde. Debajo de los cascos amarillos se pueden reconocer a las personas. Pelo rapado a los costados, camisetas de fútbol. Eso sí, por las dudas, los de River y los de Boca ubicados en distintos lados de la mesa. Solo es parte del folklore. Los delantales tapan esas pasiones y los hace ver como parte de un mismo equipo.

La basura electrónica contiene residuos peligrosos. Por eso requiere un tratamiento especial. Con las computadoras vienen monitores viejos, los cubos, que tienen pantallas o *black mirrors* con hasta 4 kg de plomo que se libera al romperse. Los planos poseen mercurio. También vienen baterías en los estabilizadores (UPS), que contienen plomo. Las impresoras traen tóneres cuyas tintas contienen cromo y cobre. Se pueden encontrar pilas como las de reloj en las plaquetas.

Su mal manejo supone problemas de salud para los trabajadores y su disposición en basurales comunes implica contaminación de dichos terrenos, en muchos casos, rodeados de habitantes de bajos recursos. Por eso, desde el OPDS se interviene para garantizar que talleres como el de Olmos cumplan con la normativa y le den un adecuado tratamiento a dichos residuos. Antes de retirarnos del taller subimos a un primer piso del galpón, donde construyeron un comedor para los trabajadores. Desde una ventana vimos un partido de fútbol en la cancha del patio. Podríamos suponer un ambiente que le hiciera honor al famoso “picadito”: se respiraba un aire de alegría, de la mano de un entrenador árbitro que colaboraba para que las reglas se cumplieran. De fondo estaba el público posible, en los pabellones y en la particular torre panóptica que dibuja el contorno característico de este edificio de los años treinta. En este entorno, algunas de estas historias intervienen hoy en el ciclo de vida de productos ya obsoletos y, al hacerlo —quizás sin saberlo—, están aportando al país y a la provincia en un proceso de transformación mundial.

Para avanzar en una adecuada gestión de RAEEs a gran escala es necesaria una Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) que obligue a los productores y a los importadores a financiar la recolección y la reutilización o disposición final de estos residuos. También es necesario que en el diseño del producto se considere su vida útil, la posibilidad de ser reutilizado y la reducción de componentes peligrosos. La culpa de la contaminación no es del producto, no es del objeto, sino del productor que está detrás y no vemos. La Unión Europea cuenta desde 2005 con normativa que establece que los productores e importadores deben financiar el reciclaje de los productos eléctricos que venden en el mercado europeo; asimismo, desde 2006 posee una Directiva de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en Equipos Eléctricos y Electrónicos. Si bien en la provincia de Buenos Aires contamos con normativa específica sobre la temática, la Argentina carece de una Ley REP. Mientras tanto, la experiencia de los talleres del servicio penitenciario sirve de ejemplo para que más personas visualicen la necesidad de este cambio fundamental.●

Planta de separación de residuos de Laprida

Pamela Carolina Natan

Dirección Provincial de Residuos
OPDS | Argentina
natanp@opds.gba.gov.ar

Apenas se ven sus ojos, celestes, que asoman entre la visera de la gorra y el barbijo que le cubre casi completamente el rostro. Estatura mediana, mirada afable, Adalberto "Tito" Zanazzi está sentado del otro lado del escritorio, en la oficina que el encargado nos cedió para la entrevista. Habla bajito y tímidamente, cuenta que se crió en el campo, que trabajó como metalúrgico, albañil y en la chacra antes de entrar como empleado municipal. Mira hacia arriba para concentrarse en recrear los recuerdos de aquel agosto de 1993, cuando inició sus actividades como operario en la planta de separación de residuos de Laprida.

"Empecé a trabajar para el municipio, haciendo limpieza y barrido de calles; a las pocas semanas me llamaron para venir a la planta. Éramos cinco personas más el encargado y hacíamos todo manual, sobre la 'rampa', que era un mesón donde se desparramaba la basura e íbamos seleccionando el material: cajas, botellas, hueso. En el primer tiempo se vendía a granel, luego llegó la prensa y metíamos todo junto hasta que los compradores empezaron a exigir mayor calidad".

La planta de separación de Laprida es un hito en la historia de la valorización de residuos de la provincia de Buenos Aires. Se inauguró en 1991 como una iniciativa del entonces intendente Alfredo Irigoien tras visitar una instalación modelo en Alemania. Hoy, 30 años más tarde, son 119 los municipios bonaerenses que cuentan con plantas de separación de residuos,

con mayor o menor mecanización, muchas de ellas basadas en la experiencia transitada por esta localidad de diez mil habitantes al sur de la provincia.

Hace veinte años, además, el cierre del basural a cielo abierto y el acondicionamiento de las actuales celdas sanitarias permitió al municipio adecuarse a las normas provinciales de protección ambiental, evitando que la disposición final de residuos genere un daño mayor al ambiente.

Cuando le consultamos, Tito destaca que nunca le molestó trabajar con la basura, por el contrario, dice que él y sus compañeros siempre ganaban más y que incluso llegó el reconocimiento aquella vez que vinieron a filmarlos desde un canal de televisión que le dio visibilidad a su labor.

Visibilidad que también pretende darse a través del proyecto de ley que declara a Laprida como “Capital Provincial del Reciclaje” y que obtuvo ya media sanción ante el Senado. La iniciativa prevé, además, instaurar la “Fiesta Provincial del Reciclaje” en el Calendario Turístico Provincial, a desarrollarse durante la tercera semana del mes de mayo.

Tito continúa su relato, destacando cómo la llegada de “la cinta” permitió la incorporación de mayor personal, que pasó a catorce personas. En la cinta se encuentra de todo, dice, y menciona la vez que uno de sus compañeros halló una bolsa con tres mil dólares.

Hoy son diecisiete las personas que trabajan en la planta, que posee una capacidad de procesamiento de ocho toneladas por día. Los residuos ingresan por un rompe-bolsa y, tras la clasificación y el enfardado, se recupera cerca de la mitad del peso en materiales reciclables (PET cristal, PET color, aluminio, cartón, papel, PEAD, PP, vidrio, chatarra, silobolsas, etcétera). La fracción de rechazo se envía semanalmente al módulo de disposición final. Desde la municipalidad se organizan visitas con establecimientos educativos, para dar a conocer el funcionamiento de la planta y afianzar el compromiso colectivo para con el cuidado ambiental.

Todo esto se refuerza a través de las acciones enmarcadas en el programa de sensibilización ambiental “Laprida

Ambiental y Sostenible” y la “Copa Laprida Recicla”, que efectúa, por ejemplo, campañas para la recepción de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Además, el municipio trabaja de manera coordinada con el taller protegido “Camino a la felicidad”, cuyos concurrentes venden bolsas de colores para la separación en origen de las diversas fracciones y el vaciado de cestos de veredas.

Salimos a recorrer el predio. Es una mañana de otoño y la temperatura es agradable. Los ojos de Tito se achinan: está sonriendo. Nos cuenta que, aprovechando sus conocimientos de mecánica, pronto lo reubicaron en el taller que hoy muestra orgulloso como su segundo hogar: las máquinas, las herramientas y su sectorcito para calentar el agua para el mate.

Un poco más allá, vemos el centro de acopio transitorio de envases de fitosanitarios y el playón de bioestabilización de los residuos orgánicos. Recientemente, se instaló una línea de valor agregado para la molienda y el lavado de polietileno de alta densidad (PEAD), que es el plástico típico de los envases de lavandina. Esto marca un avance en el paradigma de la gestión, basado en ofrecer al mercado materiales con mayor grado de procesamiento.

Adalberto “Tito” Zanazzi, trabajador histórico de la planta de separación de residuos de Laprida.



Para Tito también es una novedad, hace rato que no puede ir a la planta por ser personal de riesgo, pero no ve la hora de que la situación se normalice para volver a su puesto. Si bien está en edad de jubilarse, dice que aún no es tiempo, que está aguardando al 2023 para llegar, como la propia planta, a los 30 años de servicio.

A futuro, el municipio se propone ampliar su gestión incorporando un centro de tratamiento de podas y de residuos de la construcción y la demolición, para darle una valorización adecuada a este tipo de desechos. Esto permitiría generar productos como leña social para calefacción o chips de podas para uso como cobertura vegetal en espacios verdes y como estructurante para sistemas de compostaje. En el caso de los escombros, se obtendrían áridos para su uso en obra pública. Potenciar la promoción del compostaje domiciliario y la recolección diferenciada es otro desafío que se plantea en el horizonte municipal, lo cual significaría una mejora en la calidad del material obtenido y un avance hacia una gestión cada vez más integral e inclusiva de los residuos. ●

Panorama actual del manejo de residuos en la Ciudad de México



Estefanía Arriaga Ramos

Secretaría del Medio Ambiente
de la Ciudad de México
earriaga.sedema@gmail.com



Zentli Rodríguez González

Secretaría del Medio Ambiente
de la Ciudad de México
zrodriguez.sma@gmail.com



Aline Villarreal Medina

Departamento de Físicoquímica
Facultad de Química
UNAM | México
aline_vime@hotmail.com

Resumen

Debido a su tamaño y población el manejo de residuos en la Ciudad de México es un gran reto. En el 2019 se reportó una generación diaria de 13.149 toneladas. Para gestionar esta cantidad de residuos, de manera gratuita y sin contar con rellenos sanitarios dentro de su territorio, se han implementado algunas políticas que han tenido éxito como la recolección diferenciada de residuos y la construcción de plantas de selección de residuos y de composta. La actual administración ha puesto especial énfasis en el manejo sustentable de residuos, con un enfoque de Economía Circular. Este enfoque ha sido expresado en el Plan de Acción Basura Cero hacia una Economía Circular, que privilegia acciones encaminadas a la reducción en la generación de residuos, su aprovechamiento en otras actividades productivas, su recuperación energética y adecuada disposición. Si bien se han encontrado importantes retos, en este artículo describimos las acciones y políticas públicas que se han implementado para cumplir con las metas y objetivos del Plan de acción Basura Cero.

