

Ponte las pilas: desecha seguro



**Ing. Amb. Marisela Cruz Rivera
Dra. Alejandra M. Navarrete López
Dr. Ulises Rojas Zamora
Dra. Mónica L. Salazar Peláez
Departamento de Ciencias Básicas
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco**

Abstract

The demand for various energy storage devices has increased significantly in recent decades, and this trend is expected to continue indefinitely. The problem associated with this tendency is that batteries can contain different elements that harm both human health and the environment. Therefore, different standards and programs have been designed to ensure the proper disposal of these devices at their lifespan end. Thus, the present work analyzes the different components of batteries and their impact under diverse final disposal scenarios. It is extremely important to know the effects that technological development has on the environment and our health. From this, we get involved by participating in the execution of different measures to minimize them.

Keywords

Batteries, Environmental impact, Final disposal, Recycling.

Resumen

La demanda de toda clase de dispositivos de almacenamiento de energía ha aumentado de manera importante en las últimas décadas y se prevé que esta tendencia se mantenga indefinidamente. El problema asociado con este fenómeno es que las pilas pueden contener en su estructura diferentes elementos de impacto nocivo en la salud humana y el ambiente. Por ello, se han diseñado diferentes normas y programas que ayudan a la adecuada disposición de estos dispositivos al final de su vida útil. A partir de ello, el presente trabajo se centra en exponer los diferentes materiales componentes de las pilas y el impacto que se puede tener bajo distintos escenarios de disposición final. Es de suma importancia conocer los efectos que tiene el

desarrollo tecnológico sobre el ambiente y nuestra salud para que, a partir de esto, nos involucremos participando en la ejecución de distintas medidas para minimizarlos.

Palabras claves

Pilas, disposición final, reciclaje, impacto ambiental.

Introducción

Hablar de los efectos negativos de las actividades humanas sobre el ambiente es algo común. En agosto de 2021, la ONU puso en evidencia la gran influencia de la actividad humana en el desarrollo de este fenómeno en su informe de cambio climático.

Los seres humanos estamos acostumbrados a vivir de la mano del desarrollo tecnológico, ignorando o minimizando todas las repercusiones que este trae consigo al ambiente y a nuestra salud individual y como especie. En este sentido, hemos afectado nuestro derecho a gozar de un ambiente sano, como lo marca el artículo 4^o de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Lo anterior es consecuencia de la falta de interés y conciencia con respecto a los beneficios y servicios que nos brinda el ambiente, claramente fomentada por el modelo económico actual, centrado en el consumo intensivo de bienes y servicios, que tiene como consecuencia directa el deterioro continuo de los ecosistemas.

Aunque existen infinidad de temas sobre el daño que estamos ocasionando al planeta, en este trabajo nos centraremos en el análisis de la contaminación que causa la producción, uso, desecho y disposición

de las pilas. Este tema cobra especial relevancia cuando se considera que el consumo de estos productos ha aumentado de forma considerable y continua durante las últimas décadas.

Según datos del Banco de Información Económica (BIE) del INEGI, el mercado de acumuladores y baterías creció alrededor de un 25 % en 6 años, pasando de aproximadamente diez mil millones de pesos en 2013 a más de doce mil millones y medio de pesos en 2019. En sintonía con dicho incremento, una importante marca de dispositivos almacenadores de energía reporta que, cada segundo, se venden en promedio 63 de sus productos, con crecimiento anual constante de ventas desde el 2010, llegando a 2400 millones de dólares en ventas anuales.

Un dato del 2016, recabado por la Asociación Latinoamericana de Pilas y Baterías estimó que en México cada habitante consume, en promedio, 6 pilas no recargables al año, predominando las pilas de carbón-óxido de zinc, con más del 75 % del mercado. Es importante mencionar que, a partir de 2001 se suspendió la producción de pilas en el país, por lo que el 100 % de las pilas comercializadas son importadas. También existe un mercado informal que abastece una buena parte de las pilas que se utilizan, el cual está soportado a partir de la venta en mercados fijos y ambulantes, o a partir de vendedores ambulantes en el transporte público.

