

Guía de gestión integral de pilas y baterías en desuso

Guía de gestión integral de pilas y baterías en desuso / Natalia Priscila Cruz - 1a ed. - San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-532-484-2

1. Residuos Sólidos Urbanos. 2. Medio Ambiente. I. Cruz, Natalia Priscila.

CDD 577



Guía de gestión integral de pilas y baterías en desuso

AUTORES

Natalia Cruz y Nadia Mazzeo

Departamento Sistemas y Herramientas para el Desarrollo Sustentable,
Subgerencia de Química y Ambiente

Soledad Hodes y Gonzalo Montiel

Departamento de Almacenamiento de la Energía,
Subgerencia de Energía y Movilidad

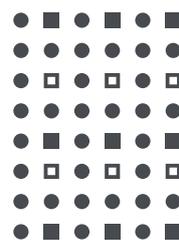


Presentación

La Guía de Gestión integral de Pilas y Baterías en Desuso tiene el objetivo de brindar información y herramientas a los gobiernos locales y a la comunidad en general. Este documento busca actualizar las ediciones previas publicadas por el INTI en los años 2013¹, 2016² y 2019³. La primera parte de la publicación ofrece algunas definiciones que permitirán introducir al lector sobre la temática y luego se aborda la legislación nacional y provincial sobre este residuo particular. La guía también presenta un balance sobre la cantidad de pilas que ingresan y egresan del país, con la intención de dar cuenta de la magnitud de la problemática socioambiental que esto representa. Una vez dimensionado el problema, también se describen los posibles efectos de las pilas y las baterías en desuso sobre el ambiente y, por último, se proponen posibles prácticas de gestión que contemplan desde la reducción de este tipo de residuos hasta el agregado de valor.

Agradecimientos

Agradecemos a todos los miembros del Instituto que colaboraron para llevar adelante la publicación de esta guía. En especial a Leila Devía por su revisión y aportes para el contenido normativo; a Ana Muzlera, por su trabajo realizado en 2018 que resultó fundamental como fuente para los apartados de toxicología y peligrosidad, y de sistemas de gestión; y a Justina Garro y Adriana Rosso por su apoyo en el desarrollo integral de la guía y su revisión final.



1 Gudewort A., Joselevich B.S., Testasecca G., Suárez del Solar N. (2013). Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina. INTI.

2 INTI (2016). Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina - 1ª Edición. San Martín: Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI. ISBN 978-950-532-282-4.

3 Cruz N., Mazzeo N., Muzlera A., Rosso A. (2019). Gestión integral de pilas y baterías. En: Pérez T. Los residuos que generamos: su manejo sustentable, un gran desafío. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Buenos Aires. ISBN 978-987-4111-24-1



Índice

■ 1. Características y funcionamiento	09
1.1 Fundamentos de pilas y baterías recargables	11
1.2 Clasificación	14
■ 2. Marco legal	15
2.1 Normativa Nacional	15
2.2 Normativas provinciales relacionadas con pilas y baterías	20
3. Balance de pilas y baterías	23
4. Toxicología y peligrosidad	26
4.1 Toxicología	27
4.2 Toxicidad de los principales elementos que componen las pilas y baterías	28
4.3 Componentes potencialmente tóxicos en pilas y baterías	30
5. Gestión de pilas y baterías en desuso	33
5.1 Sensibilización	34
5.2 Reducción de la generación	34
5.3 Disposición inicial	34
5.4 Recolección	35
5.5 Clasificación, acondicionamiento, almacenamiento y valorización	36
5.6 Disposición final	47
6. Conclusiones y recomendaciones	55

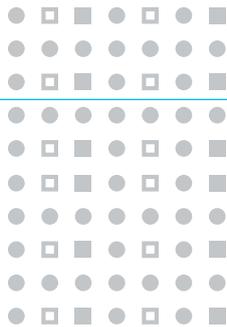


1

Características y funcionamiento

Los dispositivos electroquímicos, comúnmente denominados pilas o baterías, son sistemas donde la energía química puede ser convertida en energía eléctrica a través de reacciones de óxido-reducción simultáneas. En este proceso las características químicas de los componentes resultan alteradas, algunas de esas alteraciones son de carácter reversible y otras de carácter irreversible.

Cuando las reacciones son de carácter irreversible, una vez que la energía ha sido consumida, las pilas o baterías no pueden ser recargadas, ese tipo de dispositivos se denominan pilas o baterías primarias o no recargables; cuando las reacciones son reversibles, los dispositivos se denominan pilas o baterías secundarias o recargables.



Estos dispositivos electroquímicos se componen de una o más unidades funcionales, denominadas celdas, que pueden ser combinadas en serie y/o en paralelo para conformar baterías de mayor energía acumulada. Una celda electroquímica se conforma con dos electrodos constituidos por un colector de corriente y material electroquímicamente activo. El electrodo negativo se denomina ánodo y el electrodo positivo, cátodo. Ambos deben permanecer en contacto con un electrolito, que es un medio conductor de iones. En el ánodo ocurre la reacción de oxidación y en el cátodo la reducción. Estos dos procesos se pueden separar en dos reacciones químicas parciales denominadas hemirreacciones, que debe transcurrir en simultáneo.

Cada celda electroquímica tiene una diferencia de potencial, también denominada fuerza electromotriz (FEM), que la caracteriza y define para qué aplicaciones eléctricas puede ser utilizada. La FEM total de una batería se determina a partir de la sumatoria de las FEM de cada una de las celdas (pilas) que la conforman. En la Figura 1 se observa el esquema de una pila primaria alcalina de zinc (Zn) y dióxido de manganeso (MnO_2). Además, en la Ecuación 1 se detallan las hemirreacciones de cada electrodo y cómo se puede calcular la FEM del dispositivo.



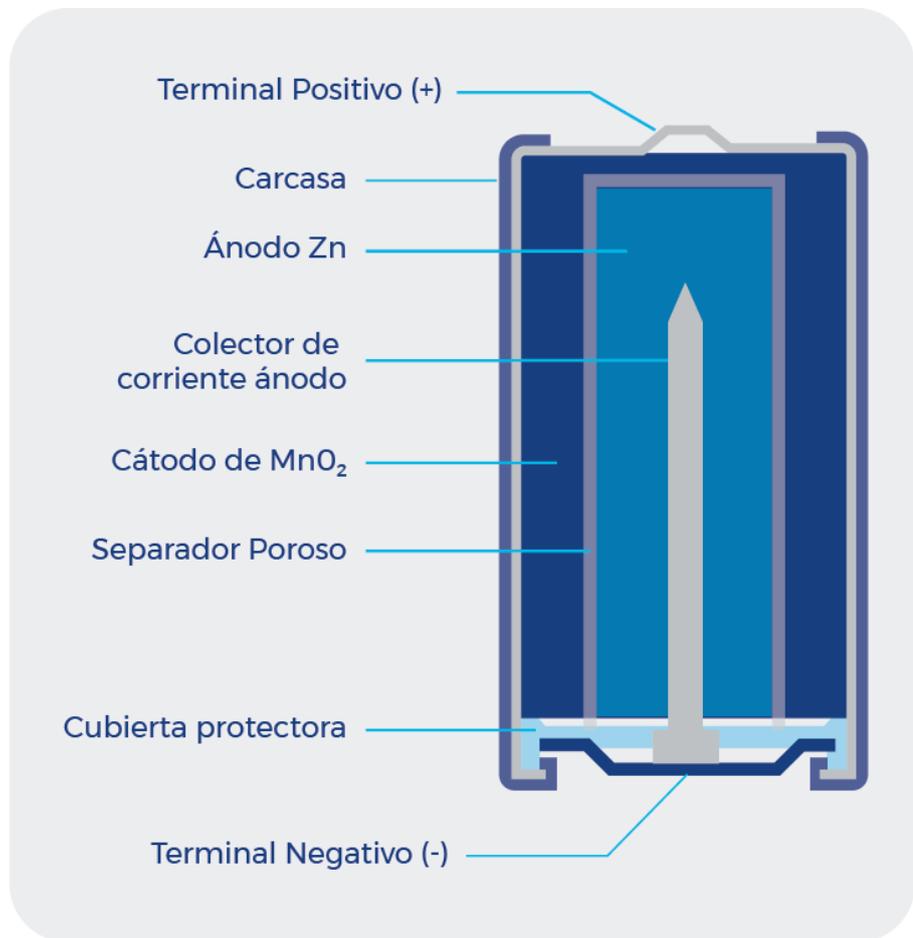
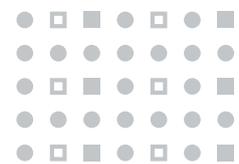


Figura 1 | Pila zinc (Zn) y dióxido de manganeso (MnO₂) en medio alcalino.



$$FEM = E^\circ \text{pila} = E^\circ \text{cátodo} - E^\circ \text{ánodo} = 0,15 \text{ V} - (-1,28 \text{ V}) = 1,43 \text{ V}$$

Ecuación 1 | FEM de la pila zinc (Zn) y dióxido de manganeso (MnO₂) en medio alcalino, comúnmente referido como tensión nominal (V). E° representa el potencial normal de reducción de una hemirreacción. El subíndice S implica que el material está en estado sólido, aq significa que el ion se encuentra en solución acuosa y l, que el estado de agregación de la sustancia es líquido.

1.1 Fundamentos de pilas y baterías recargables.

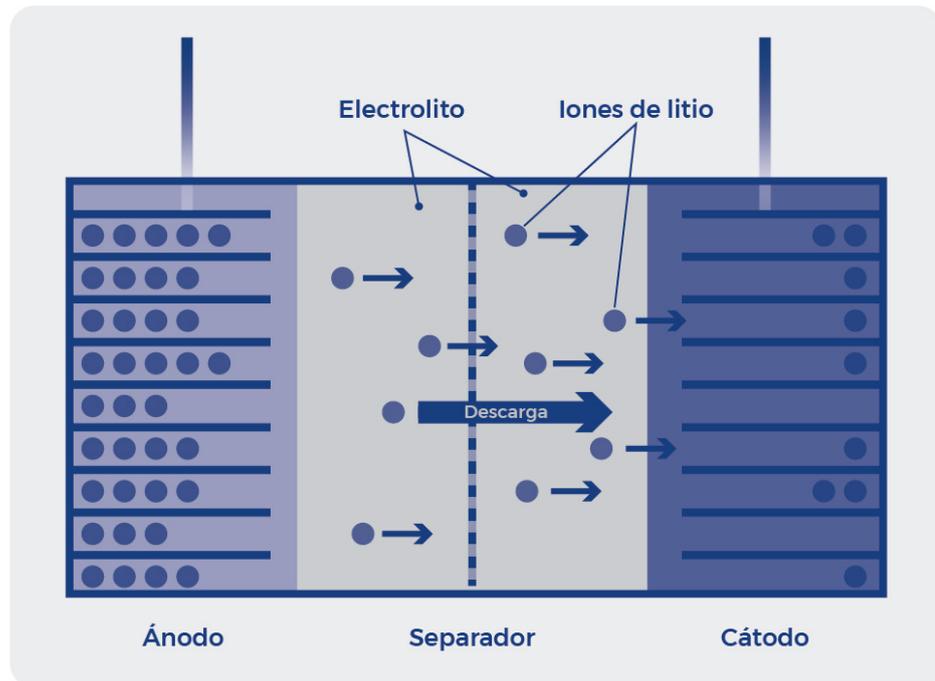
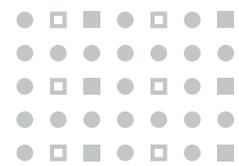
El caso de las baterías de litio-ion

Las baterías de litio-ion son dispositivos electroquímicos reversibles, por lo tanto, recargables, que basan su funcionamiento en el intercambio de iones litio. Esta tecnología se ha vuelto muy popular en las últimas décadas gracias a su alta densidad energética y estabilidad. Estos aspectos permiten fabricar baterías más livianas y con mayor capacidad energética y duración en relación a otras tecnologías electroquímicas.

Existen diferentes tipos de baterías de litio-ion con algunos puntos en común: el material del ánodo, electrolito y separador; y un aspecto que las diferencia: el material activo del cátodo. Este material está constituido por un óxido complejo de metales y litio. Esos metales suelen ser cobalto (Co), níquel (Ni), manganeso (Mn), aluminio (Al), mezclados en distintas proporciones. También existe un material catódico, un tanto diferente al resto, que se basa en fosfato de hierro litiado. Durante la descarga el cátodo recibe iones de litio desde el ánodo, grafito litiado, que se encarga de liberarlo. Este proceso genera un flujo de electrones que produce una corriente eléctrica útil. Durante la carga se produce el proceso inverso. La principal propiedad que le confieren los materiales catódicos y anódicos a las baterías de litio-ion es garantizar estabilidad para alojar iones litio con alta eficiencia y reversibilidad, lo que le confiere a la batería una larga vida útil.

La naturaleza del electrolito, el separador y los materiales del electrodo tienen una fuerte influencia en las características de las celdas de litio-ion. El electrolito contiene una sal de litio de alta pureza (LiPF_6 , LiBF_4) disuelta en un solvente o mezcla de solventes orgánicos. El separador, por otra parte, es una membrana polimérica microporosa que permite el pasaje de los iones de litio y previene cortocircuitos entre el ánodo y el cátodo⁴. El electrodo, en particular el cátodo, puede estar conformado por diferentes óxidos metálicos (MeO). Cada uno de estos materiales activos (óxidos metálicos) tiene características particulares que le confieren a la batería propiedades distintivas, permitiendo a las baterías de litio-ion ser útiles para diversas aplicaciones. Estos usos van desde la electrónica portátil, con sólo algunos watts de potencia, hasta la acumulación de energía estacionaria en grandes bancos de baterías de miles de kilowatts de potencia. A continuación, en la Figura 2, se grafican las hemirreacciones que caracterizan de forma genérica el funcionamiento de una batería de litio-ion.

⁴ Hui Xu, Zhengming Sun, Jian Chen (2020) Graphene-based anode materials for lithium-ion batteries Emerging 2D Materials and Devices for the Internet of Things, Elsevier, Páginas 139-164. ISBN 9780128183861 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818386-1.00006-0>.



CÁTODO	$\text{Li}_{1-x}\text{MeO} + x\text{Li}^+ + xe^- \rightarrow \text{LiMeO}$	Hemirreacción de reducción
ÁNODO	$\text{Li}_x\text{C}_6 \rightarrow \text{C}_6 + x\text{Li}^+ + xe^-$	Hemirreacción de oxidación

Figura 2 | Esquema y hemirreacciones características de una celda electroquímica de litio-ion⁵.

El caso de las baterías ácido plomo

Una batería de plomo ácido es un dispositivo electroquímico que permite almacenar energía en forma química mediante el proceso de carga y liberarla como energía eléctrica, durante la descarga, a través de reacciones químicas reversibles cuando se conecta con un circuito de consumo externo. Es decir, son dispositivos reversibles que pueden recargarse para ser utilizados varias veces antes de agotarse. Se compone de juegos de placas de plomo, positivas y negativas, interpuestas alternadamente y separadas entre sí por un elemento aislante. El conjunto se sumerge en un líquido, llamado electrolito, compuesto de ácido sulfúrico diluido en agua destilada (Figura 3).



⁵ Hui Xu, Zhengming Sun, Jian Chen (2020) Graphene-based anode materials for lithium-ion batteries Emerging 2D Materials and Devices for the Internet of Things, Elsevier, Páginas 139-164. ISBN 9780128183861 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818386-1.00006-0>.



Se trata del tipo de batería más usada en la actualidad dado su bajo costo y diversidad de aplicaciones. Su peso va desde 0,3 kg (baterías para sistemas de alimentación ininterrumpida) hasta 10.000 kg y una vida media de 10 años (Castells, 2012), tal es el caso de las baterías estacionarias utilizadas en bancos de baterías que proporcionan energía de respaldo a equipos de telecomunicaciones. Las de mayor consumo en número son las baterías de automóviles que pesan, en promedio, 18 kg y una vida media de 3 años^{6 7}.