Con una población de poco más de nueve millones de habitantes (INEGI, 2020), la Ciudad de México, al ser la capital del país, se ha consolidado como uno de los centros económicos y culturales más importantes debido a la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Estas actividades inciden de manera directa en uno de los principales retos ambientales

que enfrenta: el manejo de residuos, que no solo son generados por sus habitantes, sino por la población flotante que transita diariamente en la entidad, debido a la gran cantidad de actividades, sitios de interés, situación laboral, comercio, entre otros.

Año tras año, la generación de residuos se incrementa de manera proporcional con el crecimiento de la población, como consecuencia de los hábitos de consumo y uso de productos, así como de los sistemas de producción y economía lineal, entre otros factores. Durante 2019, se reportó una generación diaria de 13.149 toneladas, lo que se traduce en una generación per cápita de 1,40 kg al día (SEDEMA, 2020).

Un aspecto importante a señalar es que la ciudad no cuenta con rellenos sanitarios para disponer las casi 8000 toneladas de residuos no valorizables que genera diariamente, por lo que se ha tenido que valer de acuerdos con entidades vecinas para garantizar su adecuada disposición. Pero ¿cómo es el manejo de los residuos de la ciudad? Para responder lo anterior, es necesario remontarnos un poco al pasado para entender su funcionamiento.

Figura 1. Personal de barrido manual de la Ciudad de México.



Un poco de antecedentes

A lo largo de la historia y el desarrollo de la ciudad, el manejo que se le solía dar a los residuos era la recolección casa por casa y el transporte directo a vertederos o tiraderos a cielos abiertos como Santa Fe y Santa Cruz Meyehualco, por mencionar algunos. A finales de los ochenta, la mayoría de estos vertederos fueron clausurados y se construyeron rellenos sanitarios como el de Bordo Poniente; sin embargo aún era necesario fortalecer la infraestructura y el reciclaje. Por esa razón, a partir de los noventa se construyeron plantas de separación-reciclaje y cuatro estaciones de transferencia, y se modernizaron diez más. Estas instalaciones permitieron pasar de camiones de recolección domiciliaria, de aproximadamente 3,5 toneladas, a camiones de transferencia, de 7 a 14 toneladas, con tolvas, sistemas de captación de partículas, techo, etcétera (Ayala, 2010).

A pesar de ello, fue necesario conectar la infraestructura con políticas que asegurasen la regulación de los residuos que se generaban, en particular, de aquellos con características domiciliarias, definidos como residuos sólidos urbanos (restos de comida y poda de árboles, pasto, hojarasca, papel, cartón, vidrio, plásticos) y de aquellos de manejo especial (neumáticos, aceite vegetal y animal, construcción, tecnológicos, agroplásticos, en volumen alto), considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpieza (Figura 1); por lo que el 22 de abril de 2003 se publicó la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF), ahora Ciudad de México.

Figura 2. Planta de Composta de Bordo Poniente.



Uno de los grandes pasos de esta ley fue la implementación obligatoria, para toda persona, de la separación de residuos en dos fracciones: orgánicos (color verde) e inorgánicos (color gris). Esto permitió el avance de nuevas tecnologías y reforzó su importancia por el cierre definitivo del relleno sanitario Bordo Poniente, el 19 de diciembre de 2011, lo que dio pie a la Planta de composta, que recibe la mayor parte de la fracción orgánica de la ciudad (Figura 2). Todo ello acompañado de la campaña masiva de difusión y comunicación *Juntos, pero no revueltos*, que permitió dar a conocer a la ciudadanía sobre el tema.

Figura 3. Recolección domiciliar de residuos sólidos en la Ciudad de México.



Actualmente y hacia el futuro

El servicio público de limpieza otorgado en la ciudad es gratuito para los ciudadanos que la habitan, con fundamento en su Constitución Política y la LRSDF. Es un sistema integrado por las 16 alcaldías, con una plantilla de 14.215 personas, quienes participan en las actividades de barrido manual y recolección, esta última principalmente en los domicilios, que aportan el 48 % del total de residuos que se generan en la ciudad (SEDEMA, 2020); y la Secretaría de Obras y Servicios. Ambas operan con la finalidad de garantizar la recolección, el barrido y limpieza en áreas comunes de la ciudad (Figura 3), así como el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura para garantizar su adecuado manejo (estaciones de transferencia, plantas de selección, compactación y plantas de composta), hasta su disposición final.

Por su parte, la Secretaría del Medio Ambiente se encarga de regular a los grandes generadores de residuos, así como a los que generan residuos de manejo especial, garantizando no solo su disposición oportuna, sino un manejo adecuado durante toda la cadena. Además, es la responsable de coordinar la creación y la actualización de normas ambientales que rigen el manejo de ciertos tipos de residuos, así como la obligatoriedad de la separación, como es el caso de la NADF-024-AMBT-2013, que establece los lineamientos para realizar la separación primaria avanzada.

En este sentido, la política en materia de residuos sólidos del Gobierno de la Ciudad de México está encaminada hacia la prevención y minimización de los residuos sólidos, a través de acciones, operaciones, procesos y educación ambiental que permiten disminuir su cantidad en cada una de sus etapas: generación, almacenamiento, recolección, acopio, tratamiento y disposición adecuada. Además, cuenta con un marco regulatorio actualizado y la coordinación interinstitucional de las áreas administrativas involucradas, bajo un esquema de supervisión y vigilancia. Todo ello bajo una visión de Economía Circular (EC).

Muestra de ello, es el *Plan de Acción Basura Cero, hacia una Economía Circular*, que contempla encaminar acciones para la reducción de residuos y recursos, priorizando las energías renovables e incrementando el tiempo de vida de los productos, lo que permite integrar y adaptar dentro de este plan otros programas y proyectos que ayuden a alcanzar una ciudad circular, sostenible, inclusiva y de derechos.

Como parte de la estrategia para la reducción en la generación de residuos en la ciudad, el 1 de enero del 2020 entró en vigor la prohibición para comercializar, distribuir y entregar bolsas de plástico y el 1 de enero del 2021 entró en vigor la prohibición para comercializar, distribuir y entregar productos plásticos de un solo uso, acompañado de campañas ambientales, así como de ventanas de información dirigidas al público y al sector privado que permitan transitar de manera conjunta y coordinada hacia esta nueva visión (Figura 4).



Figura 4. Campaña Basura Cero, prohibición del uso de bolsas de plástico.

Para lograr lo anterior, es necesario tener información confiable que permita crear políticas públicas en materia de sustentabilidad, tomar decisiones acertadas y adecuadas, así como tener el apoyo de la iniciativa privada, de la academia y de la ciudadanía para llevar a cabo programas, proyectos y políticas exitosas fundamentadas en un pensamiento sistémico y circular.

En su caso, la ciudad cuenta con el Inventario de Residuos Sólidos (IRS). Se trata de un documento que se estructura anualmente desde el 2006 (a partir del 2015, de forma digital), con la información generada sobre el manejo de los residuos durante el año que recién termina, lo que permite vincular datos de diferentes actores clave y funge como una herramienta de transparencia hacia la ciudadanía

Transitar hacia una Economía Circular que al mismo tiempo promueva el desarrollo económico y disminuya la desigualdad económica y social no es sencillo. Entre los retos más importantes para la implantación del Plan de Acción Basura Cero está el desconocimiento de los objetivos y alcances de la EC, resistencias culturales y deficiencias de infraestructura que no permiten aprovechar el potencial de los materiales.

Aunque el término EC se originó en 1990 en China, en los últimos años ha sido retomado en Europa y Estados Unidos de América (Winans et al., 2017), en donde se han establecido programas y políticas públicas enfocadas en incrementar el uso de recursos

materiales, ya sea mediante su reincorporación a las cadenas productivas o favoreciendo esquemas de uso compartido de productos.

Algunos programas que han tenido un gran éxito entre la ciudadanía es el Mercado del Trueque (2012) y Reciclatrón (2013), que posibilita la recuperación de residuos para su reciclaje mediante el intercambio de estos por productos (Figura 5). Ambos se realizan de manera itinerante en diversos puntos de la ciudad, lo que permite tener un mayor alcance. Al respecto, se ha observado que en las distintas ediciones de los programas asiste gente de otros Estados para depositar sus residuos y, en el caso del Reciclatrón, participan empresas y escuelas.