A pesar del consumo y uso extensivo de estos dispositivos, la sociedad no tiene pleno conocimiento sobre su potencial contaminante, lo cual se debe en parte, a la falta de información actualizada con respecto a su producción y a los impactos ambientales ocasionados por su fabricación,

consumo y disposición. Además, debido a su corto periodo de vida, las baterías representan un problema global que debe atenderse, no solo porque estos artículos se convierten en residuos después de poco tiempo de uso, generando varios miles de toneladas de desechos que pueden provocar daños a la salud y el ambiente derivados de su incorrecto manejo, sino también porque aumenta la velocidad a la cual se extraen las materias primas necesarias para su producción.

Debido a lo anterior, resulta fundamental analizar los diferentes impactos derivados del consumo extensivo y la disposición final de las baterías en el ambiente una vez que ha concluido su vida útil.

Pilas y/o baterías, ¿son lo mismo?, ¿todas son iguales?

Las baterías constituyen elementos portadores de energía que permiten el funcionamiento de diversos dispositivos electrónicos sin la necesidad de conectarlos a la corriente, haciendo posible que podamos usar nuestro celular, reloj, audífonos, laptop y muchos otros artículos que hacen nuestra vida más cómoda. Generalmente, se utilizan los términos “pila” y “batería” de forma indistinta; sin embargo, es importante resaltar que el primer término se refiere a elementos no recargables y el segundo a elementos cuya carga es recuperable.

La pila voltaica fue creada por Alessandro Volta en el año de 1800, pero ha ido evolucionando en los últimos 200 años para satisfacer las necesidades humanas, hasta convertirse en los novedosos dispositivos de almacenamiento de energía actuales. En nuestros días, los dispositivos de almacenamiento de energía están clasificados

según la tecnología y el componente o componentes principales en cinco grandes grupos: 1) primarios, 2) secundarios, 3) sistemas en red para almacenar energía (por ejemplo, la batería de flujo o la batería de sodio-azufre), 4) celdas de combustible y 5) capacitores electroquímicos, supercapacitores.

Los grupos de dispositivos primarios y secundarios son los que detallaremos debido a que son los más usados por el grueso de la población.

Los dispositivos de almacenamiento de energía denominados *primarios* típicamente no son recargables. En términos generales, están integrados por tres elementos principales: un ánodo (polo de carga negativa), un cátodo (polo de carga positiva) y un electrolito.

Las pilas funcionan a partir de reacciones de oxidación que se llevan a cabo en el ánodo, las cuales liberan electrones (e^-). Este proceso produce una diferencia de potencial que provoca la migración o flujo de los e^- hacia el cátodo; sin embargo, los e^- no pueden migrar directamente dentro de la pila, ya que el electrolito funciona como una barrera que lo impide. Por ello, si cerramos el circuito y conectamos un cable conductor externo a la pila, entonces los electrones fluirán a través de este, obteniéndose la energía necesaria para accionar nuestros dispositivos electrónicos (Figura 1). A partir de ello, podemos decir que una pila es un elemento en el que ocurren reacciones químicas espontáneas que generan una fuente de energía eléctrica directa a un voltaje constante, la cual es suministrada a un circuito externo.