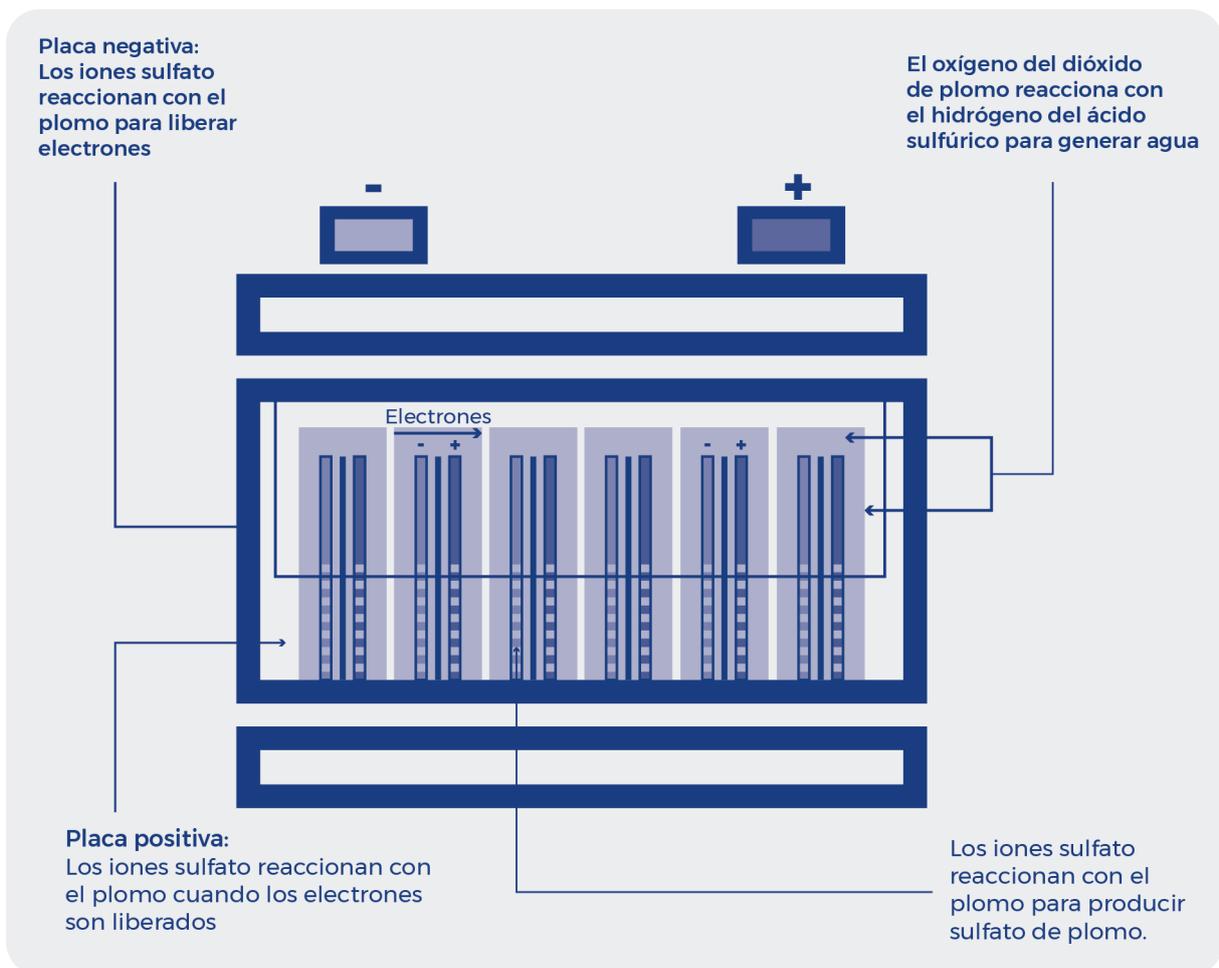
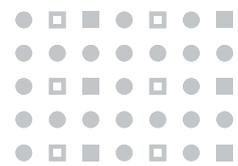


Figura 3 | Componentes y estructura interna de los acumuladores de ácido-plomo.

⁶ GTZ (2017). Guía técnica sobre manejo de baterías de plomo ácido usadas. Proyecto CONAMA / GTZ

⁷ Gestión de Residuos Peligrosos en Chile "Proyecto ResPel". Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8. <https://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/1090.%20Reciclaje%20de%20residuos%20industriales.%20Residuos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20y%20fangos%20de%20depuradora.pdf>



Una batería nueva se compone generalmente de:

- Recipiente o envase de polipropileno copolímero.
- Placas, las positivas de peróxido de plomo y las negativas de plomo puro esponjoso.
- Bornes y puntos de conexión de aleación plomo-antimonio.
- Separadores de polietileno y fibra.
- Electrolito compuesto por ácido sulfúrico diluido, que puede tener hasta una concentración máxima del 22%.⁸

1.2 Clasificación

Actualmente existe en el mercado una gran diversidad de pilas y baterías primarias y secundarias, en las cuales varía la naturaleza de sus componentes activos, su geometría y tamaño. Cada pila o batería tiene su propia combinación de materiales que determinan la capacidad, voltaje y vida útil. En el Anexo I se describen los diferentes tipos de pilas y baterías que se encuentran en el mercado en relación con su posibilidad de carga o por el tipo de electrodo.

⁸ Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8. <https://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/1090.%20Reciclaje%20de%20residuos%20industriales.%20Residuos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20y%20fangos%20de%20depuradora.pdf>

2

Marco Legal

2.1 Normativa Nacional

Constitución Nacional (CN)

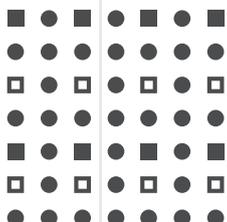
La reforma constitucional del año 1994 establece en su Artículo 41 el derecho a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano presente y futuro. En ese mismo artículo, la CN da forma al instrumento de “Leyes de Presupuestos Mínimos” que serán sancionadas por el gobierno nacional y complementadas por las provincias en sus jurisdicciones. Así, el gobierno nacional establece los preceptos de base y uniformes para cumplir con el derecho a un ambiente sano y asegurar la protección ambiental.

Ley N° 23.922 Aprobación del Convenio de Basilea sobre el Control de Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación (1991) y Decreto 662 (1991)

Esta Ley establece qué residuos son considerados peligrosos y pueden ser parte de un movimiento entre países (importación, exportación o tránsito). A su vez, determina cuáles serán los procedimientos a seguir en caso de que estos movimientos ocurran, previo acuerdo entre las partes. Por último, establece qué desechos es necesario controlar y cuáles requieren una consideración especial, así como las características que se consideran peligrosas. Entre los que necesitan control se encuentran los desechos que contengan compuestos de Cobre (Cr), Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb), componentes habituales de algunos tipos de pilas, baterías y acumuladores.

Ley N° 24.051 Residuos Peligrosos (1992) y Decreto 831 (1993)

Dicha ley define como residuo peligroso a “todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua o el ambiente en general”. También prohíbe la importación, introducción o transporte de todo tipo de residuos provenientes de otros países al territorio nacional, sus espacios aéreo y marítimo. A su vez, la ley especifica en sus anexos cuáles son los residuos que se consideran peligrosos y sus características. Las de pilas, baterías y acumuladores son considerados residuos peligrosos por poseer entre sus componentes: Cr, Zn, Cd, Hg, Pb, soluciones ácidas/básicas o ácidos/bases en forma sólida o disolventes orgánicos; así como por tener características de peligrosidad, tales como toxicidad, ecotoxicidad, corrosión u oxidación.



Establece también que la autoridad de aplicación nacional llevará y mantendrá actualizado un Registro Nacional de Generadores y Operadores de Residuos Peligrosos, en el que deberán inscribirse las personas físicas o jurídicas responsables de la generación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. En cuanto a las plantas de tratamiento y disposición final, la ley menciona que las plantas serán consideradas como tales cuando modifiquen las características del residuo eliminando sus propiedades nocivas, recuperando energía o materiales, obteniendo un residuo menos peligroso, susceptible de ser recuperado o más seguro para su transporte o disposición final.

Por tratarse de una ley de adhesión, las provincias pueden suscribirse de forma parcial o total o bien dictar sus propias leyes. A su vez, las provincias pueden tener su propio registro de operadores. La situación actual de cada provincia respecto a residuos peligrosos, entre ellos las de pilas, baterías y acumuladores, se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1 | Situación de cada provincia respecto a la Ley N° 24.051

PROVINCIA	NORMATIVA	REGISTRO PROVINCIAL DE OPERADORES	CIRCULACIÓN E INGRESO
Buenos Aires	Ley propia: 11.720/1996 Decreto: 806/1997	Sí	-
Catamarca	Ley de adhesión: 4.865/1995 Decreto: 473/2001	Sí	-
Chaco	Ley propia: 3.946/1993 Decreto: 578/2005	Sí	Se permite circulación en rutas específicas.
Chubut	Ley de adhesión: 3.742/1999 Decreto: 1.675/1993	Sí	Permite la circulación, siempre que cumpla con la ley 24.051 y se avise con al menos 10 días de antelación a la autoridad competente. No se permite instalación de plantas de tratamiento para residuos de otras jurisdicciones.
CABA	Ley propia: 2.214 Decreto: 2.020/2007	Sí	Prohibido.
Córdoba	Ley de adhesión: 8.973/2002 Decreto: 2.0149/2003	Sí	Con aviso a la autoridad competente al menos 10 días antes del transporte.
Corrientes	Ley de adhesión: 5.394/1999	-	-
Formosa	Ley de adhesión: 1.135/1994	-	-
Jujuy	Ley de adhesión: 5.011/1998	-	-
La Pampa	Ley de adhesión: 1.466/1993	-	-
La Rioja	Ley de adhesión: 6.215/1996	-	-
Mendoza	Ley de adhesión: 5.917/1992 Decreto: 2.625/1999	Sí	-

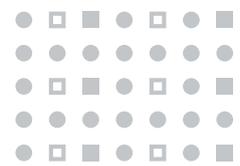
Misiones	Ley de adhesión: 3.664/2000	-	-
Neuquén	Ley propia: 1.875/1991; 2.267/1998 Decreto: 2.656/1999; 4.468/1998	Sí	Debe estar inscripto en el registro nacional.
Río Negro	Ley de adhesión: 3.250/1998 Decreto: 1.709/1998	Sí	Debe estar autorizado por la autoridad de aplicación.
Salta	Ley propia: 7.070 Cap. II y III. Decreto: 3097/2000 Arts. 185 a 199	Sí	Debe inscribirse el registro provincial según resolución 22/2012.
San Juan	Ley de adhesión: 6.665/1995 Decreto: 1.211/2007	Sí	Prohibido.
San Luis	Ley de adhesión: 5.042/1995 Decreto: 1.322/1996	Sí	Con autorización de la autoridad de aplicación.
Santa Cruz	Ley propia: 2.567/1000; 2.703/2004 Decreto: 712/2002	Sí	Prohibido.
Santa Fé	Ley propia: 11.717/2002 CAPÍTULO IX, Arts. 22 y 23 Decreto: 1.184/2002	Sí	Debe existir convenio entre las jurisdicciones
Santiago del Estero	Ley de adhesión: 6.080/1994	-	-
Tierra del Fuego	Ley propia: 105/1993; 958/2014; 119/2015.	Sí	Prohibido.
Tucuman	Ley de adhesión: 6.605/1994	Sí	-



Resolución N° 544 (1994)

Establece que los vendedores de acumuladores eléctricos están obligados a recibir el acumulador usado durante la operación de venta. Los pasos establecidos por la normativa para la gestión de este tipo de baterías son:

- **Recolección inicial y acopio transitorio:** los vendedores de acumuladores eléctricos en la operación de compra-venta están obligados a recibir el acumulador usado. Deberán contar con un registro en el que se asentará la identificación de los usuarios que han entregado los acumuladores en desuso. El tiempo máximo de almacenaje temporario contado desde la entrega del acumulador eléctrico usado por parte del usuario al minorista hasta la llegada a destino en la planta de tratamiento, será de diez días. Es importante que el sitio de acopio transitorio sea un lugar apropiado para el almacenamiento de las baterías ácido plomo usadas y que esté acondicionado de manera segura para minimizar los riesgos de derrames accidentales.



- Transporte: se debe realizar mediante un transportista habilitado. El circuito del manifiesto contemplado en la Ley N° 24.051 para este caso específico, se inicia en el transportista de los acumuladores eléctricos usados con destino a su reciclaje y su frecuencia será mensual.

Ley N° 25.612 Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios (2002) y Decreto 1342 (2002)

Establece los preceptos para gestión de residuos industriales y de servicios. Fue pensada para reemplazar a la Ley N° 24.051, pero el artículo que daba esta indicación no fue reglamentado, razón por lo que el reemplazo quedó sin efecto y rigen ambas normas (la Ley N° 25.916 en sus artículos reglamentados y la Ley N° 24.051 en toda su extensión). Tiene como objetivos minimizar los riesgos potenciales de los residuos en todas las etapas de la gestión integral; reducir la cantidad generada y promover la utilización y transferencia de tecnologías limpias. Por otro lado, determina que la responsabilidad sobre los residuos no es transmisible.

Ley N° 25.916 Presupuestos mínimos para la gestión integral de residuos domiciliarios (2004)

Entiende que los residuos domiciliarios son aquellos elementos, objetos o sustancias que, como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados y/o abandonados. Establece, entre otras cosas, las etapas que un sistema de gestión de residuos sólidos domiciliarios debe contemplar para ser considerado integral. Se destacan la generación, disposición inicial, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final. Determina que la responsabilidad sobre la gestión de estos residuos es de los gobiernos locales.

Ley N° 26.184 Energía portátil (2006)

Prohíbe en todo el territorio nacional, la fabricación, ensamblado, comercialización e importación de pilas y baterías primarias de carbón-Zn y alcalina de manganeso (Mn) con contenidos en peso mayores a: 0,0005% de Hg; 0,015% de Cd y 0,200% de Pb. A su vez, indica que las pilas y baterías deberán tener fecha de vencimiento, ser herméticas y cumplir con requisitos de duración mínima. El cumplimiento de estos aspectos es certificado por el INTI y otros organismos o instituciones habilitados por la autoridad de aplicación.

Esta ley fue impulsada por el INTI y también exige la realización de ensayos de rendimiento a los distintos tipos de pilas primarias que se importan, para asegurar la calidad de los productos.

Resolución N° 14 Certificación (2007)

Establece el procedimiento que los organismos certificadores deberán seguir para realizar su labor. A su vez detalla que deberán elaborar un sistema de seguimiento que garantice la efectividad y el cumplimiento de las condiciones de certificación de las pilas y baterías primarias o sus asimilados, en cualquier etapa del proceso de fabricación, ensamblado, importación o comercialización.

Resolución N° 443 Energía eléctrica portátil (2020)

Fija los lineamientos para la importación definitiva o temporal de las pilas y baterías primarias y de los aparatos o artículos que las contengan. Establece en su Anexo III el procedimiento para certificar estos productos. En este marco, crea el registro de nacional de entidades certificadoras de pilas y baterías, del cual el INTI forma parte.

En otro orden indica que para las pilas botón, el contenido en masa de mercurio de cada pila deberá ser inferior o igual al 2%. Esta resolución deroga las resoluciones 14 (2007), 484 (2007), 21 (2019) y 77 (2019).

Ley N° 27.356 Convenio de Minamata (2017), Decreto 344 (2017) y Resolución 71 (2019)

Por medio de dicha ley y su decreto reglamentario, la República Argentina aprueba y adhiere al Convenio de Minamata sobre el mercurio que tiene como objetivo reducir las emisiones y liberaciones antropogénicas de este metal y sus compuestos al ambiente. A su vez, a través de la Resolución N° 71 (2019) se establece que para las operaciones de importación o exportación de mercurio será necesario tramitar consentimiento ante la autoridad de aplicación nacional.

Resolución N° 75 Productos con mercurio añadido (2019)

Prohíbe la importación y exportación de productos con mercurio añadido, entre los que se encuentran las baterías, salvo pilas de botón de óxido de plata con un contenido de mercurio menor a 2% y pilas de botón zinc-aire con un contenido de mercurio menor a 2%. Queda así prohibida la fabricación, importación y exportación de pilas de óxido de mercurio.