Figura 5. Intercambio de residuos por productos agrícolas locales en el Mercado del Trueque.



Nuestros retos

Para afrontar este reto y con la finalidad de dar a conocer las ventajas de la EC para las empresas, el Gobierno de la Ciudad de México ha formado alianzas con la Unión Europea y la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Merece especial mención el proyecto Vallejo-i, localizado al norte de la ciudad, dentro del cual se plantea la ubicación de un centro de innovación que permita que las empresas localizadas dentro del polígono exploren esquemas de simbiosis industrial y de reuso de materiales.

Otros retos que se deben afrontar son la mejora del sistema financiero que permita efectuar con alto nivel de confianza operaciones de renta e intercambio entre personas, entre personas y empresas, y entre empresas. Asimismo, se deben fortalecer iniciativas ciudadanas que ya incorporan prácticas de EC, como la reparación de textiles, productos eléctricos y reciclaje de materiales. Un área de oportunidad importante es identificar estos proyectos a pequeña escala que se encuentran diseminados por el territorio para potenciar su alcance.

En definitiva, la Ciudad de México está transformándose para lograr ser una ciudad sustentable, inclusiva, de derechos y segura. Solo con la participación eficaz de los diversos sectores se puede contribuir a una correcta gestión integral de residuos que mejore la calidad de vida de la población hacia un desarrollo económico, sustentable e incluyente. ●

Referencias

- Ayala, C. (2010). *Análisis de la evolución de la gestión de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal: 1980-2008* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. Recuperado de <https://cristinacortinas.org/sustentabilidad/download/analisis-de-la-evolucion-de-la-gestion-de-los-residuos-solidos-urbanos-en-el-distrito-federal-1980-2008/>
- INEGI. (2020). Censo General de Población y Vivienda. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- SEDEMA. (2020). Inventario de Residuos sólidos 2019. Ciudad de México, México: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. Recuperado de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/irs-2019-integrado-ok-1.pdf>
- Winans, K., Kendall, A. y Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825–833.

Un problema ambiental serio: el reciclado de pilas y baterías



Franco Dubois
Lorena Falco



Cynthia A. Fuentes
María V. Gallegos



Miguel A. Peluso
Jorge E. Sambeth



Centro de Investigación
y Desarrollo en Ciencias
Aplicadas Dr. Jorge J. Ronco
CINDECA / CONICET-UNLP
Comisión de Investigaciones
Científicas (CIC) | Argentina
apelu@quimica.unlp.edu.ar

Resumen

Las pilas y las baterías cumplen un papel esencial en nuestra sociedad, ya que permiten que muchos productos utilizados en la actualidad, tales como juguetes, controles remotos, alarmas, relojes, *notebooks*, *smartphones*, audífonos, electrodomésticos, entre muchos otros bienes y servicios, puedan funcionar. Esta es la razón por la cual constituyen cada día más, una fuente de energía indispensable para adaptarse al avance tecnológico.

La utilización masiva de tecnologías portátiles conlleva el uso también masivo de pilas y baterías, y, como consecuencia, la generación de residuos domésticos peligrosos, que en la mayoría de los países del mundo no son gestionados. Dado que la disposición final es problemática debido al contenido de metales pesados como Ni, Cd, Mn y trazas de Hg, la recuperación de estos dispositivos es una actividad económica y ambientalmente favorable.

La razón de la problemática se basa en que no todas las baterías se recogen apropiadamente, ni son recicladas al final de su vida útil, lo que, como se dijo, aumenta el riesgo de liberación de sustancias peligrosas al entorno y, además, constituye un derroche de recursos. Muchos de los componentes podrían ser reciclados, lo que evita la liberación de sustancias y, además, proporciona materiales valiosos a importantes productos y procesos productivos.

Algunos conceptos básicos

La pila o celda es un dispositivo que convierte la energía química contenida en sus materiales en energía eléctrica por medio de una reacción química de oxidación y reducción. En las *notebooks*, por ejemplo, hay varias pilas o celdas formando una batería, que en este caso es recargable, lo que significa que al conectarse a la corriente eléctrica se recarga por la reacción química inversa.

Las pilas constan de tres componentes principales, que participan en la reacción química:

1. El ánodo o electrodo negativo, que se oxida durante la reacción electroquímica.
2. El cátodo o electrodo positivo, que se reduce durante la reacción electroquímica.
3. El electrolito, el conductor iónico, que proporciona el medio para la transferencia de carga en forma de iones dentro de la celda, entre el ánodo y el cátodo. El electrolito es típicamente un líquido, tal como agua u otros disolventes, con sales disueltas, ácidos o álcalis.

Físicamente, los electrodos de ánodo y cátodo están electrónicamente aislados en la celda para impedir un cortocircuito interno, pero están rodeados por el electrolito.

Las combinaciones más ventajosas de materiales de ánodo y cátodo son aquellas que resulten más livianas y generen un voltaje alto. Sin embargo, estas combinaciones pueden no ser siempre prácticas debido a la reactividad con otros componentes de la celda, el alto costo y otras deficiencias.

En la práctica, el ánodo se selecciona teniendo en cuenta las siguientes propiedades: eficiencia como agente reductor, buena conductividad, estabilidad, facilidad de fabricación y bajo costo. El zinc (Zn) ha sido un ánodo predominante porque tiene estas propiedades favorables. El litio (Li), el metal más ligero, se ha convertido en un ánodo muy atractivo ya que se han desarrollado electrolitos y diseños de celdas adecuados y compatibles para controlar su actividad.

El cátodo debe ser un agente oxidante eficaz, ser estable al entrar en contacto con el electrolito y tener un voltaje de trabajo útil. La mayoría de los materiales catódicos comunes son óxidos metálicos como manganeso (Mn) y cobalto (Co).

El electrolito debe tener una buena conductividad iónica pero no ser eléctricamente conductor, ya que causaría un cortocircuito interno. Otras características importantes son la no reactividad con los materiales de los electrodos, seguridad en el manejo y bajo costo. La mayoría de los electrolitos son soluciones acuosas, pero existen importantes excepciones como, por ejemplo, en las baterías de ánodo de litio.

Las pilas se pueden construir en muchas formas y configuraciones —cilíndrica, botón, planas y prismática— y los componentes están diseñados para adaptarse a la forma particular. Están selladas, según el tipo, de maneras variadas para prevenir fugas y/o secarse. Algunas están provistas de dispositivos de ventilación u otros medios que permiten a los gases acumulados escapar. Finalmente, se colocan en recipientes o carcasas adecuadas para la conexión de terminales y etiquetado, lo que completa la fabricación de la pila y la batería (Reddy, 2011).

Las pilas pueden clasificarse en dos grandes grupos:

-*Primarias*: basadas en una reacción química irreversible y, por lo tanto, no recargables (poseen un solo ciclo de vida), como las de la linterna.

-*Secundarias*: basadas en una reacción química reversible y, por lo tanto, recargables. Se pueden regenerar sus elementos activos pasando una corriente eléctrica en sentido contrario al de descarga. Poseen ciclos de vida múltiples como la del celular o la de la *notebook*.

Dentro de estos dos grupos, existe una gran diversidad de pilas, que varían en su composición, geometría y tamaño. Cada una con materiales particulares que determinan su capacidad, su voltaje de salida y su vida útil. Sin embargo, no todos los tipos de baterías tienen un uso extendido. En las Tablas 1 y 2 se describen los tipos de pilas más comunes del mercado, sus componentes y características; tanto de pilas primarias como recargables, respectivamente.

Pilas	Composición	Características
Zinc/Carbono (Zn/C) o tipo Le Clanché o pilas secas	Ánodo: Zn Cátodo: MnO ₂ Electrolito: NH ₄ Cl, ZnCl ₂	Para todo tipo de equipamiento eléctrico y electrónico sencillo y de bajo consumo. Denominadas "pilas comunes".
(Zn/MnO ₂) o Alcalinas	Ánodo: Zn Cátodo: MnO ₂ Electrolito: KOH	Para equipamiento eléctrico y electrónico sencillo y de bajo consumo, con vida útil hasta 10 veces mayor a las "comunes".
Óxido de Plata	Ánodo: Zn Cátodo: Ag ₂ O Electrolito: KOH	Uso en calculadoras, relojes y cámaras fotográficas. Usualmente de tipo botón pequeñas, contienen alrededor de 1 % de mercurio.
Litio	Ánodo: Li Cátodo: MnO ₂ , Bi ₂ O ₃ Electrolito: disolvente orgánico	Uso: desde relojes hasta aplicaciones militares e industrias. Producen tres veces más energía que las alcalinas, considerando tamaños equivalentes, y poseen mayor voltaje inicial (3 voltios).

Tabla 1. Tipos de pilas primarias, sus características y componentes.