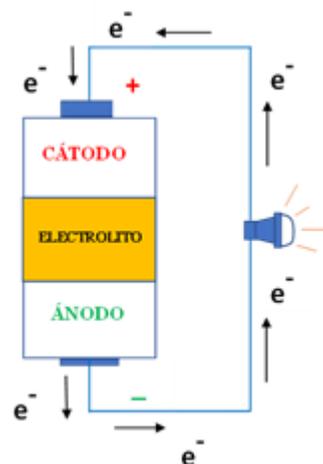


Figura 1. Esquema de un dispositivo de almacenamiento de energía primario

Los tipos de pilas más utilizadas son las llamadas *pilas comunes*, también conocidas como pilas de zinc-carbón, las cuales están constituidas por un recipiente sellado de zinc, que también sirve como ánodo. Este recipiente está cubierto internamente con un papel poroso, que lo separa del resto de los componentes de la pila. El cátodo es una varilla de grafito que ocupa el centro de la pila, y el resto del recipiente está lleno de una mezcla de cloruro de amonio, óxido de manganeso, cloruro de zinc y una carga porosa inerte (arena), que en conjunto actúan como el electrolito (Figura 2). Aportan un voltaje aproximado de 1.5 voltios. Las *baterías alcalinas* se asemejan a las pilas comunes, salvo que el electrolito es alcalino porque contiene hidróxido de potasio, de aquí su nombre, y la superficie interna del recipiente de zinc es rugosa.

Por su parte, las *pilas de mercurio* se asemejan a las pilas alcalinas, pero, en lugar de óxido de manganeso y cloruro de zinc, están rellenas de una pasta de

óxido de zinc y óxido de mercurio. Están reguladas por el Convenio de Minamata, que restringe su importación y exportación, y en donde se establece que deben tener contenidos de mercurio menores al 2 %.

Las baterías alcalinas y las de mercurio tienen una vida más larga y soportan un trabajo más pesado que las pilas comunes, además de ser recargables, por lo que es común encontrarlas en los automóviles, teléfonos celulares y tabletas electrónicas, entre otros dispositivos. Debido a sus características, se desechan en una proporción considerablemente menor que las primarias. Sin embargo, con el aumento en la producción y consumo de dichos dispositivos, la demanda de baterías recargables ha aumentado de manera significativa y comienza a ser un problema la manera de desecharlas.



Figura 2. Esquema de un dispositivo de almacenamiento de energía primario

Finalmente, el uso de las **baterías de ion litio** ha aumentado en los últimos años, especialmente debido a que tienen

bajo peso, estabilidad química, resistencia a altas temperaturas y, además, se pueden recargar muchas veces. Tienen un ánodo hecho generalmente de grafito, con espacios diminutos que le permiten incorporar iones y átomos de litio; mientras que el cátodo está compuesto por un óxido de un metal de transición, como el cobalto o el hierro. Estas baterías se utilizan para vehículos eléctricos y en algunas herramientas motorizadas.

Toxicidad de las pilas

Dentro de su estructura, algunas pilas, en especial aquellas que no son de última generación o que no son fabricadas por marcas certificadas, contienen cantidades considerables de metales pesados, como plomo, cadmio y mercurio y otros compuestos reconocidos por su alta ecotoxicidad. Estos metales se encuentran actualmente normados, por lo que son reconocidos como altamente contaminantes y han dejado de utilizarse en su fabricación o sólo pueden utilizarse en cantidades mínimas definidas.

En general, la exposición o la acumulación de metales pesados en nuestro cuerpo tiene efectos considerablemente negativos, tales como daños al sistema nervioso central, enfermedades cardiovasculares y diferentes tipos de cáncer. La forma en que se acumulan en el ambiente y en que pueden llegar a nuestro cuerpo se presenta en la Figura 3.

Normativas aplicables a la gestión de pilas

El marco legal vigente considera que las pilas pueden ser residuos **peligrosos** o **de manejo especial**, según el tipo y cantidad de metales que contengan. Ambos tipos de residuos están sujetos a un plan específico