Resolución N° 522-E/2016 Manejo sustentable de residuos especiales de generación universal (REGU) (2018)

Establece los objetivos, definiciones y lineamientos para el desarrollo de una estrategia nacional para el manejo sustentable de REGU, dentro de los cuales se encuentran las pilas y baterías. En este marco, menciona la jerarquía de opciones bajo la cual se deben priorizar las distintas etapas de la gestión de REGU, similar a la de la Ley N° 25.916: 1) prevenir; 2) reutilizar; 3) recuperar materiales, 4) recuperar energía; 5) tratamiento y 6) disposición final.



2.2 Normativas provinciales relacionadas con pilas y baterías

Chaco – Ley N° 6.797 (2011)

Crea el “Programa de recolección y almacenaje final de pilas usadas”. Detalla que se destinará un predio para su guarda y confinamiento.

Catamarca - Ley N° 5368 (2013)

Crea el “Programa de Recolección, Tratamiento y Disposición Final de Pilas y Baterías Agotadas”.

Chubut – Resolución N° 12 (2013)

Obliga a los vendedores de acumuladores eléctricos ácido plomo a recibir el acumulador usado en la operación de compra-venta. Este actor es quien debe registrar la operación consignando los siguientes datos: razón social, dirección, teléfono, fecha, cantidad y tipo de acumuladores entregados. El documento normativo brinda lineamientos mínimos sobre el sitio de almacenamiento transitorio de las baterías de ácido plomo usadas y prohíbe su disposición final en relleno de seguridad u otros sitios en tanto puedan reciclarse sus componentes.

Salta – Resolución N° 185 (2014)

Dispone que los vendedores de pilas, baterías y acumuladores eléctricos de plomo y ácido están obligados a recibir pilas, baterías y acumuladores usados de sus clientes durante la operación de venta. Los puntos de venta serán considerados como generadores y deberán cumplir lo determinado en la ley de residuos peligrosos para su transporte y tratamiento. Establece que en la operación de venta se deben registrar el número de unidades entregadas por cliente y su caracterización por tamaño, además de controlar que los acumuladores sean entregados con todos sus componentes líquidos y sólidos y que se deben mantener de esta misma forma en todo el circuito de almacenamiento y transporte. También da lineamientos sobre el sitio de almacenamiento transitorio de las baterías de ácido plomo usadas y prohíbe su disposición final en relleno sanitario o basural a cielo abierto.



Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Ley N° 5.991 (2018) y Decreto reglamentario N° 255 (2018)

Buscan garantizar la gestión ambiental de pilas, baterías y acumuladores en desuso, considerándolas como residuos sólidos urbanos de manejo especial. Esta normativa obliga a productores, importadores, distribuidores e intermediarios a hacerse cargo de la gestión en la etapa posconsumo de las pilas, baterías y acumuladores, cumpliendo con el principio de responsabilidad extendida del productor. Para ello estos actores deberán presentar un plan de gestión ambiental de pilas en desuso y financiarlo.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Resolución N° 49 (2019)

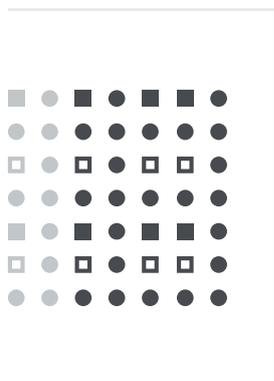
Aprueban el Plan de Gestión de Pilas en Desuso presentado por las trece firmas importadoras de mayor envergadura⁹. A través de este plan, con vigencia de 5 años, las firmas se comprometen a garantizar la gestión de pilas y baterías portátiles en desuso. Para ello establecieron 150 puntos de disposición inicial distribuidos en el territorio de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y una plataforma web informativa (www.rippilas.org) con el fin difundir a la comunidad sobre su ubicación y otros aspectos relacionados al plan.

Misiones - Decreto N° 1.889 (2007)

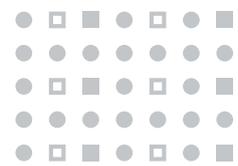
Aprueba el contrato de ampliación de servicios de concesión para que incluya el Sistema Integral de Gestión de Pilas Domésticas como obligación adicional de la Concesión para Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos y Patológicos de la provincia.

Misiones - Ley N° XVI-101 y Decreto N° 1.284 (2020)

Se instrumentan los mecanismos adecuados para la manipulación, transporte, tratamiento, reposición, retorno y disposición final de pilas y baterías dentro del marco del Plan Ambiental de Eliminación de Residuos Urbanos y Patológicos, que como Anexo I forma parte del presente instrumento legal. Este plan establece que los proveedores de pilas y baterías estarán obligados a asegurar e instalar puntos de disposición inicial a los que los consumidores podrán acceder para entregar sus pilas y baterías en desuso. Una vez colectadas, los proveedores deberán entregarlas al Sistema Integral de Gestión de Pilas Domésticas.



⁹ Goñi, A., García T., Alvarenga H. (2019). Plan de gestión integral de pilas, requerimiento Ley 5591 y Decreto 54-2019. IF-2019-34839730-GCABA-DGPOLEA



Los municipios, por su parte, deberán registrar a los proveedores establecidos en su jurisdicción y establecer un procedimiento de recolección de las pilas y baterías en desuso entregadas por los consumidores en estos puntos de recepción.

San Juan - Ley N° 2.169 (2020)

Se instituye el régimen para garantizar y regular la gestión ambiental de pilas y baterías en desuso, generadas por cualquier ente ya sea público, privado, gubernamental o no gubernamental, personas humanas y jurídicas. Considera a las pilas y baterías en desuso como residuos peligrosos y, por lo tanto, con características de gestión establecidas por la Ley N° 24.051. Quedan comprendidas dentro de esta ley las pilas primarias y secundarias de uso doméstico excluyendo baterías y acumuladores de plomo utilizadas en vehículos y otros equipos electromecánicos, y aquellas contenidas en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y otros equipamientos con funciones específicas.

Promueve la responsabilidad de productores, importadores, distribuidores, comercializadores, operadores y consumidores de pilas y baterías, así como el desarrollo de las mejores prácticas disponibles para la gestión de productos y materiales recuperados en su fin de vida útil. Para ello, fomenta convenios con organismos técnicos.

Instituye un sistema de trazabilidad para las pilas y baterías en desuso, para los centros de acopio transitorios denominados "punto de origen" con el objeto de asegurar su recolección selectiva, su acopio seguro y su reciclaje. Para ello se creará un registro de centros de acopio. Estos centros deberán contar con contenedores y espacios adecuados para este tipo de residuos. Una vez llenos, los responsables del centro deberán informar a la autoridad de aplicación para su retiro.



3

Balance de pilas y baterías

Nota: la información consignada en este apartado fue desarrollada y adaptada a partir de los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2021).¹⁰

Todos los productos provenientes de otros países y que ingresan a la Argentina se clasifican según la nomenclatura del Mercosur (NCM). Las pilas y baterías primarias y secundarias no están exentas de ello. A partir de esta nomenclatura se puede ingresar a los registros disponibles en el Sistema de Consulta de Comercio Exterior del INDEC y obtener los ingresos y egresos al país para cada uno de los tipos de pilas, baterías y acumuladores, así como sus residuos en unidad de peso. Se desconoce si estos registros incluyen a las pilas, baterías y acumuladores incorporados a otros productos (equipos, juguetes, otros). A partir de esta información publicada se calculó que, durante el período 2002-2020, ingresaron al país en promedio 37.160 t/año de estos insumos, mientras que sólo se exportaron 1.845 t/año, de las cuales 2,5 t/año correspondieron a residuos. Este promedio no es representativo debido a que los datos durante el período analizado son muy variables. Por ejemplo, existen años en donde los ingresos y egresos de algunos tipos de pilas, baterías y acumuladores son nulos, mientras que en otros superan las 1.000 t/año.

En cuanto a las pilas y baterías primarias, no hay prácticamente diferencias entre lo ingresado y el balance remanente en el país (calculado como la diferencia entre las importaciones y las exportaciones de cada año) (Figura 4). Esto quiere decir que la mayor parte de las pilas y baterías que ingresan al país permanecen en él y, una vez agotadas, son dispuestas como un residuo dentro del territorio nacional. El tipo de pila y batería primaria más abundante todos los años del período fue zinc dióxido de manganeso ($Zn-MnO_2$) (NCM 8506-10) con valores entre 1.591 t (2018) y 8.047 t (2007). Extrayendo del análisis este tipo de pilas y baterías primarias (Figura 5) las que le siguieron en abundancia fueron las de litio, con un notable aumento en los últimos años del período, llegando a un máximo de 248 t en 2017. Las demás pilas y baterías primarias presentan cantidades menores, siendo las menos abundantes las de óxido de Hg (HgO), en concordancia con lo establecido por la legislación vigente. Específicamente la cantidad máxima ingresada al país durante el período estudiado fue de 3 t en 2003, para continuar con valores menores o iguales a 1 t/año hasta 2013 cuando dejan de registrarse ingresos de este tipo de pilas y baterías primarias al país.

¹⁰ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/



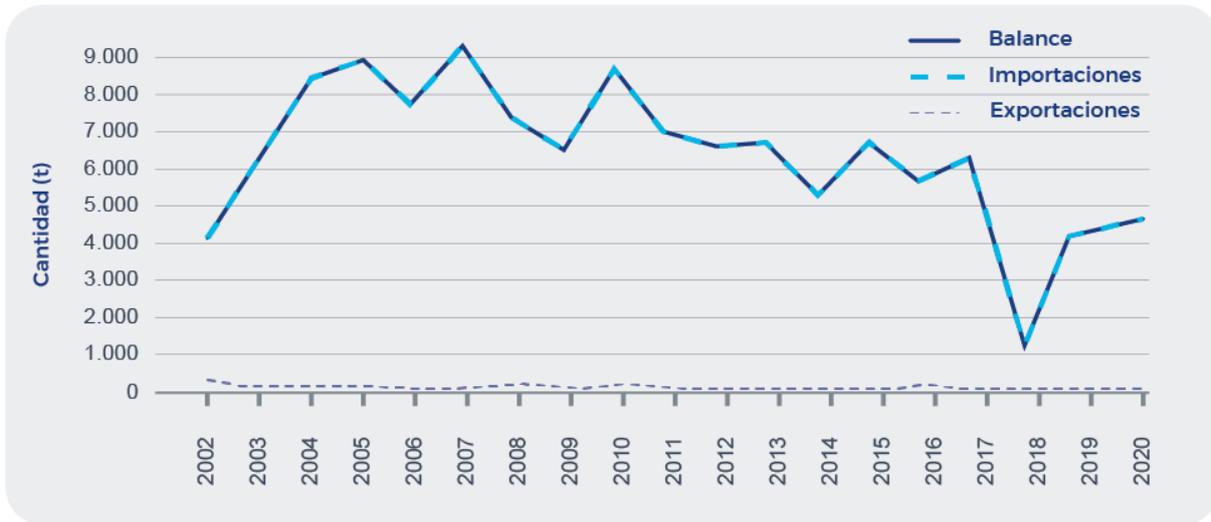
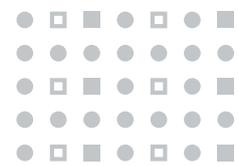


Figura 4 | Balance (Importaciones-Exportaciones) de pilas y baterías primarias en Argentina en 2002-2020. Elaboración propia en base a INDEC (2021).¹¹

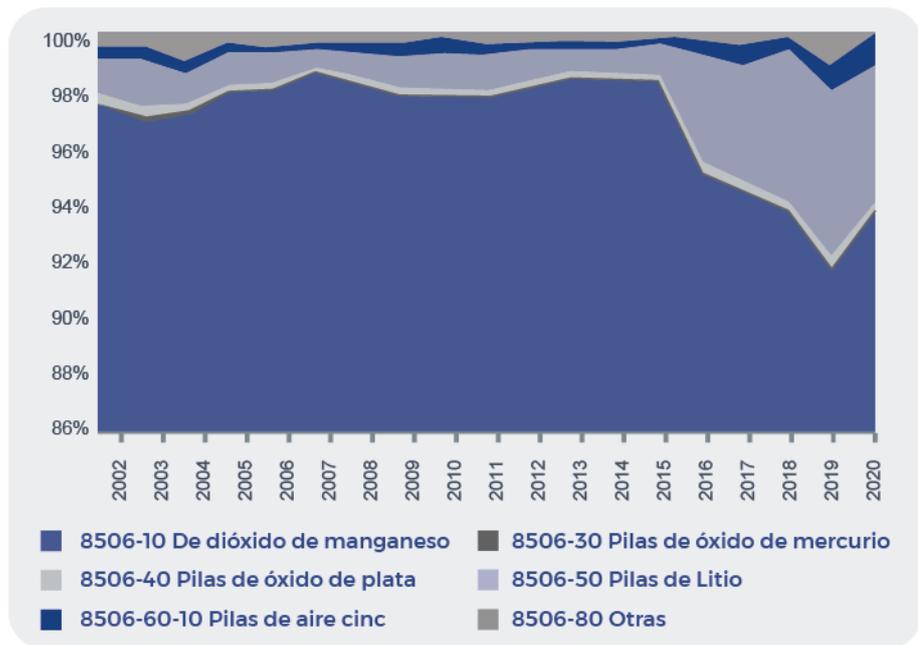


Figura 5 | Balance (Importaciones-Exportaciones) de pilas y baterías primarias por tipo, excluyendo las de dióxido de manganeso, en Argentina en 2002-2020. Elaboración propia en base a INDEC (2021)¹².

¹¹ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/

¹² INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/

Las pilas y baterías secundarias presentaron un mayor grado de exportación que las primarias (Figura 6). En 2002 un equivalente al 21% de las pilas y baterías secundarias que ingresaron al país fueron exportadas, ese porcentaje se redujo a la mitad los años siguientes, llegando a ser sólo un 1% en 2015 y se mantuvo de este modo los años subsiguientes (con excepción de 2019 que incrementó a un 2%). En cuanto al balance por tipo de pila y batería secundaria, las de “de plomo para arranque de motores” presentaron el mayor balance del período con un máximo de 25.816 t en 2013 y un mínimo de 6.174 t en 2002 (Figura 7). Les siguen en abundancia otros acumuladores de Pb, con un máximo de 9.808 t (2019) y un mínimo de 157 t (2002), las “partes de acumuladores”, “otros tipos de acumuladores” y “acumuladores eléctricos de litio-ión”. Los demás tipos de pilas y baterías secundarias presentan valores máximos anuales menores a trescientas toneladas anuales (Figura 6).

Por último, no se presentan ingresos al país de residuos de pilas y baterías, mientras que se realizaron exportaciones en algunos años puntuales: 2008-0,04 t; 2014-16 t. Los países receptores de estas pilas y baterías fueron Suecia, Francia y Bélgica, quienes implementan tecnologías para el tratamiento de este tipo de residuos.



Figura 6 | Balance (Importaciones-Exportaciones) de acumuladores eléctricos (pilas y baterías secundarias) en Argentina en 2002-2020. Elaboración propia en base a INDEC (2021)¹³.