Legislación sobre el tema

A nivel nacional se encuentra la Ley 26.184, Ley de Fuentes de Energía Eléctrica Portátil, la cual prohíbe en todo el país las pilas y baterías no recargables con un contenido de mercurio, cadmio y plomo mayor a: 0,0005 %; 0,015 % y 0,200 % en peso, respectivamente. La ley prohíbe la fabricación, armado e importación de estos productos.¹

Las pilas y las baterías usadas y agotadas, provenientes mayormente del uso de distintos artefactos —juguetes, electrodomésticos pequeños, equipos de música, relojes, computadoras, etcétera— forman parte de la generación habitual de residuos domésticos o domiciliarios.

1. Ver <https://www.argentina.gov.ar/normativa/nacional/ley-26184-123408>

Pilas	Composición	Características
Níquel/Cadmio (Ni/Cd)	<p>Ánodo: Cd</p> <p>Cátodo: NiO(OH)</p> <p>Electrolito: KOH</p>	Para todo tipo de equipamiento eléctrico y electrónico sencillo y de bajo consumo, teléfonos celulares, computadoras portátiles. Pueden ser recargadas hasta 1000 veces y alcanzan a durar decenas de años.
Níquel/Hidruro metálico (Ni/HM)	<p>Ánodo: MH</p> <p>Cátodo: NiO(OH)</p> <p>Electrolito: KOH</p>	Mismo uso que Ni/Cd y sistema similar donde el Cd ha sido reemplazado por una aleación metálica capaz de almacenar hidrógeno. La densidad de energía producida es el doble de la producida por Ni/Cd, a voltajes operativos similares.
Ion-Litio	<p>Ánodo: Carbón</p> <p>Cátodo: Óxidos metálicos con Litio (cátodo).</p> <p>Electrolito: Sales de Litio y Solventes Orgánicos</p>	Utilizada para telefonía celular, computadoras, cámaras fotográficas y de video.
Plomo	<p>Ánodo: Pb</p> <p>Cátodo: PbO₂</p> <p>Electrolito: H₂SO₄</p>	Tienen uso automotriz, industrial y doméstico.

Tabla 2. Tipos de pilas secundarias, sus características y componentes.

Estos residuos, cuya generación no se limita exclusivamente al ámbito industrial o comercial, sino que involucra principalmente el uso hogareño y que, además, poseen características peligrosas, están incluidos dentro de los que genéricamente se denominan *residuos peligrosos universales*.²

La competencia sobre la gestión de los residuos generados en los hogares corresponde a la jurisdicción local, esto es, a la autoridad municipal, a quien se debe consultar para mayor información sobre la existencia de programas para la gestión de pilas y baterías. Es importante observar que los llamados residuos peligrosos universales se encuentran en una zona

2. Ver <http://www.protectora.org.ar>

gris entre el concepto de residuo peligroso y residuo domiciliario, aún no resuelta por ninguna normativa en nuestro país.

El único antecedente normativo respecto al tema de pilas y baterías, se encuentra en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En el mes de Julio de 2018 se aprobó la Ley 5991, de Gestión ambiental de pilas en desuso, que considera a las pilas en desuso como Residuos Sólidos Urbanos (RSU) Sujetos a Manejo Especial, entendiéndose por estos residuos a aquellos que por su tamaño, volumen, cantidad y/o sus potenciales características de peligrosidad, nocividad o toxicidad, deben sujetarse a un Plan de Gestión Ambiental diferenciado del resto de los RSU. Asimismo, establece que toda persona física o jurídica que produzca, importe, distribuya y/o comercialice pilas será responsable de su gestión en la etapa de pos consumo del ciclo de vida del producto.

Para las baterías recargables de celulares y computadoras rige la Resolución 262/APRA/2008 que aprueba la Guía de contenidos mínimos para los planes de gestión integral de pilas y baterías recargables agotadas, que deben ser presentados por los productores, importadores, distribuidores, intermediarios y cualquier otra persona responsable de la puesta en el mercado de pilas y baterías recargables.³

Tecnologías para el tratamiento y/o disposición final de pilas y baterías

Varias son las alternativas tecnológicas para el adecuado tratamiento o disposición final de las pilas y baterías usadas.

- Disposición final, se desecha la pila como tal, en relleno de seguridad: es la más cercana a las posibilidades actuales, pero se halla limitada por la escasa cantidad disponible de tales rellenos.
- Tecnologías para la inmovilización de los constituyentes peligrosos: vitrificación, cementación y ceramización, son algunas de las tecnologías que se han propuesto, las cuales presentan diversas variantes técnicas.

3. Ver <https://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/residuos/baterias>

Actualmente se inmovilizan dentro de tubos de PVC y estos, una vez sellados, son depositados como relleno en columnas de hormigón. La utilización o destino de los materiales resultantes, según sus propiedades finales, son los problemas que se plantean.

- Exportación: para su tratamiento y/o reciclado en países que dispongan de tecnologías no existentes en la Argentina. Es de aplicación el Convenio de Basilea.
- Reciclado de componentes: existen a nivel mundial tecnologías para todo tipo de pilas y baterías, pero en el país solo se encuentra disponible a nivel industrial para las de plomo-ácido y las de níquel-cadmio.

Reciclado de pilas

Existen básicamente dos procesos para la recuperación de metales a partir de pilas y baterías agotadas: hidrometalúrgico y pirometalúrgico (o combinaciones y variaciones de ambos). Los procesos utilizados hoy en día requieren una etapa previa de separación, dado que no existe un método universal para todo tipo de pilas (son específicos para pilas Ni-Cd, Ni-MH, de mercurio o de litio).

Los métodos hidrometalúrgicos consisten, en general, en la disolución parcial o total de metales en agua con ácidos o bases fuertes y extracción selectiva de metales para su uso como materia prima en la industria metalúrgica. Los procesos cuentan con sistemas de colecta, tratamiento o recuperación del mercurio que se volatiliza durante las distintas etapas. Las etapas son: *molienda* (trituration de la masa de pilas previa selección y limpieza), *separación* (tamizado que separa el polvo fino, separación magnética de materiales ferromagnéticos como la carcasa de hierro y de no ferromagnéticos como las piezas de zinc, y separación neumática del papel y plástico), *lixiviación* (separación de los metales en la fracción de polvos finos, mediante tratamiento ácido y posterior neutralización para separar sales metálicas), *cementación* (formación de amalgama de Cd y Hg con Zn).

Los procesos pirometalúrgicos involucran la transformación y separación de componentes a partir del tratamiento térmico del residuo en medio reductor (combustión con coque) y separación de los metales volátiles. Los procesos pirometalúrgicos operados a temperaturas altas se

asocian generalmente con un alto control de emisiones a la atmósfera, ya que se pueden generar en el proceso dioxinas, compuestos de cloruro, mercurio, zinc y cadmio (Bernardes et al., 2004).

Muchos de los procesos de reciclado de pilas son utilizados en el mundo: BATENUS, proceso hidrometalúrgico para mezcla de todo tipo de baterías; PLACID, para la recuperación pirometalúrgica de mercurio de las baterías que lo contienen; RECYTEC, para la recuperación de zinc y manganeso de pilas alcalinas y de zinc-carbón; REVABAT/REVATECH, tratamiento hidrometalúrgico para pilas alcalinas y de zinc-carbón que luego de ser desmanteladas son tratadas con ácido sulfúrico y finalmente se recuperan zinc y manganeso como óxidos o sales; y RECUPYL, para la recuperación hidrometalúrgica de zinc y manganeso provenientes de pilas agotadas, como sulfatos, utilizando ácido sulfúrico y agua oxigenada; entre otros (Sayilgan et al., 2009).

Motivos para reciclar pilas y baterías

El consumo de pilas y baterías tiende a aumentar año tras año, especialmente por el incremento de la cantidad de aparatos y artefactos que las utilizan, lo que deriva en un elevado número de residuos (Armand et al., 2020).

Las pilas pueden sufrir la corrosión de sus carcazas, las cuales pueden ser afectadas internamente por sus componentes y externamente por la acción climática y/o por el proceso de descomposición de los RSU, en caso que terminen en un vertedero. Cuando se produce un derrame del electrolito contenido en las pilas, este puede acarrear con él los metales pesados que conforman la pila. Estos metales pueden lixiviar por los suelos y fluir por cursos de agua superficial y acuíferos, contaminando el ambiente en general. Estas situaciones tienen mayor probabilidad de ocurrir, y con mayor intensidad, cuanto menos se gestione el destino y tratamiento de estos residuos.

Los metales lixiviados de las pilas y las baterías pueden exhibir diversos grados de toxicidad para los humanos, atacar diferentes órganos y tener diferentes mecanismos de acción. El litio se dirige principalmente al sistema nervioso central y el

cobalto es potencialmente cancerígeno. Por otro lado, cobre, hierro y níquel han sido implicados en la generación de especies reactivas de oxígeno, que se sabe que causan daño al ADN (Winslow et al., 2018). La exposición oral al manganeso puede provocar efectos neurológicos adversos, mientras que altas dosis de zinc puede provocar síntomas y signos de irritación gastrointestinal (calambres abdominales, vómitos y diarrea) en humanos.⁴

Por otra parte, la obtención de las materias primas para la fabricación de las pilas y las baterías implica el consumo de recursos naturales no renovables y de alto costo económico. Por esta razón, la recuperación de los metales resulta una actividad no solo beneficiosa para el medio ambiente, sino también un potencial negocio. El valor expresado en USD por tonelada de los metales presentes en pilas y baterías según datos de febrero de 2021 del sitio London Metal Exchange (LME) se presenta en la Tabla 3.