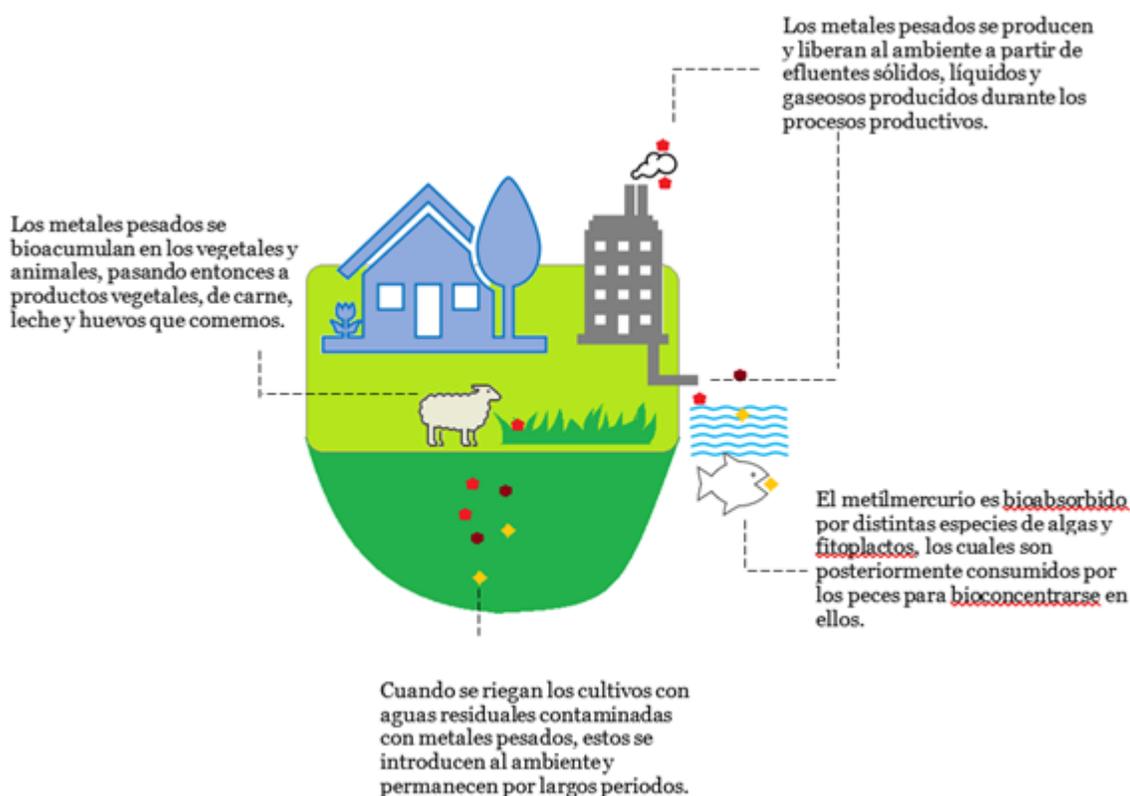


Figura 3. Descripción de la acumulación de los metales pesados (Hg, Cd y Pb) en el ambiente (adaptado de Aconsa (2021)).

de manejo. De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y la Norma Oficial Mexicana (NOM-052-SEMARNAT-2005), las pilas de zinc-óxido de mercurio (Zn-HgO) y las pilas de níquel-cadmio (Ni-Cd) son residuos peligrosos debido a que contienen metales pesados en cantidades iguales o mayores a las establecidas en dicha norma

A su vez, la LGPGIR también establece que las pilas que contienen litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc o cualquier otro elemento que permita la generación de energía son residuos de manejo especial, debido a que contienen cantidades de metales mayores a los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-052-SEMARNAT-2005).

Con base en lo descrito, la presencia de metales pesados y otros contaminantes en las pilas ha motivado a las autoridades de nuestro país a emitir normas en la materia. La Norma Oficial Mexicana (NOM-212-SCFI-2017) establece los límites máximos permisibles de mercurio y cadmio por unidad de pila primaria; para el caso del mercurio es de 0.0005 % en peso y para el cadmio de 0.0020 % en peso.