¹³ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gov.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/

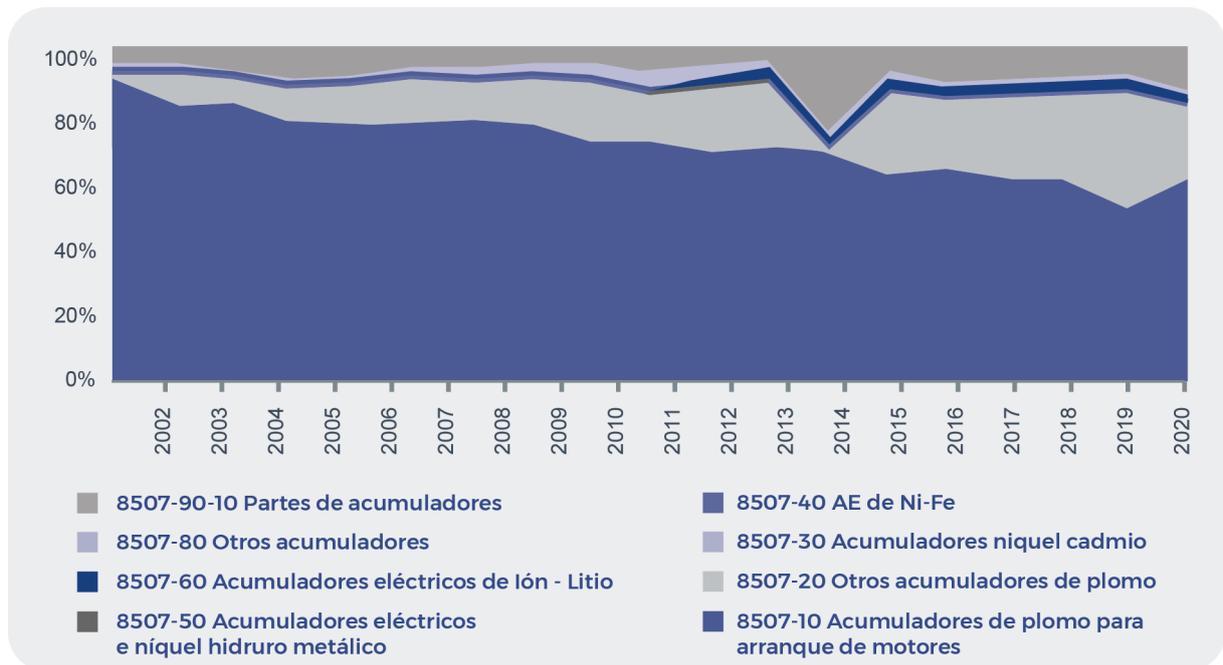
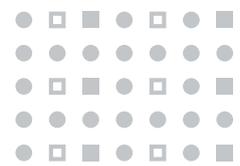


Figura 7 | Balance (Importaciones-Exportaciones) de acumuladores eléctricos (pilas y baterías secundarias) según tipo en Argentina en período 2002-2020. Elaboración propia en base a INDEC (2021).¹⁴

4

Toxicología y peligrosidad

La peligrosidad de las pilas, baterías y acumuladores está dada por la toxicidad y concentración de sus componentes y la liberación de éstos al ambiente. Cada tipo de pila y batería tiene al menos dos metales presentes en dos formas químicas diferentes, como metales puros y como óxidos para permitir las hemirreacciones de óxido-reducción. La liberación de estos metales al ambiente, su interacción con él y la concentración en que se encuentren determinarán, entre otros factores, sus efectos toxicológicos.

*La toxicología es el estudio de las interacciones dañinas entre sistemas químicos, físicos o biológicos.*¹⁵

¹⁴ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/

¹⁵ Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (2021). Glosario del sistema de información integrado sobre riesgos. https://sor.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/search.do

4.1 Toxicología

No todas las pilas, baterías y acumuladores tienen los mismos elementos potencialmente tóxicos (EPT) y no todos ellos tienen la misma toxicidad, por lo tanto, no todas las pilas y baterías pueden recuperarse con la misma tecnología ni son igual de dañinas para el ambiente. También, difieren en la masividad con la que son usadas y el tiempo en que son consumidas. En base al detalle de la sección anterior, en Argentina se destaca el comercio de cuatro tipos de pilas y baterías primarias compuestas por los siguientes minerales: zinc-dióxido de manganeso alcalinas, zinc-dióxido de manganeso no alcalinas, zinc-aire y zinc-óxido de plata. En nuestro país, entre las pilas y baterías primarias, las más comunes son las alcalinas (97,5%) (INDEC, 2021)¹⁶. Las pilas y baterías secundarias se distinguen de las primarias por su contenido de grafito y metales como litio (Li), níquel (Ni) y cadmio (Cd). En Argentina desde el 2008 a la actualidad, las pilas y baterías secundarias representan entre el 80 y el 88 % del mercado¹⁷.

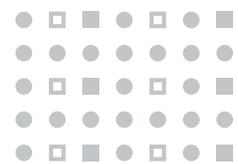
Además de la cantidad de elementos potencialmente tóxicos dentro de cada pila o batería, es importante tener en cuenta cuántas de ellas efectivamente llegan a disponerse. Según el informe realizado por De Luca y Giorgi en 2015, en el país, las pilas y baterías representan en promedio el 0,002%¹⁸ de los residuos sólidos urbanos, con una participación máxima de 0,02. En ese mismo estudio se determinó que se generan diariamente 44.624 t de residuos sólidos urbanos, lo que implica unas 16.287.760 t/año. Esto redundaría en una generación de pilas y baterías en desuso de 89 t/día o 32.575 t/año. Si se compara esta generación con las de otros residuos domiciliarios, como por ejemplo los orgánicos, los plásticos, papeles y cartones, la cantidad de pilas y baterías en desuso que se envían a disposición final resulta baja.

La capacidad contaminante de las pilas y baterías es un tema controvertido. Por un lado, no son un elemento contaminante durante su vida útil, por esto y por el uso doméstico que tienen, es que se discute su clasificación como residuos peligrosos y se propone categorizarlas como residuos especiales de generación universal. Por otro lado, sin embargo, cuando las pilas y baterías se descartan y están en contacto con los líquidos presentes en los residuos, los materiales de su cubierta pueden deteriorarse. Esto podría liberar al ambiente elementos que sufren distintas reacciones químicas dependiendo de la composición del líqui-

¹⁶ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/

¹⁷ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/

¹⁸ De Luca y Giorgi (2015). Estudio de estrategia y factibilidad de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) para la República Argentina. Cámara Argentina de la Construcción.



do disolvente, potencial hidrógeno (pH), potencial redox y otras características del ambiente en el que se producen las reacciones. En el siguiente apartado se detallarán los efectos toxicológicos de los elementos principales que componen las pilas y baterías.

4.2 Toxicidad de los principales elementos que componen las pilas y baterías

El Plomo (Pb) es una sustancia tóxica que se acumula en el organismo afectando a diversos sistemas, con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad. Se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos, depositándose en estos últimos y en los dientes, donde se acumula paulatinamente con el paso del tiempo. Las principales vías de exposición al plomo son la inhalación de partículas generadas por la combustión de materiales que contienen este metal (por ejemplo, durante actividades de fundición o reciclaje) o la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados con plomo. No existe un nivel de exposición al plomo (Pb) que pueda considerarse seguro¹⁹.

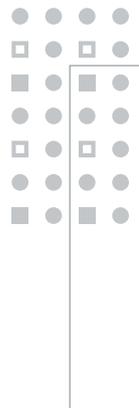
El **litio (Li)** en pequeñas dosis es utilizado como medicación de algunas afecciones neurológicas. Sin embargo, en altas concentraciones, puede tener efectos adversos sobre los riñones, las glándulas tiroideas y paratiroides. En algunos pacientes ha llegado a producir hipotiroidismo e hiperparatiroidismo, así como insuficiencia renal en algunos casos²⁰. Es importante destacar que toda la información encontrada sobre las afecciones debidas al litio es por su uso como medicamento y no por la presencia de este metal en el ambiente. A pesar de ello, es importante tenerlas en cuenta debido al creciente uso de esta sustancia en nuevas y diversas aplicaciones.

Estudios epidemiológicos sugieren que la exposición laboral y ambiental al **cadmio (Cd)** tiene efectos carcinogénicos y es un factor de riesgo para la osteoporosis. El hígado y los riñones son los órganos más afectados por este metal. La exposición a esta sustancia ocurre principalmente a través de la ingesta de agua o alimentos contaminados, así como a través de la inhalación y fumar cigarrillos²¹.

¹⁹ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) (2021). Intoxicación por plomo. <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

²⁰ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) (2010). Tratamiento farmacológico de los trastornos mentales en la atención primaria de salud. OMS. Washington, D.C.

²¹ Genchi G., Sinicopri M. S., Lauria G., Carocci A. y Catalano A (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(11), 3782; <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>



El contacto con **níquel (Ni)** puede causar varios efectos secundarios sobre la salud humana, como alergias, enfermedades cardiovasculares y renales, fibrosis pulmonar, cáncer de pulmón y nariz²². La agencia internacional Agency for Research on Cancer (IARC) concluyó que la inhalación de compuestos de **níquel (Ni)** es cancerígena para el ser humano y que el **níquel (Ni)** metálico es posiblemente cancerígeno²³. Sin embargo, no hay pruebas sobre el riesgo de carcinogénesis derivado de la exposición al Ni por vía oral²⁴.

El **mercurio (Hg)** es un elemento que está presente de forma natural en el aire, el agua y los suelos. La exposición al mercurio (Hg) (incluso a pequeñas cantidades) puede causar graves problemas de salud. Es tóxico para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, riñones y ojos. Para la Organización Mundial para la Salud, el mercurio (Hg) es uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública²⁵. Es un metal pesado y por lo tanto se bio-acumula en el organismo.

El **Cromo (Cr)** en bajas concentraciones es usado con propósitos médicos y está involucrado en nuestro metabolismo natural de lípidos y proteínas. Sin embargo, en concentraciones suficientemente altas y, dependiendo de su estado de oxidación (y por lo tanto del medio en el cual se encuentre), es tóxico y carcinogénico²⁶. El cromo trivalente (Cr^{+3}) no presenta riesgo, mientras que la inhalación, aún en bajas dosis, de cromo hexavalente (Cr^{+6}) es carcinogénica²⁷. Su acción sobre la piel, mucosas oculares y nasofaríngeas provoca efectos irritativos crónicos intensos ante su contacto prolongado. Es posible que cause conjuntivitis con lagrimeo y dolor, dermatitis del tipo eccematoso con úlceras características poco dolorosas o sintomáticas o de localización en dedos, manos y antebrazos²⁸.

22 Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M. S. y Catalano A. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int J Environ Res Public Health* 17(3): 679. doi: 10.3390/ijerph17030679

23 International Agency for Research on Cancer (IARC) (2012). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, World Health Organization, France.

24 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. Guías para la calidad del agua potable, tercera edición, OMS, Suiza, 2016.

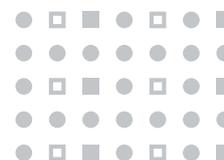
25 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) (2021). El mercurio y la salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>.

26 Achmad R. T. y Auerkari E. I. (2017). Effects of Chromium on Human Body. *Annual Research & Review in Biology*, 1-8. DOI: 10.9734/ARRB/2017/33462

27 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. Guías de calidad para el agua de consumo humano, cuarta edición, OMS, Ginebra, 2011.

28 Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR) (2012). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf.





4.3 Componentes potencialmente tóxicos en pilas y baterías

Según el tipo de pila o batería de la que se trate, su composición y contenido de elementos potencialmente tóxicos será diferente. Un ejemplo para pilas primarias es el de las llamadas “pilas comunes” que contienen carbono y zinc en concentraciones aproximadamente del 8% de carbono y 16% de zinc. Además, contienen otros metales y electrolitos disueltos en agua, papel y plástico como componentes (Tabla 2). La composición de otras pilas y baterías primarias puede verse en la tabla 2. En cuanto a las pilas y baterías secundarias (Tabla 3), el sistema níquel-cadmio (NiCd) es considerado de los más peligrosos para la disposición²⁹, aunque en Argentina representa menos del 1% del mercado de pilas y baterías secundarias (INDEC, 2021)³⁰. Su peligrosidad ha llevado a buscar otras tecnologías. El sistema Níquel Metal Hidruro (NiMH) es menos contaminante y podría reemplazar al níquel-cadmio (NiCd) en cuanto a sus aplicaciones, a pesar de ser más costosas en su fabricación. A partir de la década de 1990 una nueva tecnología, la litio-ion, fue puesta en el mercado. Esta tecnología posee menor toxicidad, debido a que el Li es menos tóxico que el Ni y el Cd. Sin embargo, este tipo de pilas y baterías secundarias tienen riesgo de ignición, debiendo procurar una disposición inicial, acopio y disposición final en las cuales los contactos no sufran de rozamiento ni conducción eléctrica entre sí³¹. La composición de las baterías litio-ion es variada, debido a su gran amplitud de aplicaciones y usos (Tabla 3). Por su menor toxicidad, las baterías de níquel hidruro metálico (NiMH) y litio-ion tienen mayor aceptación y han reemplazado a las pilas y baterías de níquel-cadmio (NiCd) en la mayoría de sus aplicaciones.



29 Bernardes A.M., Espinosa D.C.R., Tenório J.A.S. (2004). Recycling of batteries: a review of current processes and technologies, *Journal of Power Sources* 130:291-298. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.026>

30 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC (2021). Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/

31 Bernardes A.M., Espinosa D.C.R., Tenório J.A.S. (2004). Recycling of batteries: a review of current processes and technologies, *Journal of Power Sources* 130:291-298. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.026>

Tabla 2 | Composición porcentual en peso de pilas primarias³².

Tipo de pila	Zn	MnO ₂	Hg	Ag	C	Fe	Li	Ni	Cd	Pb	KOH / NaOH	Papel + Plástico	Agua (H ₂ O)
Zinc / C (Lenclanché)	18- 20	28	<0,01	-	8	16	-	-	0,01-	0,05	-	9	10
Zn/MnO₂ (Alcalina)	13- 15	23	<0,025	-	3	35- 37	-	-	< 0,025	0,05	5	4	8
Mercurio	10- 11	-	30	-	4	40	-	-	-	-	7	5	3
Óxido de plata	10- 11	-	<1	28- 30	-	40- 45	-	-	-	-	8	5	3
Zinc / Aire	30	-	1	-	Auto	45	-	-	-	-	5	5	3
Litio	-	25	-	-	-	50- 60	2	-	-	-	-	5	-
Níquel/Cobalto (Ni/Co) (Cerrada)	-	-	-	-	-	20- 25	-	13- 15	-	10	32	20	-
Plomo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65	-	10-20	12-15
Verde (Lenclanché)	18- 20	28	< 0,0001	-	8	16	-	-	< 0,0015	¿?	-	9	10

³² Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8. <https://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/1090.%20Reciclaje%20de%20residuos%20industriales.%20Residuos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20y%20fangos%20de%20depuradora.pdf>

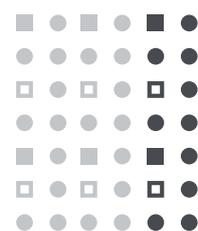




Tabla 3 | Composición porcentual en peso de pilas secundarias.

Tipo de pila	Ni/Cd ³⁴	NiMH ³⁵	LiNi _x Co _y Mn _z O ₂ ³⁶	LiCoO ₂ ³⁷	LiNiMnCoO ₂ ³⁸	Ácido-Plomo para automoción ³⁹
Ag				4,1-14		
Al			10,82		22,72	
C						
Co		8-10	14,88	5-29,49	8,45	
Cd	17,6					
Cu			0,05	7,1-24,5	16,9	
Fe	31,6	25			8,79	0,5
Hg						
Li			5,75	2-14,5	1,28	
Mn			16,96		5,86	
MnO ₂						
Ni	20,4	36-42	21,87	0,02-10	14,84	
Pb						0,39
Zn						
Pasta						34
Otros metales	2,6	8-10				
Ácido Sulfúrico						11
Plástico, vidrio y otros						12,5

33 Huang K., Li J. and Xu Z. (2010). Characterization and recycling of cadmium from waste nickel-cadmium batteries. Waste Management 30(11):2292-2298. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.010>

34 Assefi M., Maroufi S., Yamauchi Y. y Sahajwalla V. (2020). Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and Ni-MH batteries: A minireview. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 24:26-31. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.01.005>

35 Assefi M., Maroufi S., Yamauchi Y. y Sahajwalla V. (2020). Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and Ni-MH batteries: A minireview. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 24:26-31. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.01.005>

36 Assefi M., Maroufi S., Yamauchi Y. y Sahajwalla V. (2020). Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and Ni-MH batteries: A minireview. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 24:26-31. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.01.005>

37 Assefi M., Maroufi S., Yamauchi Y. y Sahajwalla V. (2020). Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and Ni-MH batteries: A minireview. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 24:26-31. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.01.005>

38 Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8.