Asimismo, reciclar las baterías produciría ahorros de energía y una reducción de la huella de CO₂ (Hamade et al., 2020).

Tabla 3. Valores expresados en USD por tonelada de metales contenidos en las LIBs. Datos de febrero de 2021 (London Metal Exchange, s.f.).

Metal	Precio (USD x tonelada)
Zn	2793
Co	47000
Ni	18363
Al	2076
Cu	8270
Li (LiOH)	9000

4. Ver <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp>

Planta Piloto de Tratamiento de Pilas alcalinas y de Zn/C

En la localidad de Gonnet, provincia de Buenos Aires, la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) puso en marcha en 2012 la primera Planta Piloto de Tratamiento de Pilas. Funciona en el Laboratorio UPL (Unidad PlaPiMu-Laseisic) dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP y de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la provincia de Buenos Aires.

La planta ha sido concebida, diseñada e instalada respetando los principios de ser eco compatible y respetar el medioambiente. La idea fue desarrollar un proceso que permitiera recuperar los metales presentes en las pilas agotadas para lograr, de ese modo, un doble propósito: evitar la contaminación de suelos y aguas subterráneas; y recuperar los metales para su reutilización, disminuyendo la explotación minera y la contaminación en la producción de los mismos.

Se optó por un método hidrometalúrgico que utiliza ácido sulfúrico para la disolución de los componentes de las pilas y una posterior separación para recuperarlos. Para evitar contaminaciones se eligió un método biotecnológico para la obtención del ácido sulfúrico por oxidación de azufre elemental con bacterias. En un biorreactor crecen las bacterias mineras que producen el medio ácido para extraer los metales de las pilas, proceso que se realiza en un segundo reactor tipo tanque agitado, llamado *reactor de lixiviación*. Luego el lixiviado obtenido se filtra y se pasa a un tercer reactor, que es donde se realiza la separación y recuperación de los metales presentes mediante distintos métodos.

Una particularidad de estas bacterias es que no solo pueden vivir en condiciones de acidez intolerables para otras especies, sino que como producto de su metabolismo energético producen ácido sulfúrico, compuestos reductores y compuestos oxidantes. Además, pueden crecer y vivir normalmente en ambientes con altas concentraciones de metales pesados.

La planta tiene una capacidad de tratamiento de 80 kg de pilas por mes, equivalente al consumo de unos 8000 habitantes. Es una planta experimental, no recibe pilas en desuso y no está abierta al público.

Descripción de la Planta Piloto de Tratamiento de Pilas

El primer paso del proceso de reciclado en la planta consiste en la clasificación de las pilas según el tamaño y la clase, dado que pueden ser alcalinas o de carbón zinc. Las pilas son abiertas mediante un corte artesanal, diseñado en la UPL.

Luego de desmanteladas se separan sus componentes: películas plásticas, desechos ferrosos, trozos de papel y un sólido conteniendo el material de los electrodos de las pilas. La carcasa de la pila es chatarra y representa alrededor del 50 % de su peso. El sólido interior posee un contenido de Zn y Mn de 47 % y 25 % en masa, respectivamente.

¿Cómo es el proceso?

El ácido sulfúrico es producido microbiológicamente, donde una bacteria en contacto con azufre genera el ácido. Este proceso tiene una serie de ventajas sobre el empleo de ácido comercial: es ambientalmente amigable, sin ningún impacto adverso (como efluentes gaseosos o líquidos) y trabaja a temperatura ambiente y presión normal. Utiliza cantidades mínimas de agua, produce ácido a la concentración adecuada para su uso evitándose el transporte de sustancias peligrosas, ahorra costos de transporte y es totalmente competitiva en costos.

La segunda etapa es la disolución de los sólidos, donde el ácido proveniente del biorreactor se pone en contacto con el material de electrodos de las pilas. Una vez disueltos los electrodos en el ácido, se filtra (quedan residuos insolubles) y el líquido filtrado son sulfatos de Zn y Mn. Finalmente, por medio de distintas reacciones químicas, los sulfatos son transformados en óxidos de zinc y manganeso.

De esta manera, el tratamiento de las pilas alcalinas por hidrometalurgia permite recuperar la chatarra, óxidos de zinc y de manganeso. La chatarra es el primer producto reciclable, pudiendo venderse a exportadores o bien a cooperativas que lo reciclan. El óxido de zinc es un producto aplicable en la industria farmacéutica, cosmética, metalúrgica e incluso en aplicaciones dentales. Por último, el óxido de

manganeso es utilizado para eliminar componentes orgánicos (algunos de ellos cancerígenos) en aguas o en aire, los cuales afectan la capa de ozono y generan gases de efecto invernadero.

Aplicaciones de los metales recuperados de pilas alcalinas y de Zn/C

Como se mencionó, las pilas y las baterías contienen metales que afectan la salud ambiental, por lo que su reciclado debe comprender también cerrar su ciclo de vida. Por esta razón, se han desarrollado diferentes líneas de acción para darle una aplicación tecnológica a los metales reciclados como óxidos.

En nuestro grupo de investigación se ha utilizado el MnO_2 recuperado de las pilas como catalizador para la oxidación a CO_2 de compuestos orgánicos provenientes de emisiones gaseosas de industrias, tales como etanol, n-heptano y tolueno. La actividad catalítica de estos óxidos recuperados es similar o hasta superior a óxidos de manganeso preparados a partir de sales comerciales (Gallegos et al., 2013; Gallegos et al., 2017).

El poli (tereftalato de etileno) (PET) es un importante polímero sintético que se utiliza ampliamente en botellas de plástico (Payán et al., 2017). Entre los métodos de reciclado de PET encontramos la glicólisis. Este proceso, en el que se utilizan catalizadores óxidos, implica la ruptura del polímero para producir el monómero de PET, el bis (2-hidroxietil) tereftalato (BHET), el cual se puede utilizar en la producción de PET virgen (Wang et al., 2009). Los óxidos de zinc recuperados de las pilas han sido analizados como catalizadores de esta reacción y resultaron activos para la despolimerización de PET con rendimientos de producción similares a los industriales (Fuentes et al., 2019).

Reciclado de ión-Li (LIBs)

El reciclado de estas baterías ha sido estudiado a escala laboratorio. Se utilizaron LIBs agotadas procedentes de computadoras portátiles. Estas baterías están compuestas por 6, 8 o 9 celdas cilíndricas individuales de 18 mm de diámetro y 65,0 mm de longitud, las cuales se denominan, por

su longitud y diámetro, 18650 y están recubiertas por plástico. La carcasa de plástico que contiene las celdas se retira manualmente y una vez separada se procede al reciclado de cada celda. En primer término, las celdas deben ser descargadas por completo para evitar cortocircuitos; luego, se procede a la apertura. Se recupera Cu y Al en forma de láminas metálicas, láminas plásticas, el ánodo de carbono grafito y el material catódico compuesto por Li, Mn, Ni y Co.

El material catódico es sometido a un proceso hidrometalúrgico utilizando como agente lixiviante el ácido sulfúrico biogenerado, tal como se mencionó más arriba, producido en la planta piloto de la UPL. De este proceso se obtiene un óxido mixto de Ni, Mn y Co, por un lado, y carbonato de litio, por otro. Estos materiales están siendo evaluados como materias primas para la confección de nuevas baterías de ion-Li y como catalizadores para la reacción de reformado en seco de metano para la obtención de una mezcla H₂/CO. Por su parte, el ánodo de carbono grafito ha sido evaluado como adsorbente de medicamentos en aguas residuales. ●