Dicha NOM es aplicable a las pilas y baterías primarias que se importan o comercializan en territorio nacional, por lo que las pilas que entran legalmente al país tienen que cumplirla. Sin embargo, alrededor del 40 % de las pilas, unos 260 millones de unidades, que se comercializan en el territorio nacional pertenecen al mercado informal (El Financiero, 2013), las cuales, debido a su propio origen, probablemente no cumplen con los límites permisibles de contenido de elementos tóxicos, además de que tienen un tiempo

de duración más corto y, por lo tanto, se desechan más rápidamente, generando una mayor cantidad de residuos. En muchas de ellas se utiliza cartón como carcasa por lo que, al llegar a los sitios de disposición o incluso cuando todavía están en uso, se libera fácilmente su contenido; a diferencia de los productos legales que cumplen con las especificaciones de calidad, donde la carcasa es de metal. Debido a lo anterior no es recomendable su compra ni uso (Figura 4).



Figura 4. Pilas del mercado informal y legales.

¿Cómo afectan al ambiente las pilas cuando se convierten en residuos?

Una vez que termina su periodo de vida útil, las baterías se desechan comúnmente mediante cuatro métodos: compostaje, incineración, vertido y reciclaje (Olivetti et al., 2011). En cualquier método de disposición existe la posibilidad de liberar metales pesados y otros contaminantes al medio ambiente a través de lixiviados de rellenos sanitarios o gases de chimenea de incineración.

Cuando se incineran, los metales pesados pueden concentrarse en las cenizas o difundirse a la atmósfera a través de las emisiones de las chimeneas; mientras que

cuando se desecha la ceniza, los metales pueden filtrarse al suelo, así como al agua subterránea y superficial (Grover et al., 2019).

En los rellenos sanitarios y en los sistemas de composteo, los residuos sólidos urbanos (RSU) son el tipo de desecho más común. Después de su disposición, los residuos sólidos se someten a distintos procesos de descomposición en los que se produce una fracción líquida con una alta concentración de contaminantes, definida como lixiviado. Los lixiviados son soluciones ácidas o alcalinas que contienen cantidades sustanciales de metales y metaloides (Yang et al., 2020), los cuales se producen cuando el agua se filtra a través de los residuos en descomposición, arrastrando y disolviendo contaminantes orgánicos e inorgánicos (Figura 4). Los factores que afectan la formación de lixiviados incluyen la cantidad de agua que ingresa al vertedero a través de las lluvias, la composición de los desechos (% de humedad) y su biodegradabilidad (Olivetti et al., 2011).

En el caso de las pilas, las condiciones climáticas de temperatura, humedad y los procesos biológicos de fermentación natural de los residuos provocan la corrosión de la carcasa (envoltura) y la liberación subsecuente de sus componentes. El impacto más grande de los desechos de baterías es la penetración de contaminantes en el suelo, lo cual influye en su nivel de ecotoxicidad. Esto se debe al hecho de que, durante la lixiviación, los metales se difunden y absorben a través de la capa del suelo y por las plantas, así como en la atmósfera a través de procesos de volatilización, lo que genera fenómenos como la acumulación de sustancias nocivas que entran en aguas subterráneas y superficiales, en el suelo y se dispersan en la atmósfera (Grover et al., 2019). Este fenómeno se describe en la Figura 5.

Actualmente, dentro del mercado formal, las principales marcas producen pilas y baterías de última generación, las cuales emplean materiales que no suponen riesgo para el ambiente, como el zinc, dióxido de manganeso y grafito. Algunos diseños