5

Gestión de pilas y baterías en desuso

Las etapas de gestión de materiales al fin de su vida útil (residuos) varían según lo establecido por cada país y, en el caso de Argentina por ser un país federal, según lo establecido por cada gobierno local. Sin embargo, pueden establecerse algunas etapas centrales que se incluyen en la mayoría de los sistemas de gestión: sensibilización, reducción de la generación, disposición inicial, recolección, clasificación y acondicionamiento, almacenamiento, tratamiento-valorización y disposición final. Todas las etapas de gestión deben estar relacionadas entre sí y adaptadas a los recursos y características locales, de forma que los residuos de pilas y baterías puedan seguir un recorrido trazable durante todo el proceso. A su vez, la gestión de pilas y baterías en desuso, al igual que los demás residuos, debe siempre considerar la jerarquía de gestión de los residuos: reducir, reutilizar, reciclar, recuperar energía y disponer de manera controlada (Figura 8).

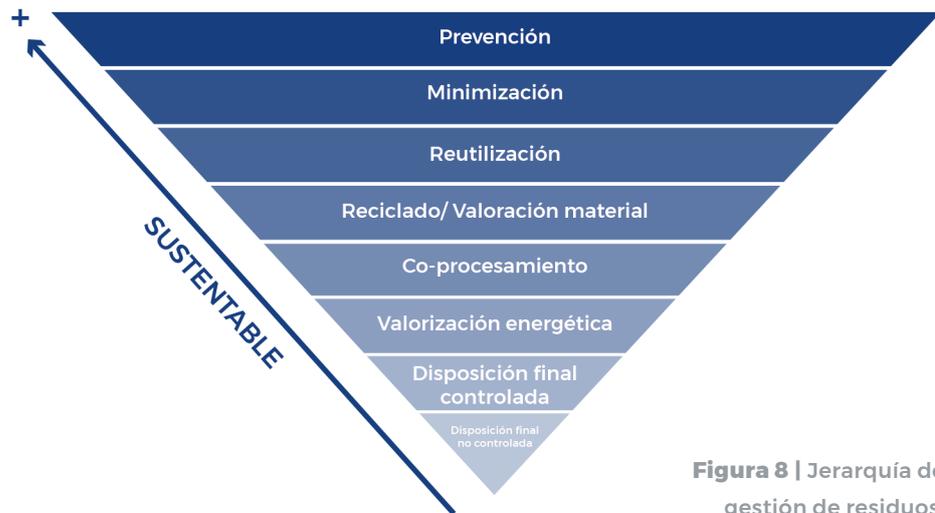
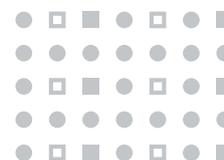


Figura 8 | Jerarquía de gestión de residuos.

No existen recetas únicas para lograr una gestión adecuada, si no que ésta debe planificarse en base a la información, tecnología y recursos disponibles en cada caso. Algunas preguntas que son importantes de responder a la hora de planificar un sistema de gestión son: ¿Cuántos residuos de pilas y baterías se generan? ¿De qué tipos? ¿Quiénes los generan? ¿En dónde están ubicados los generadores principales? ¿Y los puntos de recepción? ¿Y los tratadores o sitios de disposición final habilitados? ¿Cómo es el sistema de gestión actual? ¿Existe normativa vigente? ¿Por qué el sistema actual de gestión no funciona o lo hace con poca eficiencia?, entre otras. Todas estas preguntas se enmarcan en la lógica de análisis de problemas denominada 5W + 2H -por las iniciales en inglés- (Figura 9), que suele ser útil para pensar sistemas de gestión.



5.1 Sensibilización

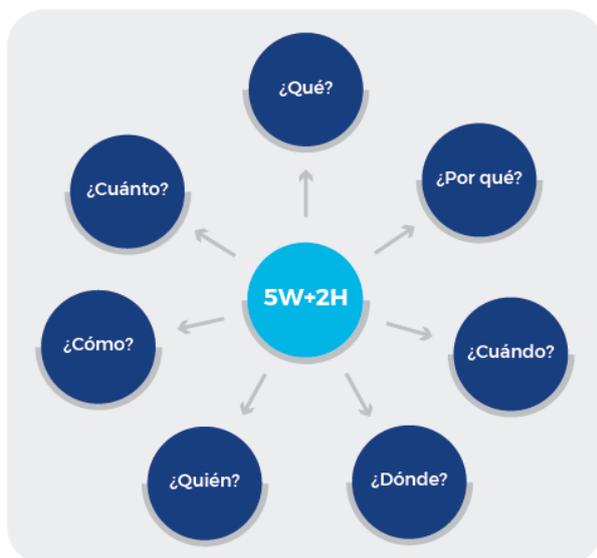


Figura 9 | Esquema de análisis de problemas 5W+2H.

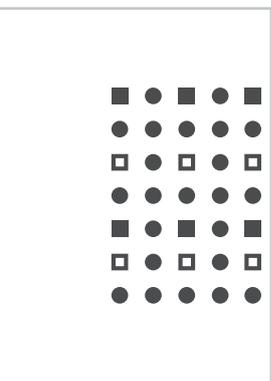
Esta etapa tiene como objetivo principal informar, sensibilizar, concientizar y comprometer a la comunidad para lograr la reducción en el consumo y la participación para la reducción de la generación, el aumento de la reutilización y valorización. Los procesos involucrados en la valorización necesitan que los usuarios formen parte activamente del proceso de gestión, a través de la separación en origen de los residuos, su acondicionamiento y el traslado de los materiales a puntos de disposición inicial. Las campañas de sensibilización deben ser continuas y, en todo momento, estar alineadas al plan de gestión planificado e implementado. En este marco, no es recomendable iniciar programas o campañas de sensibilización de la comunidad sin tener planificadas previamente todas las etapas subsiguientes del sistema de gestión.

5.2 Reducción de la generación

La reducción de la generación es un eslabón esencial de cualquier jerarquía de gestión de residuos, ya que no hay mejor residuo que aquel que no se genera. Esta disminución puede darse, por prevenir o evitar la producción, consumo y uso de artefactos que requieran de pilas y baterías para su funcionamiento. Por ejemplo, promoviendo productos diseñados para ser utilizados con conexión eléctrica u otra fuente de energía. Para aquellos productos en los que el uso de unidades de almacenamiento sea necesario, siempre es preferible minimizar la generación de residuos a través del uso de pilas y baterías recargables (secundarias) en lugar de las de un solo uso.

5.3 Disposición inicial

Una vez agotadas las capacidades de uso de las pilas y baterías, el usuario debe descartarlas y disponerlas de forma segura. Para ello, deben contar con sitios diseñados para la disposición inicial y acopio de pilas y baterías en desuso. En este sentido, los grandes comercios vendedores de pilas y baterías son buenos puntos de disposición inicial, como también los puntos verdes u otros relacionados con el sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos promovido por el gobierno local. Se desaconseja el acopio en instituciones educativas y cualquier otro sitio que no cuente con las medidas de seguridad necesarias para su acumulación y manipulación.

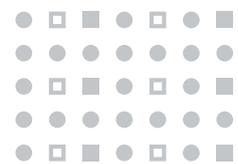


Descartar las pilas de forma segura implica aislar sus contactos (con cinta aisladora, por ejemplo) para evitar que hagan corto circuito y generen chispas que puedan comenzar un incendio. Este procedimiento debería ser conocido por los usuarios de pilas y baterías, ya sean primarias o secundarias, para proceder adecuadamente a la hora de descartarlas. De no ser así, quienes realicen la recepción de las pilas y baterías en los puntos de disposición inicial, deberían realizar el aislamiento de los contactos. Es por esto que, para realizar una gestión eficiente, es insoslayable la participación de toda la sociedad. En consecuencia, la primera etapa de cualquier gestión integral de residuos consiste en la sensibilización de la comunidad respecto a su rol en el sistema de gestión.

Es de suma importancia que los usuarios tengan en claro que no se recomienda el almacenamiento provisorio de pilas y baterías en botellas o bidones plásticos sin ningún acondicionamiento ni control. Esta práctica, que era común años atrás, puede ocasionar accidentes, como incendios. Por esta razón, las autoridades competentes deben comunicar constantemente cuáles son los puntos habilitados que cumplen normas de seguridad para recibir las pilas y baterías en desuso, más allá de los períodos de campañas de recolección.

5.4 Recolección

Los puntos destinados a la disposición inicial de pilas y baterías de forma segura deben estar integrados a una logística de recolección diferenciada. La frecuencia de recolección dependerá de las tasas de generación y disposición inicial, así como de las medidas de seguridad disponibles en cada punto, entre otros aspectos. Esta logística puede estar a cargo del gobierno local, de una empresa de recolección autorizada o bien de la empresa tratadora. El camino que recorren las pilas y baterías desde su disposición inicial debe ser claro y acordado por todos los actores involucrados en la gestión, de forma que pueda asegurarse la trazabilidad de este residuo. Acorde a la legislación vigente, tanto transportistas como tratadores de residuos de pilas y baterías, deben estar registrados y habilitados por la autoridad de aplicación para realizar estas actividades.



5.5 Clasificación, acondicionamiento, almacenamiento y valorización



Una vez que las pilas y baterías son recolectadas se procede a su acondicionamiento y tratamiento. Para ello deben existir empresas habilitadas para tal fin por la autoridad de aplicación provincial o nacional. En Argentina, no existen actualmente tratamientos a gran escala. Aquellas pilas que son separadas en origen y recolectadas de manera diferenciada tienen dos destinos: por un lado, en ciertas ocasiones, se han exportado para ser tratadas en el exterior, y en otras oportunidades, su destino es el relleno de seguridad. Sin embargo, se conocen diversos proyectos a escala de laboratorio para desarrollar procesos eficaces que permitan la recuperación de los compuestos de interés presentes en estos residuos (ver recuadro DESARROLLOS NACIONALES). En esta sección se detallan los tratamientos potenciales, que son implementados en el mundo, para esta corriente de residuos.

DESARROLLOS NACIONALES

En Argentina se han desarrollado algunos trabajos a escala piloto en pos de mejorar y hacer más sustentables los procesos de tratamiento y valorización de los materiales que componen las pilas y baterías. Sin embargo, estas tecnologías aún no han logrado alcanzar una escala comercial. A la hora de seleccionar una tecnología es importante tener en cuenta varios factores, entre ellos, cuál será la disponibilidad de materiales a valorizar. En este sentido, el apartado “Balance de pilas y baterías” ilustra cuáles son las pilas y baterías que presentan un mayor ingreso al país y uso, por lo que los desarrollos deberían enfocarse primeramente en ellas (ej. pilas y baterías de litio y de plomo ácido). Por otro lado, una vez comprobada la factibilidad de la tecnología de tratamiento en escala piloto, para llevarla a escala industrial, se debe contar con el financiamiento necesario y un sistema de gestión que asegure la provisión de materiales a recuperar de manera uniforme en el tiempo. Estos factores hacen que encontrar tratamientos a escala local tenga sus limitaciones en la práctica a gran escala.



Por un lado, la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo) se encuentra trabajando en el desarrollo de plantas piloto de tratamiento de Pilas y baterías de Li³⁹ 40 así como en mejorar los procesos existentes para la recuperación de cobalto y litio de este tipo de pilas y baterías y lograr purezas mayores al

39 Gobierno de Godoy Cruz, Mendoza, (1 de julio de 2016). Godoy Cruz y la UNCuyo trabajarán en conjunto para construir una planta procesamiento de baterías. <https://www.godoycruz.gob.ar/sitio2/?p=29853>

40 Conte S. (16 de marzo de 2018). Godoy Cruz tendrá una planta de procesamiento de pilas y baterías. Diario Los Andes. <https://losandes.com.ar/article/view?slug=godoy-cruz-tendra-una-planta-de-procesamiento-de-pilas-y-baterias>.

94%⁴¹. Por otro lado, la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), desde los centros CINDECA, CICIPBA y Plapimu-Laseisic, estableció un proceso para reutilizar los óxidos y metales recuperados de pilas y baterías alcalinas por vías biohidrometalúrgicas, recuperando el 28% del Mn y el 95% del Zn⁴². Por último, investigadores de la Facultad Regional Avellaneda, de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), realizaron una propuesta de planta piloto para el tratamiento de pilas y baterías en el país. Los autores destacan que la tecnología propuesta permite extraer materiales de las pilas y baterías con valor de mercado. Sin embargo, las percepciones económicas debidas sólo a las ventas de estos elementos son inferiores a los costos de operación de la planta, por lo que es necesario contar con ingresos complementarios. Entre las alternativas propuestas se destacan el cobro de tasas a generadores y usuarios de los productos (acciones relacionadas con la estrategia de REP) o el pago de subvenciones por parte del Estado⁴³. De allí la importancia de contar con sistemas de gestión integral para pilas y baterías que hagan sustentable su tratamiento.

5.5.1 Pretratamiento o tratamiento mecánico

5.5.1.1 Clasificación

Ningún proceso de reciclado puede tratar todos los tipos de pilas y baterías, por lo tanto, la clasificación es crucial para mantener la calidad de los productos de salida. Para lograr una mayor eficiencia en los tratamientos posteriores es conveniente acondicionar las pilas y baterías usadas/agotadas mediante su separación manual o automatizada, diferenciando las pilas por tipo y tamaño⁴⁴. La clasificación física permite la separación o aislación para la reutilización o para su tratamiento adecuado o disposición final. Por este motivo, un primer paso podría ser tamizar las pilas, para separarlas por tamaño y forma. En un segundo paso puede realizarse su clasificación manual, realizada por los operarios de la planta de clasificación, o automática, en la cual se utilizan sistemas magnéticos y ópticos que tienen en cuenta las diferentes propiedades químicas asociadas a las pilas. En la Figura 10 puede apreciarse un esquema básico de clasificación.

⁴¹ Suarez D., Pinna E., Rosales G. y Rodríguez M. (2017). Synthesis of Lithium Fluoride from Spent Lithium Ion Batteries. *Minerals*, 7(5):81. <https://doi.org/10.3390/min7050081>

⁴² Gallegos M.V., Peluso M.A. y Sambeth J.E. (2018). *The Minerals, Metals & Materials Society*.

⁴³ Lencina G., Lahorca R., Alf M., Gauna, A. (2012). *Ciencia*, 7, 25.

⁴⁴ INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL, INTI. Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina. 1a. Edic., Instituto Nacional de Tecnología Industrial. INTI, Buenos Aires, 2016.

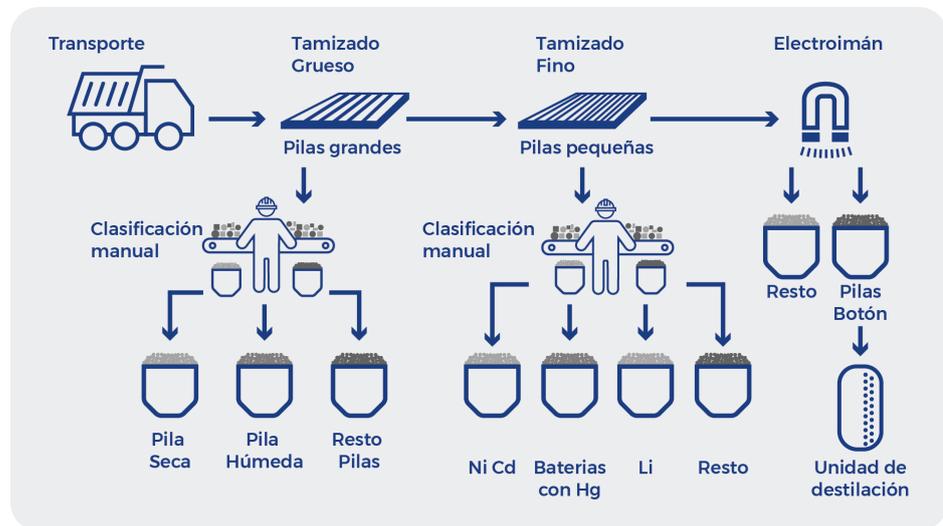
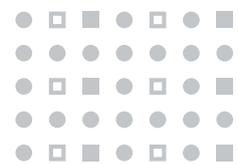


Figura 10 | Clasificación⁴⁵

5.5.1.2 Separación de componentes

Una vez clasificadas las pilas, se procede a la separación de sus componentes. Para ello, es necesario realizar un desmantelamiento, triturado y molido de las pilas según su tipo. La fracción gruesa a separar está compuesta por láminas de diversos materiales, plásticos y metales ferrosos y no ferrosos mientras que la fracción fina (básicamente polvo de pilas) es la que contiene los metales a recuperar⁴⁶. Para la separación de la fracción fina de la gruesa, se emplea el tamizado. Dentro de los procesos para tratar la fracción gruesa, se encuentra la separación magnética (separación de metales ferrosos y no ferrosos), la separación electrodinámica (separación de metales ferrosos, no ferrosos y no metales) y la separación electrostática (tiene en cuenta la conductividad eléctrica de los materiales), es decir, los procesos de separación aprovechan las distintas propiedades físicas de cada componente.