Referencias

- Armand, M., Axmann, P., Bresser, D., Copley, M., Edström, K., Ekberg, C. y Zhang, H. (2020). Lithium-ion batteries – Current state of the art and anticipated developments. *Journal of Power Sources*, 479. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228708>
- Bernardes, A. M., Espinosa, D. C. y Tenório, J. A. (2004). Recycling of batteries: a review of current processes and technologies. *Journal of Power Sources*, 130(1–2), 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.026>
- Fuentes, C. A., Gallegos, M. V., García, J. R., Sambeth, J., y Peluso, A. (2019). Catalytic Glycolysis of Poly(ethylene terephthalate) Using Zinc and Cobalt Oxides Recycled from Spent Batteries. *Waste and Biomass Valorization*, (11), 4991–5001. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00807-6>
- Gallegos, M. V., Falco, L. R., Peluso, M. A., Sambeth, J. E., y Thomas, H. J. (2013). Recovery of manganese oxides from spent alkaline and zinc-carbon batteries. An application as catalysts for VOCs elimination. *Waste Management*, 33(6), 1483–1490. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.03.006>
- Gallegos, M. V., Peluso, M. A., Finocchio, E., Thomas, H. J., Busca, G., y Sambeth, J. E. (2017). Removal of VOCs by catalytic process. A study of MnZnO composites synthesized from waste alkaline and Zn/C batteries. *Chemical Engineering Journal*, 313, 1099–1111. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.11.001>
- Hamade, R., Ayache, R. A., Ghanem, M. B., Masri, S. E., y Ammouri, A. (2020). Life Cycle Analysis of AA Alkaline Batteries. *Procedia Manufacturing*, 43, 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.193>
- London Metal Exchange. (s.f.). Recuperado de www.lme.com
- Payán, L., Poyatos, M. T., Muñoz, L., La Rubia, M. D., Pacheco, R., y Ramos, N. (2017). Study of the influence of storage conditions on the quality and migration levels of antimony in polyethylene terephthalate-bottled water. *Food Science and Technology International*, 23(4), 318–327. <https://doi.org/10.1177/1082013217690300>
- Reddy, T. (Ed.). (2011). *Linden's Handbook of Batteries* (Fourth). Nueva York, Estados Unidos: Mc Graw Hill.
- Sayilgan, E., Kukrer, T., Civelekoglu, G., Ferella, F., Akcil, a., Veglio, F., y Kitis, M. (2009). A review of technologies for the recovery of metals from spent alkaline and zinc-carbon batteries. *Hydrometallurgy*, 97(3–4), 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2009.02.008>
- Wang, H., Liu, Y., Li, Z., Zhang, X., Zhang, S., y Zhang, Y. (2009). Glycolysis of poly(ethylene terephthalate) catalyzed by ionic liquids. *European Polymer Journal*, 45(5), 1535–1544. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2009.01.025>

- Winslow, K. M., Laux, S. J., y Townsend, T. G. (2018). A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(November 2017), 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.001>

Diseño y desarrollo de sistemas de limpieza de cuerpos de agua por remoción de residuos sólidos flotantes y su potencial valorización



Romina S. Solana

Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Sustentable (GIDIS)
Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires (FIUBA) | Argentina
gpo.gidis@fi.uba.ar
rsolana@fi.uba.ar

Matías Tarando

Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires (FIUBA)
Dirección Provincial de Residuos OPDS | Argentina
tarandom@opds.gba.gov.ar

La problemática de la contaminación de los cuerpos de agua con residuos sólidos flotantes provenientes de las actividades humanas es un problema tanto local como regional y global. En particular, nos referimos a los residuos de materiales plásticos que se encuentran flotando o subnadando producto de una mala gestión y disposición final de residuos sólidos de envases, bolsas, *packaging*, utensilios y otros productos al final de su vida útil. Estos desechos generan no solo la contaminación en el punto de vuelco y en sus márgenes, sino también aguas abajo —si se trata de un cuerpo de agua fluvial— o dispersos dentro del cuerpo de agua y de su superficie —si se trata de lagos, lagunas y mares—. Esta contaminación primaria afecta el ecosistema del propio cuerpo de agua y sus alrededores, los usos posibles del mismo en función de su calidad ambiental y, obviamente, la salud de las poblaciones emplazadas en sus márgenes.

Asimismo, en el caso particular de los plásticos se presenta una contaminación que podemos denominar secundaria, que se debe al paso del tiempo y la exposición de estos materiales a las condiciones medioambientales, lo que provoca que se deterioren, rompan y degraden. Si bien esto sucede con relativa lentitud, los procesos biológicos, físicos y químicos del ambiente generan que estos plásticos de mayores tamaños se conviertan en los denominados microplásticos, término que hace referencia, en general, a diámetros menores a 5 mm. Es importante tener en

cuenta que hay productos que contienen dentro de sus componentes materiales plásticos de esos tamaños, así como procesos industriales y operativos que los pueden originar. Estos microplásticos suelen terminar en los cuerpos de agua como contaminación primaria.

Como consecuencia, estos materiales finalizan, en mayor o menor medida, en el aparato digestivo y en el sistema respiratorio de los animales que habitan el cuerpo de agua, en las personas que hacen un uso recreativo del mismo, en las zonas costeras y en los sedimentos, en el agua que se extrae para la producción y el consumo —debiéndose verificar los procesos de tratamiento para que garanticen su eliminación—, en las frutas y hortalizas, en el agua embotellada y, según algunos estudios recientes, en forma de lluvia plástica. Estos plásticos no solo pueden generar problemas de atascamiento y obstrucciones en los animales del medio, entre otras afectaciones que actualmente están bajo estudio tanto en animales como en seres humanos, sino que también pueden liberar sustancias contaminantes, tóxicas, que pudieran contener o presentarse en superficie.

Dada esta problemática general y con el objetivo de encontrar soluciones para nuestros cuerpos de agua, se inicia una línea de trabajo para el diseño y el desarrollo de un sistema de Limpieza de los Cuerpos de Agua a través de la remoción de Residuos Sólidos Flotantes (RSFs) y su Valoración, dentro del Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Sustentable de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (GIDIS-FIUBA). De esta forma, mediante un proyecto interdisciplinario y con participación de todos los actores involucrados se generan herramientas y soluciones de ingeniería integrales, flexibles, innovadoras y sustentables, a fin de lograr la efectiva remoción de la contaminación por RSFs, y se inicia el trabajo sobre las cuencas de los ríos Matanza Riachuelo, Reconquista y Luján.

En ese sentido, se realiza una articulación directa con la provincia de Buenos Aires, puntualmente, con la Dirección Provincial de Residuos del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), quien suma a la mesa de trabajo a la Subsecretaría de Recursos Hídricos y a los organismos de autoridad

de las cuencas del río Reconquista (COMIREC) y Luján (COMILU), así como al Astillero Río Santiago, a la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR), a la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) y al Ministerio de Espacio Público e Higiene Urbana de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, entre otros actores. De esta manera, se logran generar mecanismos de aplicación directa de una investigación y un desarrollo universitario sobre problemáticas relevadas por el Estado provincial, a fin de aplicar políticas públicas de calidad y criterio técnico para su diseño y posterior implementación y operación.

Proyecto Interceptor/Recolector de RSFs de Cuerpos de Agua

El objetivo del proyecto, que inició en agosto de 2020 con la conformación de equipos de trabajo, es el diseño y el desarrollo de un sistema que permita la gestión de la limpieza de los cuerpos de agua con unidades de recolección adecuadas y sustentables. En este caso particular, serán interceptores/recolectores que operarán sobre zonas adecuadas en cada cuenca, lo que permitirá gestionar su operación y articular con el sistema de recolección, tratamiento y disposición final local. Esto, a su vez, hará factible la realización de algún tipo de valoración de los residuos recolectados según sea su calidad relativa.

El sistema de intercepción consiste en ubicar una unidad interceptora en posiciones estratégicas del río, ya sea hacia las márgenes, en una zona lateral o central del río, y utilizar algún sistema de guía física, generalmente a modo de barrera flotante, que ayude a dirigir los residuos y demás materiales flotantes que trae el río con su corriente hacia el interceptor. Una vez allí esta unidad los retira del agua con cinta transportadora —o similar equivalente— y los conduce a unidades de acumulación. Luego, con cierta frecuencia en función de la capacidad de acumulación, el volumen, la densidad y la cantidad de material flotante que efectivamente circule por ese río, este es retirado para su posterior tratamiento y disposición final adecuados.

El diseño tiene como referencia los sistemas y equipos que hoy en día se están utilizando en algunas ciudades del mundo, como por ejemplo: los interceptores de la

Fundación Ocean Cleanup (Jakarta, Indonesia; Klang, Malaysia; Can Tho en el delta del río Mekong, Vietnam y Santo Domingo, República Dominicana) [Figura 1] y el Mr Trash Wheel de la compañía Cleanwater Mills (Maryland, Estados Unidos) [Figura 2].

Figura 1. Fotos del Interceptor de OceanCleanup.



Figura 2. Fotos de Mr. Trash Wheel.



En algunos casos, según el cuerpo de agua y las particularidades del estado y la dinámica de la contaminación de residuos flotantes que posea, puede requerirse otro tipo de soluciones, con unidades móviles que busquen y barran las zonas con residuos, en lugar de esperar que los mismos ingresen a dichas unidades. Pueden, a su vez, juntar los residuos y llevarlos en su operatoria a una zona externa en la cual los depositan hasta que sean retirados y, en otros casos, pueden requerirse unidades que acumulen internamente los residuos para luego ser llevados a un punto de extracción. Ejemplos de algunos de estos equipos son los que operan actualmente en la Cuenca Matanza Riachuelo [Figura 3].



Figura 3. Control Ecológico SA, Vuelta de Rocha (GCABA y ACUMAR).

En este caso, se inició con sistemas de tipo interceptor, enfocados a tres de las principales cuencas emisoras de residuos, con el objetivo de comprender la situación y las necesidades de cada una de ellas y así poder desarrollar soluciones adecuadas y sustentables.