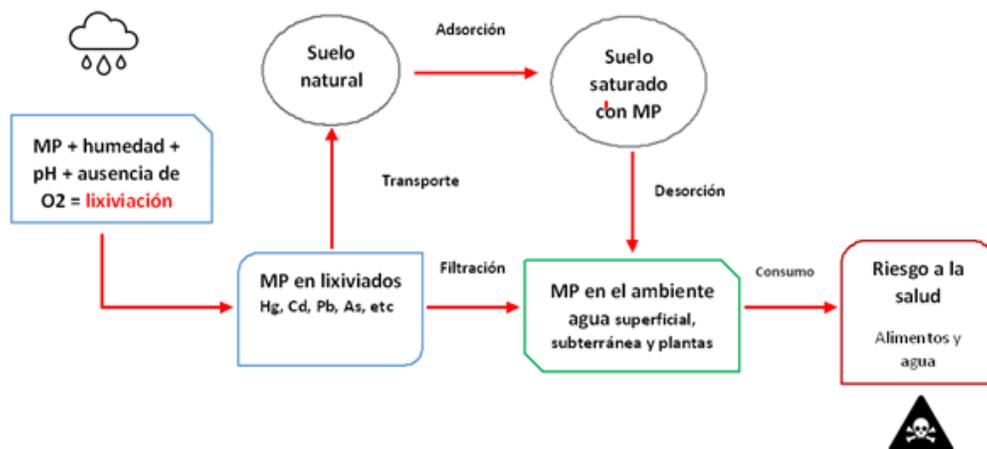


Figura 5. Proceso de lixiviación y transporte de los metales pesados (MP) y contaminantes contenidos en las pilas (adaptado de Huseein et al. 2021).

incorporan una carcasa de acero de una pieza con abertura única en la base, que hace más fácil la extracción de las partículas de manganeso y el núcleo de zinc para su posterior recuperación y reciclaje.

Tomando en cuenta lo descrito, es importante entender que el impacto de las baterías al ambiente no se produce únicamente durante su descomposición cuando se convierten en residuos, sino que sus procesos de manufactura y uso también tienen implicaciones importantes. En este sentido, la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV) es una metodología utilizada para evaluar los efectos naturales vinculados a todas las fases de la vida del producto.

Cuando el ACV evalúa el impacto de las etapas desde la obtención de materias primas, procesamiento de estos materiales, fabricación y difusión y venta, el ciclo se conoce como estudio de “la cuna a la puerta” (cradle to gate, por sus siglas en inglés), sin embargo, cuando además se consideran los impactos derivados del uso, reutilización y/o reciclaje, el ciclo completo se conoce como estudio de la “cuna a la

tumba” (cradle to grave, por sus siglas en inglés). En el caso de las baterías, el ACV implica las 4 etapas principales que se muestran en la Figura 6.

En la primera etapa del ACV, se analizan los impactos ambientales que tienen la extracción de las materias primas necesarias para la elaboración de las pilas. En el caso de las baterías de zinc-óxido de manganeso, se evalúa el impacto que tiene la extracción del manganeso, el zinc y el carbón. Este se realiza en procesos de minería tanto subterránea como a cielo abierto y puede causar contaminación del agua y del suelo. Precisamente, la emisión de material particulado a la atmósfera, las excavaciones en el terreno y la liberación de metales pesados son los principales impactos ambientales asociados.

En la segunda etapa del ACV, se analizan los impactos ambientales que tienen la fabricación y el embalaje de dichos dispositivos, tales como la contaminación del aire y el agua, el agotamiento de recursos no renovables y las afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas. En esta etapa