La Figura 11 resume la secuencia de pasos a seguir en el pretratamiento de las pilas y baterías.

⁴⁵ Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8.

⁴⁶ INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL, INTI. Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina. 1a. Edic., Instituto Nacional de Tecnología Industrial. INTI, Buenos Aires, 2016.

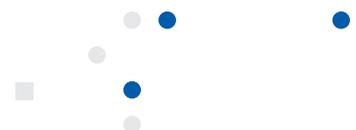




Figura 11 | Diagrama de flujo para el pretratamiento de pilas y baterías.

5.5.1.3 Recuperación de metales⁴⁷

Una vez que los materiales que componen las pilas fueron separados se procede a su recuperación. El tipo de tratamiento seleccionado dependerá, por un lado, de la composición de la pila y, por otro, de la disponibilidad técnica, presupuestaria y de espacio. Para la recuperación de los metales contenidos en pilas y baterías en general, se distinguen dos métodos principales: la pirometalurgia y la hidrometalurgia.

5.5.1.3.1 Pirometalurgia ^{48 49}

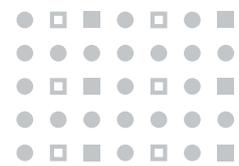
Es el tratamiento térmico de minerales, menas y concentrados que provoca transformaciones físicas y químicas en los materiales permitiendo la recuperación de metales de valor económico. Los procesos pirometalúrgicos creados específicamente para reciclar baterías incluyen diferentes técnicas que tienen un elevado requerimiento energético, ya que requieren fundir los metales presentes en las pilas y baterías, que previamente fueron separados. Sin embargo, el consumo de energía en la recuperación de los metales de las pilas es más bajo que en la producción

primaria de estos al no generarse residuos de minería y encontrarse los metales en altas concentraciones. Como ventaja este tipo de tratamientos presenta su capacidad de obtener metales con alto nivel de pureza sin la necesidad de utilizar otros compuestos químicos en concentraciones elevadas, como ocurre en la hidrometalurgia. En la Figura 12 puede apreciarse un esquema de reciclado por pirometalurgia para tres tipos de baterías secundarias. En estos procesos se generan emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos que deberán ser gestionados, para evitar o minimizar los riesgos ambientales asociados.

⁴⁷ Castañeda Bocanegra J.J. (2015). Evaluación de los métodos de hidrometalurgia, pirometalurgia y estabilización solidificación en el tratamiento de lodos procedentes de plantas de aguas residuales de procesos de cromado, tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

⁴⁸ Ekberg C., Petranikova M. (2018). Recycling of Spent Batteries, Chalmers University of Technology, Sweden.

⁴⁹ Assefi M., Maroufi S., Yamauchi Y. y Sahajwalla V. (2020). Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and Ni-MH batteries: A minireview. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 24:26-31. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.01.005>



Es importante tener en cuenta la necesidad de captar eficazmente todas las emisiones en las zonas de generación, mediante la instalación de campanas de captación, para su posterior tratamiento. Para el sistema de tratamiento de gases, se requiere gestionar los residuos y efluentes líquidos generados. Por ejemplo, se requiere adecuar, previo a su vuelco o reúso, los efluentes provenientes del sistema de tratamiento de los gases. Esta adecuación genera barros o semisólidos con contenido de metales pesados. Para su gestión se requiere, al igual que las cenizas generadas por la combustión, de su previa caracterización.

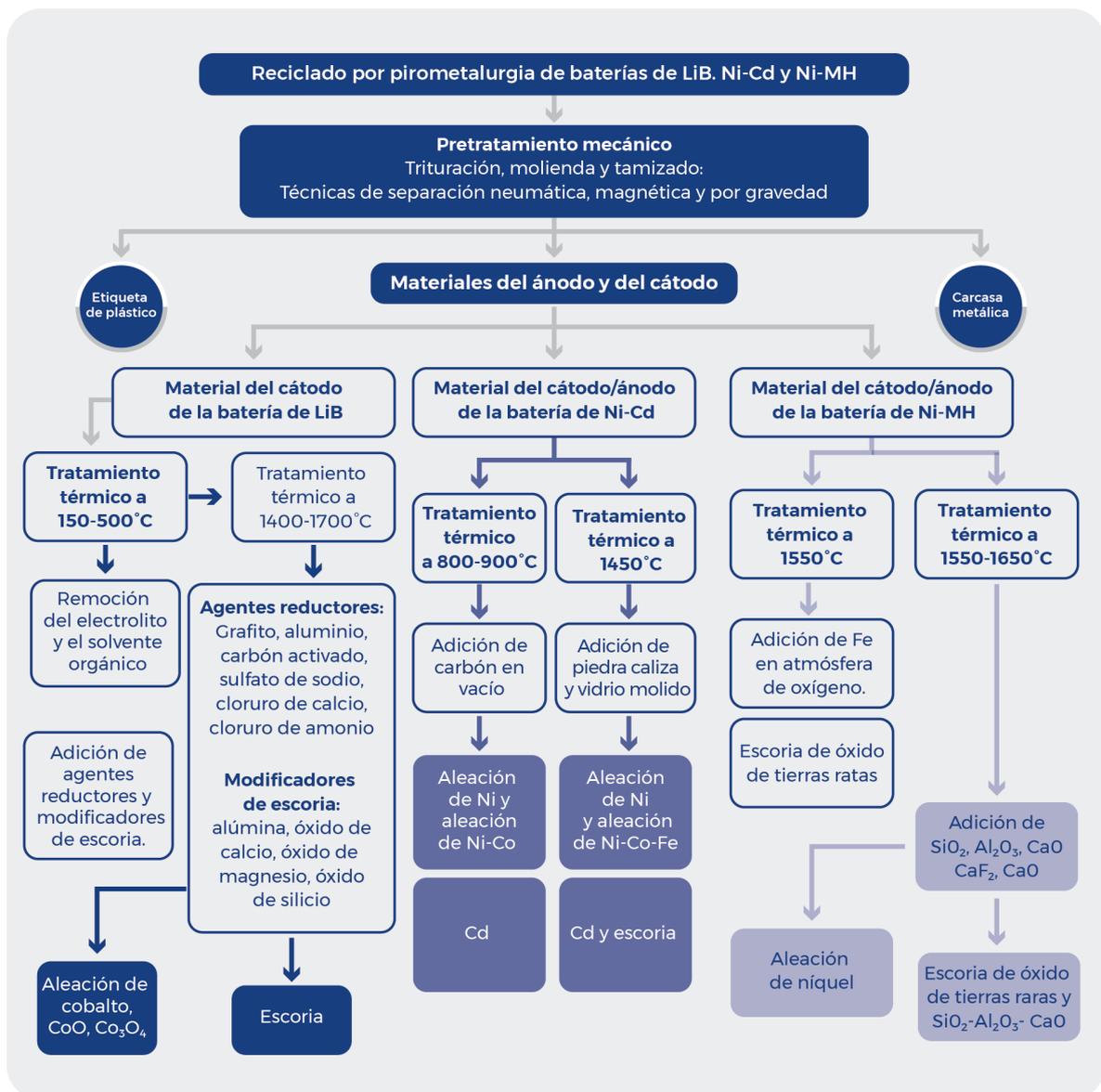


Figura 12 | Diagrama de flujo para pirometalurgia aplicada al reciclado de pilas y baterías secundarias Litio-ion, Níquel-Cadmio y Níquel Metal Hidruro.⁵⁰

⁵⁰ Assefi M., Maroufi S., Yamauchi Y. y Sahajwalla V. (2020). Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and Ni-MH batteries: A minireview. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 24:26-31. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.01.005>

5.5.1.3.II Hidrometalurgia⁵¹

Los procesos hidrometalúrgicos consisten en la disolución parcial o total, en medio ácido o alcalino, de la fracción metálica de las pilas y su extracción selectiva para el uso como materia prima en la industria metalúrgica. En la Figura 13 se presenta la secuencia de procesos para la ruta hidrometalúrgica:



1. La lixiviación corresponde a la disolución selectiva en medio acuoso de los metales de interés a través de los reactivos adecuados y el agente lixivante encargado de realizar la disolución.
2. La separación sólido-líquido corresponde a la etapa en el que el sólido agotado se separa, ya sea por decantación, sedimentación y/o filtración, de la solución enriquecida con los metales disueltos. Dicho sólido agotado se trata posteriormente, teniendo cuidado de neutralizar la acción de los reactivos que puedan afectar su disposición final, a la salud y al ambiente.
3. La solución rica en metales disueltos ingresa a la etapa de recuperación selectiva o precipitación y de allí pasa a otros procesos metalúrgicos (pirometalúrgicos o electrometalúrgicos, por ejemplo). Es en ese paso donde se recupera el metal como un producto sólido a ser reincorporado en la industria como materia prima. La solución agotada se reutiliza en la lixiviación o bien, se desecha como purga del sistema. Para esto último la solución agotada debe ser tratada como un efluente líquido antes de su disposición final cumpliendo con la normativa vigente.

Figura 13⁵² | Secuencia de etapas fisicoquímicas de la hidrometalurgia.

⁵¹ Cavallero N. (2014). Separación por método hidrometalúrgico de cinc y manganeso en pilas de tipo alcalinas a los efectos de transformar estos compuestos en productos de utilización industrial, Pontificia Universidad Católica Argentina Facultad de Química e Ingeniería "Fray Rogelio Bacon".

⁵² Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8.



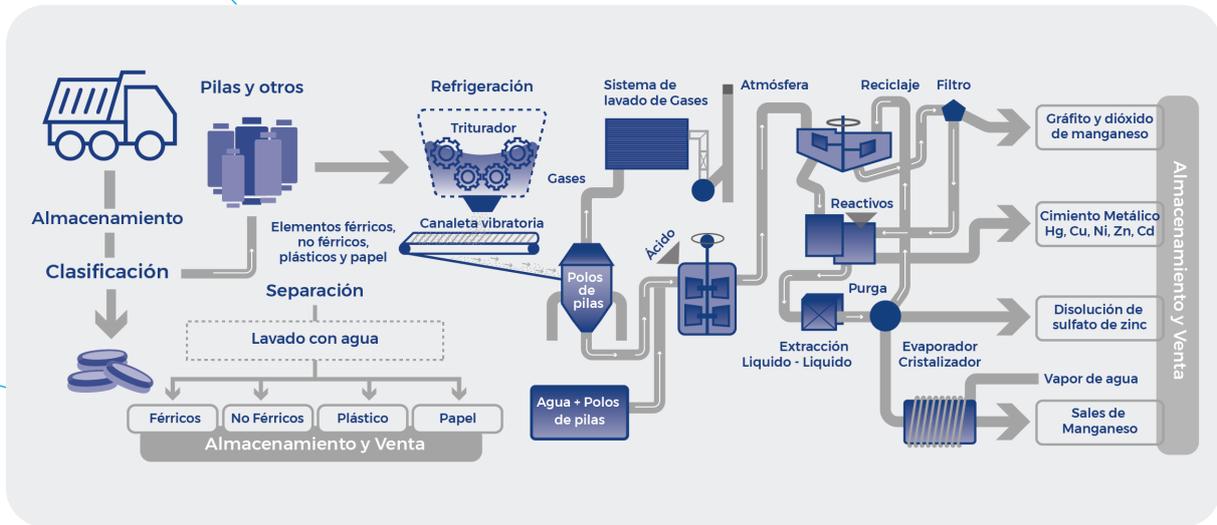
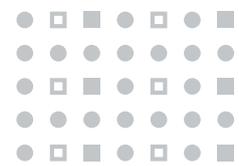


Figura 14 | Proceso hidrometalúrgico de reciclado de pilas salinas y alcalinas.⁵³

Como ventaja, los requerimientos del proceso son adaptables de acuerdo con los volúmenes a tratar, por lo que se puede operar en pequeña y mediana escala; existiendo una gran variedad de técnicas y combinaciones para separar una vez disueltos. Además, las emisiones gaseosas son considerablemente más bajas para los procesos hidrometalúrgicos, ya que, al no realizar procesos a altas temperaturas, el consumo energético es menor, por ende, también lo es la generación de emisiones en comparación con las rutas pirometalúrgicas. A su vez, es el principal método de recuperación del litio, compuesto de particular interés debido a su el auge de su utilización e ingreso al país (ver sección 3) y su aplicación en baterías de celulares y artefactos móviles, acumuladores empleados en el almacenamiento de energías alternativas y en autos eléctricos.



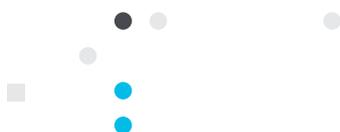
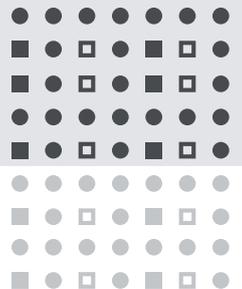
⁵³ Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8.

UN CASO DE RECICLADO QUE OCURRE EN ARGENTINA: LAS BATERÍAS ÁCIDO PLOMO

Las baterías de plomo ácido usadas (conocidas como BAPU) corresponden a baterías que no son susceptibles de recarga o que no son utilizables a consecuencia de rotura, corte, desgaste o cualquier otro motivo. Estas baterías contienen componentes potencialmente tóxicos, lo cual hace necesario establecer medidas para su manejo adecuado una vez que termine su vida útil.

Una vez finalizada su vida útil, el acumulador usado se considera como un residuo peligroso cuyos componentes tóxicos se clasifican, según la ley 24.051, como Y31 (plomo, compuestos de plomo) e Y34 (soluciones ácidas o ácidos en forma sólida).

Casi todos los componentes de las baterías plomo ácido usadas (BAPU) pueden reciclarse. En primer lugar, es necesario vaciar el electrolito, que suele tener una riqueza del 25-35% en ácido sulfúrico. Esta solución puede neutralizarse con NaOH dando como producto sulfato de sodio, que puede depositarse en relleno de seguridad o recuperarse para otras aplicaciones. Una vez vaciado el electrolito, los componentes restantes se trituran, se lavan y, por flotación, se separa el plástico. Este plástico se puede volver a triturar, peletizar y reutilizar para usos que no impliquen contacto con alimentos, juguetes u otros elementos que estén en contacto con el cuerpo humano. El material restante, una vez extraído el electrolito y el plástico, consta de una pasta fangosa metálica que se debe deshidratar y llevar a un horno de fusión al cual se le añade un potente reductor, como el coque, para evitar la formación de óxidos de plomo. El producto final se afina y se puede vender como plomo para diferentes aplicaciones (Castells, 2012). El proceso descrito se resume en la Figura 15.