Dentro de la FIUBA se trabaja con un equipo que articula interdisciplinariamente las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería Naval, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Electricista, Ingeniería Mecánica e Ingeniería en Informática. De este modo, participan de la investigación profesores, docentes, tutores e investigadores de los Departamentos de Seguridad del Trabajo y Ambiente, Tecnología Industrial, Naval, Electrónica, Energía, Mecánica y Computación; así como los Laboratorios de Automatización y Robótica, y de Control de Accionamiento, Tracción y Potencia. A la fecha, integran el proyecto 20 alumnos de las carreras mencionadas, quienes desarrollan sus trabajos profesionales de graduación en algunos de los subsistemas y componentes necesarios para el proyecto. Así, esta iniciativa se convierte también en un ámbito de formación académica, aplicada en la materia, con una correlación e intervención directa respecto a las problemáticas territoriales de la provincia de Buenos Aires y otras jurisdicciones sobre las que se encuentran las cuencas bajo estudio.

Resultados esperados y perspectivas

La articulación interdisciplinaria con participación activa desde el inicio del proyecto de la unidad académica, de los organismos y demás actores de la sociedad responsables de brindar servicios y soluciones sustentables es esencial para diagnosticar, analizar, desarrollar y diseñar sistemas, productos, servicios y herramientas que contribuyan realmente desde la

ingeniería al desarrollo sustentable y minimicen los impactos ambientales, mejorando la calidad del ambiente y maximizando el desarrollo de la industria, la tecnología y la innovación, de la sociedad y del país. En particular, este proyecto, además de los beneficios ambientales esperables, tiene implícito el potencial de desarrollo de la industria naval argentina, así como de otros productos y servicios asociados a la producción, la implementación y la operación de este tipo de soluciones.

El proyecto de Sistema Interceptor Recolector de RSFs en Cuerpos de Agua permitirá, en primera instancia, generar el diseño de sistemas de intercepción flexibles, dinámicos y escalables, adecuados a las necesidades de las cuencas, capaces de brindar una solución integral en la operatoria de limpieza y de contribuir al mantenimiento de la calidad del agua de los ríos. Para ello, el proyecto cuenta con financiación aprobada en el marco de la convocatoria del Programa de Desarrollo Estratégico de Ciencia y Técnica de la UBA 2021 (PDE 46/2021), con el fin de validar algunos de los sistemas diseñados para la unidad. Respecto a su desarrollo, construcción e implementación, cuenta con el apoyo del Proyecto de Fortalecimiento, Saneamiento y Gestión de Residuos Sólidos Urbanos con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), de implementación en la Cuenca del Río Reconquista junto al COMIREC-UCEPO, enmarcado en el Programa de Saneamiento Ambiental de la Cuenca del Río Reconquista (Contrato de Préstamo BID N.º 3256/OC-AR), presentado por la Dirección Provincial de Residuos del OPDS. En él, entre otras líneas de acción, se incluyó el desarrollo de un interceptor, reciclador y de limpieza de espejos de agua para la Cuenca Reconquista (COMIREC), con posibilidad de replicar en otras cuencas como el río Luján y Riachuelo (COMILU Y ACUMAR).

Sembrada esta vinculación y metodología de trabajo, se podrá continuar en otros frentes de investigación y desarrollo del GIDIS-FIUBA, cuya área temática central es la Ingeniería Sustentable y las líneas o ejes que se desprenden son: Objetivos de Desarrollo Sostenible; Cambio Climático (Mitigación y Adaptación); Análisis de Ciclo de Vida de producto y sistemas; Huellas Ambientales, Estudios y Evaluaciones de Sustentabilidad Integral y Planes y Estrategias para la Aplicación de Sistemas Sustentables.

En el mismo sentido, se puede destacar que desde la FIUBA se impulsan y articulan: 1) El Vector de Desarrollo Sustentable, proyecto en el que también participa, entre otros, el grupo de investigación, y en el que se abordan las líneas de Energías Renovables, Eficiencia Energética, Gestión Integral de Residuos, Calidad Ambiental y Transformación Sustentable; y 2) El Vector de Economía Popular, Social y Solidaria, a través del desarrollo de proyectos asociados a la Gestión Integral e Inclusiva de los Residuos Sólidos Urbanos en articulación con las cooperativas de recuperadores urbanos y los municipios de la Provincia —mediante mejoras en la gestión y valorización de los residuos reciclables secos—, con el sistema penitenciario —para la gestión y la valorización de los Residuos de Aparatos Electrónicos y Eléctricos (RAEEs)— y promoviendo el dimensionamiento y la valorización de otras corrientes de residuos como los Neumáticos Fuera de Uso (NFU), Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y residuos orgánicos. Ambos se encuentran dentro del Proyecto Vectores, que integra doce ejes estratégicos de trabajo impulsados por la FIUBA en articulación con otras unidades académicas de la Universidad de Buenos Aires —a través del Programa Interdisciplinario de la UBA para el Desarrollo (PIUBAD)—. Estos vectores se enfocan en el abordaje del desarrollo económico y social del país, contribuyendo a la transformación de la estructura productiva, atendiendo asimismo problemáticas sociales y ambientales inmediatas.

Finalmente, destacamos la importancia estratégica y sinérgica de la articulación entre los instrumentos que pueden aportar tanto las universidades como los organismos y demás actores de interés científico, técnico, de producción, socio-ambiental y operativo; para poner en valor los desarrollos conjuntos que contribuyan a construir entre todos ambientes de calidad en la perspectiva de un país sustentable. En particular, el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible y su Dirección Provincial de Residuos pretende el trabajo por corrientes de residuos con el objetivo de dimensionar y valorizar las mismas, generando metodologías que permitan la articulación con universidades, a fin de impulsar, en la gestión de residuos, políticas públicas de calidad y a largo plazo. ●

¿LA ECONOMÍA CIRCULAR ES UNA UTOPIÍA PARA NUESTRA SOCIEDAD?



Elizabeth Peralta

Terranus Medio Ambiente
Consultora | Argentina
terranusmdp@gmail.com

Resumen

La *economía circular* es una nomenclatura distinta para implementar las “3 R” ambientales: *reducir, reciclar y reusar*, maximizando de esta forma los ciclos de vida de los productos. Este concepto fue incluido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2030 de Naciones Unidas, para que cada uno desde su lugar pueda mejorar el medio que nos rodea. En el presente artículo se describen diferentes acciones y tratamientos para que nuestros residuos puedan encuadrarse en la *economía circular*, ya sea en forma individual y/o comunitaria. Por ello es que se desarrollarán las temáticas de *compostaje de residuos orgánicos municipales y reciclado de papel y metales en empresas*. De esta manera, la *economía circular* no solo no es una *utopía* para nuestro país, sino que ya se viene realizando.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es un documento que consta de 17 Objetivos que deberán ser cumplidos de aquí al 2030. Fue en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible realizada en Nueva York, en septiembre de 2015, y suscripto por los 193 países miembros de la ONU, incluido la Argentina. En este contexto, la *economía circular* juega un papel clave para contribuir a las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2030. La gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales contribuyen a reducir emisiones de gases efecto invernadero y al logro de las metas de al menos 11 de los 17 ODS. La implementación de la

economía circular se podría clasificar en las metodologías y tratamientos que permiten *reducir, reciclar y reutilizar* los recursos naturales y las materias primas empleados, maximizando el ciclo de vida de los productos.

Desarrollo

Una buena gestión integral de residuos sólidos urbanos (RSU) implica que los residuos valorizables orgánicos e inorgánicos puedan ser reciclados o reutilizados para obtener, respectivamente, la materia prima original o un nuevo producto, mientras que los residuos sanitarios serían los únicos que deberían disponerse en los rellenos sanitarios de las ciudades. La situación actual de los residuos en América Latina y el Caribe (ALC) es la que describe el Informe 2018 de Naciones Unidas, "Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe", donde el 90 % de los residuos generados en la sociedad NO son valorizables y de ellos el 50 % son orgánicos.

La implementación de la *economía circular*, como se mencionó anteriormente, se puede ejemplificar con las siguientes experiencias que se realizan en la Empresa Municipal de Agua y Saneamiento (OSSE) de la ciudad de Mar del Plata:

1. Compostaje de Residuos Orgánicos, que son los Barros Cloacales originados en la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la ciudad.
2. Valorización de Residuos, mediante el Programa interno de Reciclado de papel y metales.