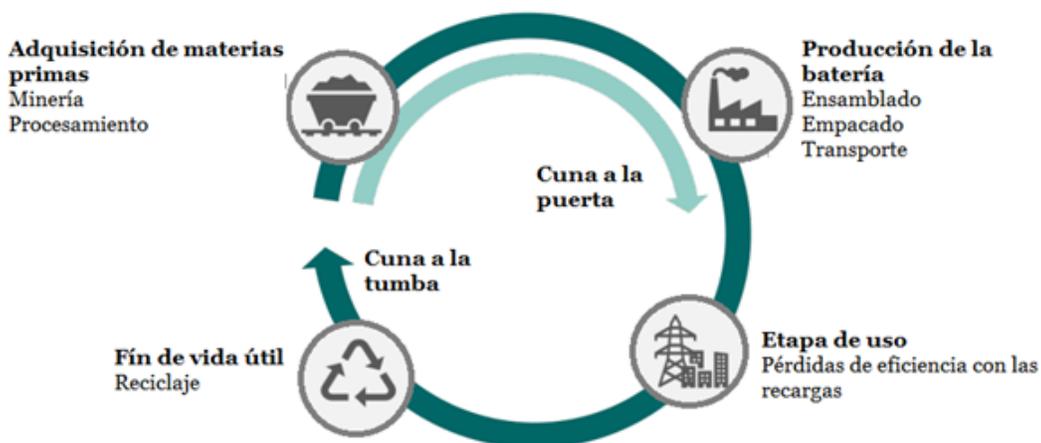


Figura 6. Etapas del ciclo de vida de baterías (adaptado de Liu,2020).

se encontró que la fabricación de una pila consume 50 veces más energía de la que puede llegar a producir.

En la tercera etapa se analizan los impactos que tiene el uso de las pilas. Estos impactos se ven aumentados por la obsolescencia con la que son diseñados algunos productos tecnológicos, programándolos para que dejen de funcionar después de determinado tiempo e incrementen sus ventas. Los impactos incluyen la contaminación del aire por el transporte de estos materiales a los puntos de comercialización y la emisión de gases de efecto invernadero durante su uso en los dispositivos electrónicos.

En la última etapa del ACV, se analizan los impactos de la disposición final de las baterías cuando han cumplido con su vida útil. Para el año 2017, la generación estimada de pilas como residuos fue de 67.18 toneladas correspondientes a pilas de zinc-óxido de manganeso, de 2.19 toneladas de pilas alcalinas y 5.72 toneladas de otros tipos de pilas y baterías (SEMARNAT, 2020). Por otra parte, Castro y Díaz estimaron en 2004 que, durante un periodo de 43 años, se dispusieron en México un aproximado de 653,000 toneladas de pilas, lo que representó la liberación en el ambiente de 145,918 toneladas de óxido de manganeso, 1,232 toneladas de mercurio, 22,063 toneladas de níquel, 20,169 toneladas de cadmio y 77 toneladas de compuestos de litio.

Los principales impactos encontrados en esta última etapa son los comentados previamente, y descritos en la Figura 6.

De acuerdo con un estudio en el que se llevó a cabo el ACV de un paquete de baterías de ion litio, con 6,500 ciclos de

carga en promedio durante su vida útil, el principal impacto se encontró en el rubro de escasez de agua, pues al contener ácidos en su formulación, el proceso de reciclaje y tratamiento de los residuos derivados de las pilas demanda altos volúmenes de agua potable. Así mismo, también se tiene un impacto importante en el rubro de cambio climático, siendo la etapa de uso de las baterías la que tiene la mayor contribución (60-80 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero), debido a los continuos ciclos de recarga en los que se consume energía eléctrica, producida en muchos casos a partir de la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, el impacto en cambio climático se ve reducido en un 16 % cuando los elementos de las pilas se recuperan durante la etapa de reciclaje. Adicionalmente, el uso de baterías tiene efectos importantes de generación de efluentes residuales ácidos, debido a los ácidos fuertes que se utilizan durante el procesamiento de los metales aplicados en las carcasas y electrodos (Liu, 2020).

En otro estudio de ACV, se comparó el impacto ambiental de tres diferentes tipos de baterías: plomo-ácido (PA), litio-manganeso (LM) y litio-fosfato de hierro (LPF) (Wang et al., 2018). En este caso, se encontró que las baterías que producen el menor impacto al ambiente son las de LPF, mientras que las más contaminantes son las de PA, siendo la etapa de mayor impacto el refinamiento del plomo y estaño durante el proceso de minería. Específicamente, se encontró que las baterías basadas en plomo tienen los peores impactos en los rubros de toxicidad humana, ecotoxicidad de agua potable, ecotoxicidad marina y agotamiento de los metales, por lo que es importante que los gobiernos a nivel global tomen en cuenta este tipo de información para evitar

la producción de este tipo de baterías, y en general, adoptar medidas para el reciclaje y la recuperación de elementos de valor, con lo cual se reducen los efectos. Algunas de las medidas tomadas por la iniciativa pública y privada se describen a continuación.