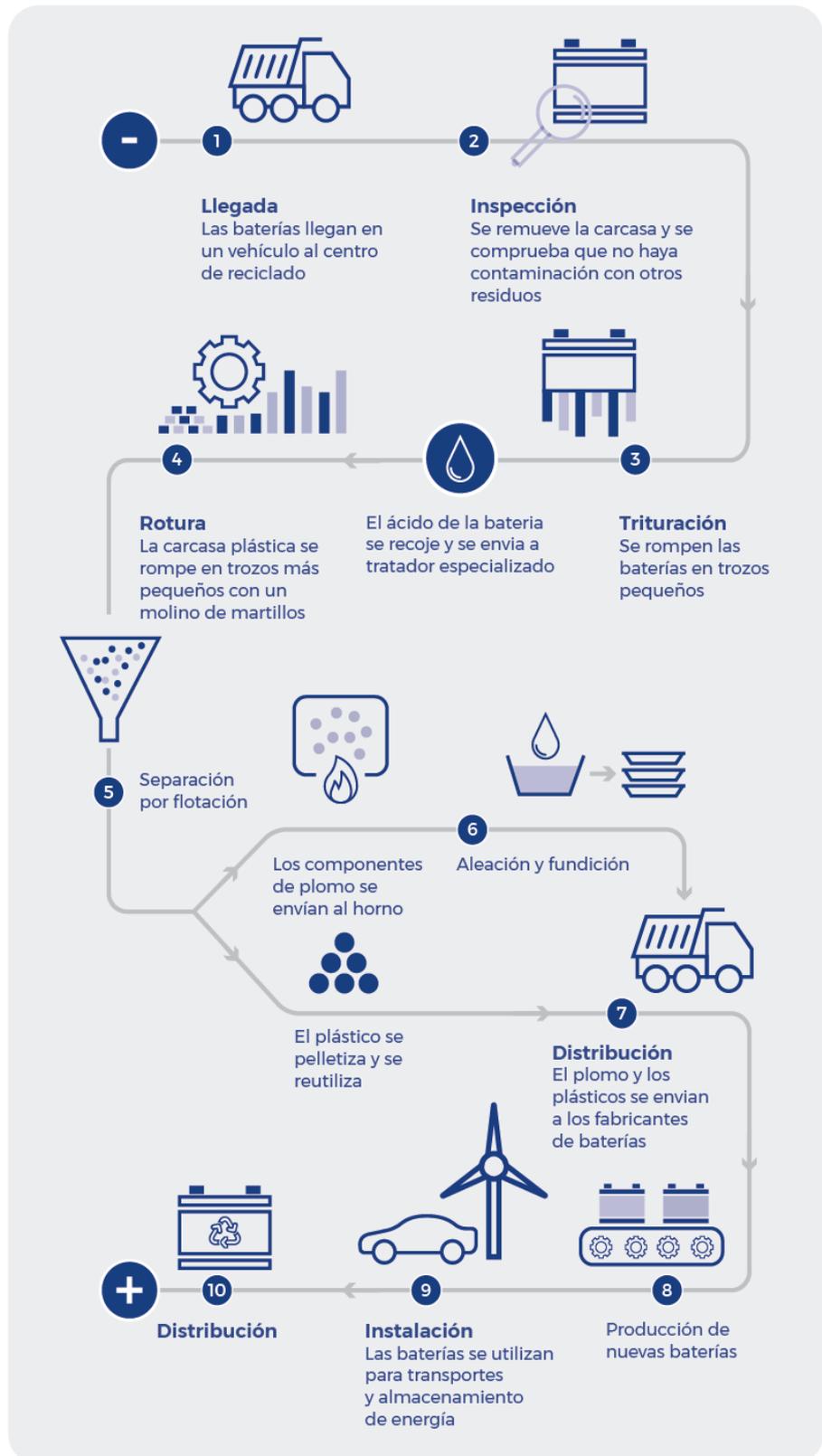
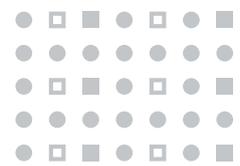


Figura 15 | Etapas del reciclado de baterías de ácido plomo usadas.

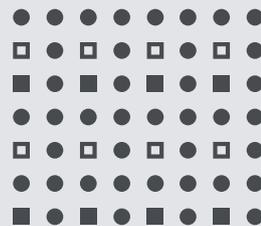
En cada uno de estos pasos, se liberan polvo y vapores de plomo en el aire que pueden ser tóxicos para los trabajadores de la planta de tratamiento, así como para el ambiente en general. Para controlar y reducir estas emisiones, es muy útil la aplicación de procesos cerrados y automatizados con dispositivos de control de la contaminación.

Reciclaje informal de plomo: sus consecuencias para la salud y el ambiente.

Las prácticas de reciclaje informal dan lugar a exposiciones e intoxicaciones por plomo, estando especialmente en riesgo los niños. Los residuos que contienen plomo, tales como la solución electrolítica y la escoria resultante del proceso de fundición, suelen desecharse sin ningún tipo de control. Muchas veces el trabajo se lleva a cabo por pequeños grupos familiares en sus hogares por lo que los niños ayudan a desmantelar las baterías y a lavar los componentes quedando expuestos a la contaminación.

Dividir las baterías de manera manual libera partículas de plomo y polvo de óxido de plomo, que representan otra fuente de exposición para las personas. El polvo y las partículas se depositan también en el suelo y pueden llegar a áreas más alejadas, aumentando la concentración de plomo en el ambiente y convirtiéndose en una fuente de exposición para la comunidad. El polvo depositado puede volver a suspenderse en el aire y ser inhalado mientras las personas realizan sus actividades diarias o limpian el polvo. Para los niños que pasan largos períodos de tiempo en el suelo y que frecuentemente se llevan las manos y otros objetos a la boca, la exposición al plomo en estos entornos supone un riesgo especialmente alto.

Por otro lado, el proceso de tratamiento sin control puede generar aumento del plomo en suspensión en el aire. Las temperaturas utilizadas para refinar el plomo pueden llegar a alcanzar los 1000 °C, lo que genera grandes cantidades de vapor de plomo, que es particularmente peligroso debido al pequeño tamaño de las partículas que permite que el plomo sea inhalado en el tracto respiratorio inferior y sea absorbido. Los vapores se terminan depositando como partículas de plomo en las superficies circundantes y en el suelo, dando lugar a la creación de polvo de plomo, que también puede ser inhalado.





5.5.1.3.III Destilación por vacío

Es un proceso muy utilizado para la recuperación de los componentes de las pilas botón, aunque no es el único. Éste consiste en someter las pilas botón en una cámara de vacío (Figura 16-1) a baja presión y alta temperatura para lograr liberar en forma de vapor el mercurio contenido. El mercurio vaporizado pasa a una cámara de combustión (Figura 16-2) donde las partículas orgánicas se oxidan con oxígeno a temperaturas de 800°C para su posterior condensación mediante refrigeradores con aire forzado en un circuito cerrado de agua (Figura 16-3 y 4). Finalmente se extrae el mercurio por decantación y se somete a un proceso de refinado.⁵⁴

Los residuos del horno se someten a una separación magnética, obteniendo chatarra reciclable y material no magnético, el cual es fundido obteniéndose plata y escoria de tipo vítreo con componentes potencialmente peligrosos. Esta operación se puede realizar en la misma planta o en otras instalaciones especializadas en la recuperación de metales de los residuos del horno. Por su parte, los efluentes gaseosos son depurados antes de su salida a la atmósfera, pasando por una columna de filtración con carbón activo (Figura 16-5)⁵⁵.

5.6 Disposición final

La última etapa de cualquier gestión de residuos es la disposición final. Se trata de la instancia menos deseable ya que se desaprovechan recursos naturales que podrían ser reinsertados por procesos de valorización en nuevos ciclos productivos. Sin embargo, cuando la tecnología disponible no es viable o no se encuentra instalada, la disposición final controlada es la mejor opción para asegurar el confinamiento seguro de pilas y baterías en desuso. Dada la legislación vigente en Argentina, la disposición final solo puede hacerse en sitios registrados y habilitados por la autoridad de aplicación denominados rellenos de seguridad.

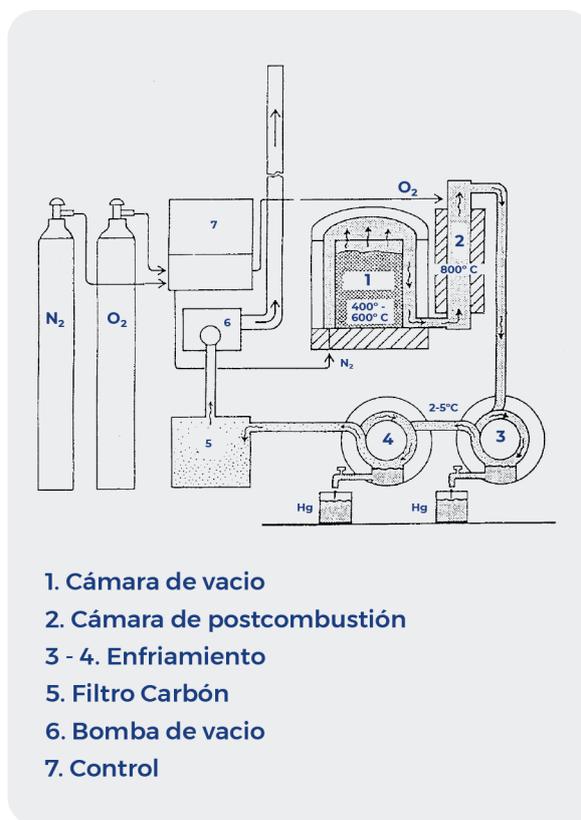


Figura 16 | Esquema de proceso de destilación por vacío de pilas botón.

⁵⁴ Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8.

⁵⁵ Castells X.E. (2012). Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Capítulo 14, reciclaje y tratamiento de residuos diversos, pp:1055-1060. Ediciones Días Santos, Madrid. ISBN: 978-84-9969-366-8.



5.6.1 Relleno de seguridad

Un relleno de seguridad es un depósito diseñado para contener residuos peligrosos para la salud humana y el ambiente. Su diseño y gestión está respaldado por las normativas legales nacionales e internacionales y debe ser lo suficientemente seguro para permitir el confinamiento indefinido de dichas sustancias sobre suelo impermeable. Este tipo de estructuras tiene el objetivo de evitar la filtración de los lixiviados y la contaminación del suelo y el agua. Consiste en una o varias celdas de disposición final y un conjunto de elementos de infraestructura para la recepción y acondicionamiento de residuos, así como para el control de ingreso y evaluación de su funcionamiento. En función de las características de los residuos algunos deben ser pretratados, como por ejemplo aquellos que:

- Son fácilmente transportables por el aire.
- Contengan líquidos libres.
- Puedan generar derrames a temperatura ambiente.
- Presenten pH menor a 2 o mayor a 12.
- Posean propiedades químicas o fisicoquímicas, que le permitan penetrar y/o difundirse a través de la barrera de contención.
- Sales inorgánicas que poseen alta solubilidad en agua.

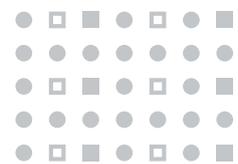
En el caso de las pilas o baterías, los elementos potencialmente tóxicos que las componen deben ser inmovilizados previamente a su disposición final en relleno de seguridad.

5.6.2 Inmovilización de componentes

El término inmovilización incluye métodos físicos y químicos tanto para solidificar como para estabilizar los residuos. Entre éstos se encuentran la vitrificación, cementación y ceramización. Todos ellos son tecnologías disponibles a nivel mundial con diversas variantes técnicas, tales como la estabilización por agregado de agentes químicos que forman compuestos insolubles con los metales, confinamiento en envases herméticos, encapsulamiento con cemento, vitrificación a altas temperaturas, entre otras.

Cuando se utiliza encapsulamiento con cemento es recomendable colocar las pilas en un envase hermético con agregado de un reactivo para neutralizar los productos de alteración ácidos o básicos, de forma de reservar la estructura frente a ataques





químicos. Estas tecnologías pueden ser utilizadas para el tratamiento de residuos de pilas y baterías, siempre y cuando los materiales resultantes cuenten con una disposición final en relleno de seguridad.

5.6.3 Vitrificación

Como se mencionó anteriormente es una tecnología que permite inmovilizar los elementos potencialmente tóxicos existentes dentro de una pila o batería. Para ello es necesario aplicar gran cantidad de energía en un proceso de fundición de un material vítreo (óxido de silicio con otros compuestos químicos que disminuyen su punto de fusión) hasta que los materiales inorgánicos, como los metales contenidos en las pilas, se incorporan a la matriz del vidrio. Una vez enfriado los metales quedan contenidos en esta estructura e inmovilizados. Debido a su consumo energético es un tratamiento con un costo relativo elevado, por lo que sólo se utiliza para elementos con alta carga de toxicidad. Por otro lado, es importante asegurarse que los materiales a inmovilizar sean ciento por ciento inorgánicos y que se encuentren en el mayor estado de trituración posible, para que puedan realizarse las reacciones de vitrificación y los metales queden incorporados en la mezcla.⁵⁶

Los residuos una vez vitrificados deben ser resguardados en un relleno de seguridad. La acción del agua puede dar lugar a la erosión de los silicatos y, por ende, la liberación de algunos compuestos. La rapidez con la que ocurran estas reacciones estará dada por la composición final del vitrificado y de la temperatura. A su vez, la interacción de compuestos ácidos o básicos pueden degradar la estructura vítrea y liberar elementos potencialmente tóxicos al ambiente ⁵⁷. Por ese motivo, una vez vitrificados los compuestos tóxicos es importante resguardarlos en un relleno de seguridad.

Como se puede apreciar, no existe un esquema único para implementar una gestión integral de pilas y baterías en desuso. La forma en que se lleven adelante cada una de las etapas, dependerá del contexto local, de los recursos disponibles y de la tecnología asequible para su tratamiento y disposición final. En caso de encontrarse alternativas de tratamiento y recuperación de materiales podría alcanzarse un esquema como el planteado en la Figura 17. En los siguientes recuadros se exponen diferentes instancias y estrategias para implementar sistemas de gestión integral de pilas y baterías.

⁵⁶ Castells X.E. (2000). Reciclaje de residuos industriales, aplicación a la fabricación de materiales para la construcción. Editorial Diaz de Santos, Madrid, España. ISBN 84-7978-437-7.

⁵⁷ Castells X.E. (2000). Reciclaje de residuos industriales, aplicación a la fabricación de materiales para la construcción. Editorial Diaz de Santos, Madrid, España. ISBN 84-7978-437-7.

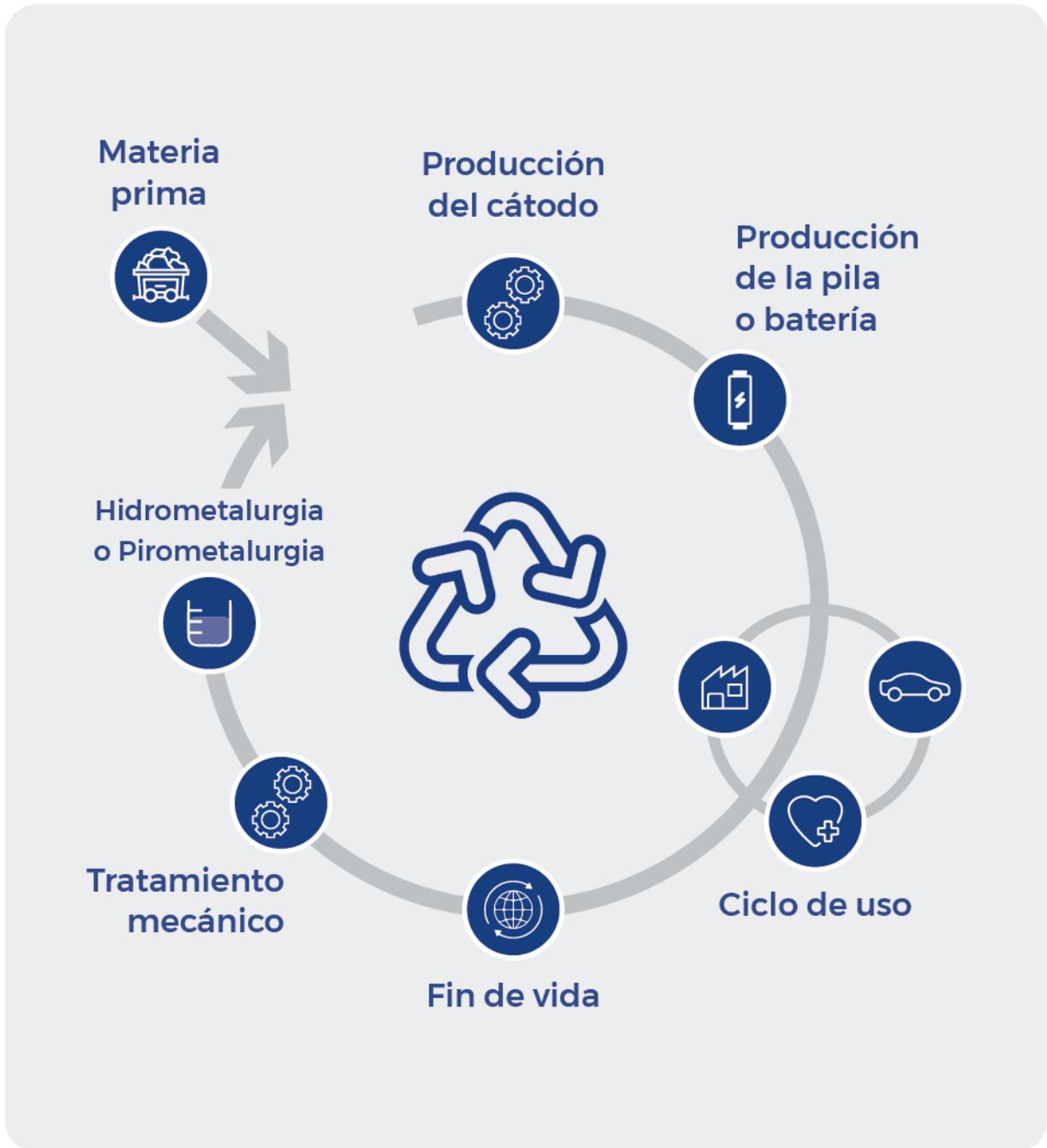
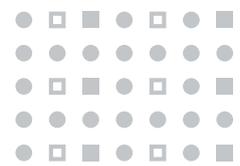


Figura 17 | Gestión integral de pilas y baterías en desuso.