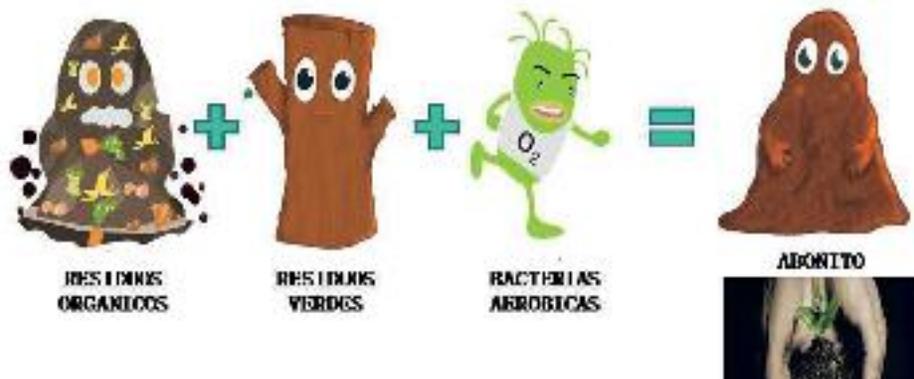
Compostaje de Barros Cloacales Orgánicos

Las plantas de tratamiento de efluentes cloacales de las ciudades generan como residuo semisólido lo que se denominan barros o lodos cloacales. Dependiendo de la actividad industrial que posean en el lugar puede ser un residuo orgánico. En estos últimos años la gestión sustentable de los residuos ha adquirido una destacada importancia, a escala mundial en general y nacional en particular. Por esta razón, la Empresa Municipal Obras Sanitarias Mar del Plata (OSSE), desde el año 2000 viene optimizando el tratamiento de los barros cloacales, los cuales poseen un contenido promedio de 90,6 % de materia orgánica y valores de metales pesados muy bajos,

debido fundamentalmente a la actividad industrial en la ciudad, que es predominantemente alimenticia. Esta situación de generar barros cloacales orgánicos se replica en numerosas ciudades en todo el país.

Una de las tecnologías para el tratamiento de barros cloacales o residuos orgánicos es el compostaje, que consiste en un tratamiento biológico aeróbico, bajo determinadas condiciones iniciales de contenido de metales pesados, del que se obtiene como producto final una excelente enmienda orgánica (abono) para uso forestal [Figura 1]. Actualmente, se realiza el tratamiento de dichos barros cloacales mediante la aplicación de dos metodologías: anaeróbica y aeróbica, las cuales son aplicadas según las condiciones operativas, obteniéndose, como se mencionó, un abono forestal. La estabilización anaeróbica controlada, conocida como Tratamiento Biológico Mecanizado (MBT) o Atenuación Natural, requiere un tiempo de proceso de aproximadamente 2 años; mientras que el tratamiento aeróbico se efectúa mediante la implementación del compostaje termofílico abierto por hileras (*windrows*), cuyo tiempo de proceso, de aproximadamente 6 meses, es sustancialmente menor al del MBT.

Figura 1. Esquema del proceso de Compostaje (Diseño gráfico: Camila de Dato-@lastiasdg).



El producto obtenido, compost, es un acondicionador de suelos de acuerdo con lo establecido en las guías y normativas de referencia. La calidad del mismo, determinada principalmente por sus concentraciones microbiológicas y contenido de metales pesados, es lo que limitará sus usos. Estos pueden ser de varios tipos, entre otros: agrícola-ganadero, forestal, recuperación de suelos degradados, restauración del paisaje. Si bien al respecto no se cuenta en la Argentina con una legislación de aplicación, se toma como referencia

la Resolución 410/18 del Ministerio de Ambiente de Nación, además de las normativas internacionales.

La planificación del proyecto actualmente implementado, consistió, en primera instancia, en realizar una etapa experimental (2000-2001) mediante una prueba piloto a escala real en diferentes condiciones climáticas (verano e invierno). La descripción completa y detallada de la misma se difundió a través de publicaciones especializadas nacionales e internacionales efectuadas en el año 2002. A continuación se pueden observar la localización de la Planta, el mezclado de las hileras y la medición de la temperatura para el control de la etapa termofílica [Figura 2].

Figura 2. De izquierda a derecha: localización de la planta (foto 1), mezclado de las hileras (foto 2) y medición de la temperatura para el control de la etapa termofílica (foto 3).



En el país no se conocían antecedentes previos sobre el compostaje de barros primarios; es por ello que esta Planta aporta una experiencia inédita de aplicación de esta tecnología para estos residuos, la cual está basada en el desarrollo que, para el tratamiento de barros secundarios cloacales, ha implementado la ciudad de San Carlos de Bariloche desde 1995.

Figura 3. Cerrando el ciclo de la Materia Orgánica (elaboración propia).

El compostaje por hileras (*windrows*) que se realiza en la Planta utiliza como soporte los restos de la poda urbana chipeada. Es por ello que esta tecnología emplea dos residuos (barros cloacales y poda urbana) como materias prima para obtener abono forestal como producto, cumplimentando de esta forma 2 de las "3 R" ambientales que implica la *economía circular* [Figura 3]: *reducir* el uso de los restos de poda urbana maximiza la vida útil del relleno sanitario y *reutilizar* la obtención de un nuevo producto, abono forestal.

ECONOMÍA CIRCULAR - CERRANDO EL CICLO DE LA MATERIA ORGÁNICA

ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR)



RESIDUOS: BARROS CLOCALES

VIVERO MUNICIPAL



NUEVO PRODUCTO: ENMIENDA ORGÁNICA



PLANTA DE TRATAMIENTO DE BARROS (PTB)



PROCESOS DE COMPOSTAJE Y/O MBT

Reciclado de papel y metales usados

La fabricación de 1000 kg de papel virgen requiere 15.000 litros de agua y 14 árboles de 25 m de altura y 20 cm de diámetro, lo cual se logra en un período que oscila entre los 15 y 40 años, mientras que el papel reciclado solo necesita 1400 kg de papel usado, 8000 litros de agua y la tercera parte del consumo energético. Por lo expuesto y considerando que la producción global sigue creciendo ininterrumpidamente, desde hace más de 20 años se viene comercializando el papel reciclado y, de esta forma, se cierra el ciclo.

En el caso particular de Mar del Plata, OSSE viene implementando desde el 2005 el Programa Interno de Recolección Selectiva de Papel y Metales para su posterior reciclado, que fuera autorizado por el Concejo Deliberante. En forma previa a su ejecución se efectuaron, en los diferentes sectores de la empresa, charlas ambientales informativas dirigidas al personal. En ellas se enfatizó la importancia que tiene formar parte de esta iniciativa, que permite cerrar no solo el ciclo ambiental a través del reciclado, sino también el ciclo social a través de la donación económica a la comunidad resultante de la venta a recicladores locales.

La recolección selectiva de papel y cartón se efectúa mediante 18 contenedores pequeños ubicados en los diferentes sectores e instalaciones de OSSE, que se vacían en forma mensual para luego realizar la selección correspondiente y su almacenamiento transitorio hasta la venta. Con respecto a los metales, se procede a relevar y retirar periódicamente de las distintas instalaciones de OSSE todos aquellos materiales y/o equipos que han quedado, por distintas razones técnicas, obsoletos y que oportunamente fueran dados de baja para su uso, convirtiéndose en residuos metálicos. La entrega periódica y continua de estos residuos a una empresa de reciclado local, oportunamente adjudicada, implica la retribución a OSSE de una suma de dinero que es ingresada a una cuenta bancaria especialmente habilitada para realizar donaciones anuales a entidades de bien público.

Los resultados obtenidos durante el período 2005-2019 son **103 toneladas de papel y cartón y 326 toneladas de metales**. Cabe destacar que el 2019 fue un año singular al respecto, ya que la inauguración de la nueva Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de la ciudad —el 17 de agosto de 2018— permitió proceder a la demolición de la Planta de Pretratamiento Ing. Baltar, que funcionaba desde 1989. En este contexto, también se implementó el Programa Interno de Valorización de Residuos, que se encargó del tratamiento de los diferentes metales (hierro, acero inoxidable, cobre y chapa) obtenidos del desmantelamiento de las instalaciones civiles y electromecánicas de la planta demolida. Se procedió así al retiro de **95 toneladas de metales** y el monto

recaudado se sumó al Programa general de Reciclado para ser destinado a las instituciones de bien público de la ciudad. De esta forma, se continuó cumpliendo conjuntamente los objetivos ambientales y sociales establecidos desde el origen de su implementación. La sostenibilidad del Programa durante más de 15 años ha sido posible, fundamentalmente, por dos razones:

1. La concientización y el compromiso de todo el personal de OSSE (aproximadamente 800 personas).
2. El haberse convertido en una directriz institucional que se mantiene con independencia de los diferentes Directorios que asumen, ya que al tratarse de un ente público sus miembros políticos se renuevan cada cuatro años, con el intendente municipal.

Esto es lo que conforma la base fundamental para que un programa ambiental sea sostenible en el tiempo.

Consideraciones finales

Las experiencias aquí expuestas fueron parte de mi ejercicio profesional como jefe del Departamento de Ingeniería y Gestión Ambiental de OSSE, cargo que he desempeñado hasta agosto del 2020. Como se puede observar, la aplicación de la *economía circular* no solo *no es una utopía*, sino que se encuentra al alcance de la comunidad en todos los ámbitos, ya sea en nuestras casas, en nuestros trabajos o en nuestras ciudades. ●

Mucha gente pequeña, en lugares pequeños, haciendo cosas pequeñas, puede cambiar el mundo (Eduardo Galeano).