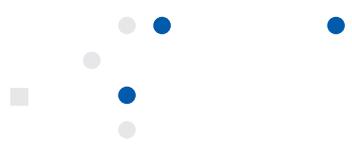


INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL QUE CONTRIBUYEN A LA GESTIÓN INTEGRAL

La Responsabilidad Extendida al Productor (REP) es un concepto que surgió en Suiza en 1990. Según postularon Lindhqvist y Lidgren, “se trata de un principio político para promover mejoras ambientales en ciclos de vida completos de los sistemas de productos, al extender las responsabilidades de los fabricantes a varias fases del ciclo total de su vida útil y especialmente a su recuperación, reciclaje y disposición final [...]. La REP es implementada a través de instrumentos políticos administrativos, económicos e informativos”. Los ejes fundamentales de la REP son: prevención, equidad intergeneracional, progresividad, responsabilidad (quien contamina paga) y ciclo de vida. Existen dos grupos de objetivos REP. El primero, relacionado con el desarrollo del producto, busca estimular a los fabricantes a invertir en ecodiseños. El segundo, relacionado con el fin de vida del producto, intenta dar un máximo uso a los materiales a través de la recolección, tratamiento, reutilización y reciclaje.⁵⁸

Existen experiencias de la aplicación de este instrumento de política ambiental. En Europa, la REP se encuentra ampliamente implementada en varios países e inclusive la Unión Europea ha modificado su directiva de residuos para incorporar este principio (DIRECTIVE (EU) 2018/851). Varios países de Latinoamérica toman este precepto y lo incorporan a leyes destinadas a distintos productos y residuos. En Argentina, por ejemplo, la Ley N° 27.279 de presupuestos mínimos para la gestión integral de envases vacíos de fitosanitarios, incorpora la responsabilidad extendida del productor como uno de sus principios. A su vez, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a través de los instrumentos legales desarrollados en la sección 2, tienen en cuenta la responsabilidad extendida de los importadores de pilas y baterías, que son quienes presentaron un plan de gestión de estos productos al fin de su vida útil y se responsabilizan por su implementación.

58 Lindhqvist T., Manomaivibool P., Tojo N. (2008). La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano. La gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Argentina, Lund University International Institute for Industrial Environmental Economics.



UN CASO DE GESTIÓN INTEGRAL A GRAN ESCALA: LA UNIÓN EUROPEA

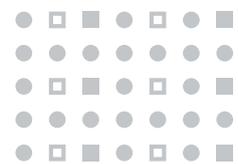
La Directiva 006/66/EC (año 2006) de la Comunidad Económica Europea (UE) en pos del reciclado de pilas, baterías y acumuladores incluye:

1. La obligatoriedad de un etiquetado que describa la capacidad energética, el símbolo químico del metal pesado que contenga y el símbolo de recolección diferenciada.
2. La prohibición de comercializar de pilas, baterías y acumuladores con más de 0,0005% de Hg en peso y 0,002% de Cd en peso, con excepción de los dispositivos de emergencia, de alarma y los equipos médicos.
3. La asignación de responsabilidades por la gestión. Establece que los fabricantes deben hacerse cargo de todas las etapas de la gestión de las pilas y baterías usadas, sin que para el consumidor suponga un costo. De esta forma, se incluye la REP. No obstante, la normativa también impone responsabilidades para los consumidores acerca de la disposición inicial.
4. La definición de metas de recolección y reciclado para todos los países miembros, lo cual requiere de un análisis estadístico riguroso en cuanto a generación, recolección y tratamiento.

Según información publicada por la oficina de estadísticas de la UE (Eurostat) en el año 2018 se recolectaban para su reciclado el 48% de las pilas y baterías puestas en el mercado doméstico. En ese mismo año, 19 países alcanzaron la meta del 45% de recolección propuesta por la Directiva (sin tener en cuenta a Noruega y el Reino Unido que también la superan) y los otros 8 tenían valores entre 45% y 30%. En lo que respecta a la eficiencia en el reciclado de estas pilas y baterías recolectadas, se encuentra entre el 65% y el 99% para las baterías de plomo ácido, entre el 75% y el 85% para las de níquel cadmio (Ni-Cd) y entre el 52% y el 94% para otras pilas y baterías, en todos los países de la Unión Europea.⁵⁹

Cabe destacar que muchos países de la UE cuentan con sistemas de REP y presentan tasas de recolección de pilas y baterías mayores que los estándares establecidos por las directivas. Estos sistemas se basan en ofrecer puntos de recolección gratuitos para los consumidores y procedimientos de recolección y

⁵⁹ Eurostat 2018. Waste statistics - recycling of batteries and accumulators. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_recycling_of_batteries_and_accumulators#Sales_and_collection_of_portable_batteries_and_accumulators. Consultado: diciembre de 2021.



clasificación que son administrados por una Organización de Responsabilidad del Productor (Producer Responsibility Organisation - PRO). Para mantener el sistema en funcionamiento los productores pagan tasas por disponer pilas y baterías en el mercado (en 2011 variaban entre €240 en Francia y €5.400 en Bélgica por cada tonelada de pilas y baterías). Este dinero, sumado al obtenido por la recuperación de materiales, es utilizado por el PRO para cubrir los costos de recolección y tratamiento, el manejo de la información y las campañas de sensibilización.⁶⁰

GESTIÓN DE PILAS EN LA ARGENTINA: EL CASO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

Como se mencionó previamente, la Ciudad de Buenos Aires, a través de la Ley N° 5.991, es la única jurisdicción del país de la que se dispone información sobre cómo se postula la gestión integral de pilas y baterías. A través de esta normativa, se establece un esquema de responsabilidad extendida del productor por el cual los importadores de pilas y baterías han presentado un plan de gestión integral de pilas y baterías en desuso que contempla todos los eslabones de gestión integral.

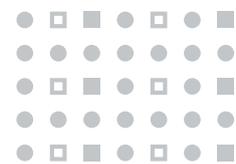
El plan presentado por los importadores y aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de la Ciudad cuenta con acciones a realizar en cada una de las etapas de gestión. En primer lugar, los consumidores deben llevar sus pilas y baterías en desuso a puntos de disposición inicial establecidos por el plan de gestión. Los puntos de disposición inicial cuentan con contenedores de 20 l con bolsas que, una vez llenas, son precintadas y etiquetadas con código QR para asegurar su trazabilidad. La recolección, a cargo del programa RIPPIA, puede ser programada o a demanda, según la cantidad acumulada en cada punto. Una vez retiradas las bolsas son enviadas al sitio de acopio en donde se pesan y almacenan temporalmente. Posteriormente son enviadas a tratamiento en donde se clasifican por tipo. La alternativa disponible para las pilas botón y las pilas níquel metal hidruro es la termodestrucción con recuperación de metales y vitrificación de las cenizas resultantes, mediante el uso de hornos controlados de altas temperaturas. Los residuos producto del tratamiento, así como los otros tipos de pilas, son dispuestos en rellenos de seguridad.

⁶⁰ Monier V., Hestin M., Cavé J., Laureysens I., Watkins E., Reisinger H. y Porsch L. (2014). Development of guidance on extended producer responsibility (EPR) Final Report, European Commission - DG Environment.

6

Conclusiones y recomendaciones

Las pilas y baterías son residuos especiales de generación universal y, como tales, presentan complejidades en su gestión. Contienen elementos potencialmente tóxicos que pueden alterar las características del ambiente y, por ende, tener impactos sobre la calidad de vida de la población y su salud. Sin embargo, de incorporarse en el marco de la economía circular, estos elementos adquieren valor al ser recuperados y reinsertados en los ciclos productivos. En este contexto, es importante que los gobiernos locales lleven a cabo una campaña de sensibilización que apunte a recolectar las pilas y baterías separadas en origen con el fin de incentivar la recuperación de sus elementos constitutivos. A la vez, es esencial e imprescindible que los demás eslabones de la gestión estén definidos y articulen con esta etapa a fin de que el proceso sea integral. Si no existe una planta de tratamiento a nivel local o regional se dificulta encontrar un destino final sustentable, ya que la opción actual es la exportación de pilas y baterías como residuo peligroso a países que poseen la tecnología necesaria para su tratamiento, o el relleno de seguridad, que no elimina el peligro de este residuo, sino que lo confina y contiene. Teniendo en cuenta todo esto, para avanzar en torno a una economía circular es innegable la importancia de contar con una ley de responsabilidad extendida del productor que brinde herramientas y recursos para aplicar una gestión integral de este tipo de residuos. Teniendo esto en cuenta, se sugiere realizar una copiosa campaña de sensibilización que apunte, en última instancia, a reducir la cantidad de pilas y baterías que se envían a disposición final. Esta campaña debería convocar a minimizar la cantidad de pilas y baterías que son utilizadas y, en sintonía con esto, promover la utilización de pilas y baterías recargables por sobre las no recargables. Luego debería enfocarse en fomentar una disposición primaria en lugares acordes, que permitan recolectar las pilas y baterías como una corriente de residuos especiales y no domiciliarios o peligrosos. La campaña de sensibilización sugerida debe ser acompañada de la implementación de centros de disposición inicial correctamente identificados y con personal de atención instruido, que puedan comprender la peligrosidad que implica el recipiente que almacena las pilas y baterías. En estos puntos de acopio se deberá articular con los usuarios para recibir las pilas y baterías usadas, responder sus consultas y brindar información. A la vez, se aconseja impulsar la creación de centros de tratamiento a nivel regional para reciclar las pilas y baterías recolectadas.



ANEXO I – Clasificación de pilas y baterías

Pila y batería		Composición			Clasificación Ley 24.051		Usos y características			
Tipo	Nombre	Electrodo*	Notación	Compuesto	Anexo I	Anexo II				
Primarias (No recargables)	Zinc/Carbono (Zn/C)	C	C	Carbono (grafito)	Y23. Las no certificadas pueden tener Y29, Y26 e Y31	H6.1	Para equipamiento eléctrico y electrónico sencillo y de bajo consumo (celulares, computadoras, etc). Son las denominadas "pilas comunes", secas, ácidas o Leclanché.			
			MnO ₂	Dióxido de manganeso		H11				
		A	Zn	Zinc		H12				
			E	NH ₄ Cl ₂		Cloruro de amonio				
		ZnCl ₂		Cloruro de zinc						
		Zinc/Dióxido de manganeso (Zn/MnO ₂)	C	MnO ₂		Dióxido de manganeso		Y23 e Y35. Las no certificadas pueden tener además Y29.	H6.1 H8 H11 H12	Conocidas también como "alcalinas", se usan para equipamiento eléctrico y electrónico sencillo y de bajo consumo, con vida útil hasta 10 veces mayor a las "comunes". Casi todas vienen blindadas, lo que dificulta el derrame de sus componentes. Aunque este blindaje no tiene duración ilimitada.
	C			Carbono (grafito)						
	KOH			Hidróxido de potasio						
	Zn			Polvo de zinc						
	A		Hg	Mercurio						
			Pb	Plomo						
			KOH	Hidróxido de potasio						
	E		Zn	Óxido de zinc (%6)						
			C	Oxígeno en carbono activo		Y23, Y29 e Y35	H6.1 H11 H12 H8		Uso para audífonos y equipamiento médico. Alta capacidad. Contienen más del 1% de mercurio.	
				A	Zn					
	Hg	Mercurio								
	E	KOH	Hidróxido de potasio							
	Óxido de plata	C	Ag ₂ O	Óxido de plata	Y23, Y29 e Y35	H6.1 H11	Uso en calculadoras, relojes y cámaras fotográficas. Usualmente de tipo botón pequeñas, contienen alrededor de 1% de mercurio.			
			MnO ₂	Dióxido de manganeso						
		A	Zn	Amalgama de zinc		H12				
			Hg			H8				
		E	KOH o NaOH	Hidróxido de potasio o hidróxido de sodio						
			ZnO	Óxido de zinc						
	Litio	C	MnO ₂ o Bi ₂ O ₃	Varios elementos son usados como cátodo (magnesio, hierro, carbono, etc.)	S/ condic.H1		Uso en memorias de computadora, relojes, calculadoras, flashes, aplicaciones militares e industriales. Comercializadas en tipo botón, cilíndricas, entre otras. Producen tres veces más energía que las alcalinas y poseen mayor voltaje inicial.			
A			Li	Litio metal						
E				Disolvente orgánico						

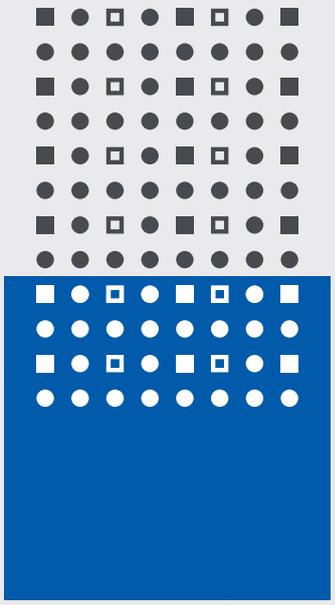
Pila y batería		Composición			Clasificación Ley 24.051		Usos y características	
Tipo	Nombre	Electrodo*	Notación	Compuesto	Anexo I	Anexo II		
Secundarias (Recargables)	Níquel/Cobalto (Ni/Co)	C	Ni(OH)	Hidróxido de níquel				
			Ni(OH) ₂					
		A	Co/Co(OH) ₂	Hidróxido de cobalto				
		E	KOH + LiOH	Hidróxido de potasio e hidróxido de litio				
	Litio-Ion	C	Óxidos metálicos con litio		Y42.	S/ condic.H1	Para computadoras, celulares, cámaras. Ánodo Carbón de grafito fotográficas y de video.	
		A	Carbono (grafito)					
		E	Sales de litio y solventes orgánicos					
		Plomo	C	Óxido de plomo		Y31 e Y34		H5.1, H6.1, H8 H11 y H12
			A	Plomo				
E			Ácido sulfúrico					
Níquel/Hidruro metálico	C	Ni/HM	Óxido de níquel	Y35	S/ condic. H6.1, H11 y H8	Sistema similar al Ni/Cd, donde el Cd se reemplazó por una aleación metálica capaz de almacenar hidrógeno que conforma el ánodo. La densidad de energía producida es el doble de la producida por Ni/Cd, a voltajes operativos similares.		
	A	Hidruro metálico						
	E	Hidróxido de potasio						
Níquel/Cadmio (Ni/Cd)	C	Hidróxido de níquel		Y26 e Y35	H6.1, H8, H11 y H12			
	A	Cadmio						
	E	Hidróxido de potasio						

* C= Cátodo, A=Ánodo, E= Electrolito.



 **INTI** | **65** Años
1957-2022
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial





 INTIArg

 @intiargentina

 @INTIargentina

 canalinti

 INTI

www.inti.gob.ar
consultas@inti.gob.ar
0800 444 4004