Minería Urbana

Se define el concepto de Minería Urbana del término acuñado en los últimos años como Urban Mining (UM) como todas las actividades y procesos relacionados con la recuperación de compuestos, energía y elementos de productos, edificios y residuos generados a partir de ciclos urbanos (Di Maria et al., 2013). En este término se engloba también la recuperación de objetos en desuso que se hayan almacenado en domicilios particulares, y que constituyen una tipología de residuo con potencial interés de estudio.

La extracción de litio y otros metales a partir de pilas y baterías desechadas es una alternativa viable que permite valorizar diferentes componentes de los dispositivos que, de otra forma, terminarían dispuestos en rellenos sanitarios, impactando negativamente al ambiente.

Acciones en la CDMX

En la ciudad de México desde hace algunos años se puso en operación el programa llamado Ponte Pilas con tu Ciudad, el cual consiste en depositar las pilas usadas de cualquier tamaño (AA, AAA, etc., de botón y de celular) en alguna de las 400 columnas que forman parte del mobiliario urbano y que funcionan como centros de acopio. Esto permite la gestión segura de estos residuos, los cuales son recolectados por una empresa especializada en periodos

quincenales, para ser posteriormente transportadas y almacenadas temporalmente en un centro de acopio en el municipio de Naucalpan, Estado de México. Una vez que se recolecta una masa de pilas residuales mayor a una tonelada, estas son transportadas a una planta de reciclaje en donde inicialmente se recupera la carcasa de las pilas para reutilizarse en la fabricación de alambre, llaves, varillas, partes para autos, etc. Posteriormente, se recuperan metales como litio, cadmio, níquel y zinc, que son reutilizados en cadenas productivas.



Figura 7. Columna para depositar las pilas usadas en la CDMX.

En particular, la recuperación de residuos a partir de pilas alcalinas permite la producción de materias primas secundarias que pueden ser utilizados en la industria (zinc, dióxido de manganeso, acero) y sectores agrícolas (sulfato de potasio).

Para el año 2007, en el cual comenzó el programa, se lograron recuperar 16.5

toneladas de pilas. Esta cifra se ha incrementado anualmente hasta 2013, donde se alcanzó el máximo acopio de 113 toneladas, rebasando la meta anual de 50. Para el 2021, al corte del 28 de febrero se tenían ya 14.9 toneladas recuperadas (SEDEMA, 2021).

El futuro de las pilas: Desarrollo de baterías de ion sodio

Actualmente se sigue desarrollando investigación sobre nuevas y mejores alternativas para la construcción de baterías y pilas. Es conveniente contar con baterías recargables, poco contaminantes cuando se desechen y construidas con metales accesibles. Con base en ello, las baterías recargables de iones de sodio pronto podrían ser una alternativa más barata y que requiere menos recursos en comparación con las baterías actuales de ion litio, utilizadas no sólo en vehículos eléctricos, sino también en teléfonos inteligentes y computadoras portátiles (DW, 2020).

Los dos metales alcalinos, el litio y el sodio, son químicamente muy similares, pero el sodio está disponible de forma amplia, es decir, es abundante, barato y su obtención es con un bajo impacto ambiental. Hay mil veces más sodio que litio en la corteza terrestre, por lo que el costo de extracción y purificación del material es considerablemente menor.

Los cátodos de óxido metálico de sodio, que se utilizan normalmente en las baterías de ion sodio, se pueden fabricar a partir de metales abundantes como el hierro y el manganeso (Patel, 2021). Por el contrario, los cátodos de iones de litio utilizan cobalto, un metal con reservas geológicas limitadas y una cadena de

suministro centrada en unos pocos países. Por la parte del ánodo no hay cambios, es de carbono al igual que las baterías de iones de litio.

Además de las ventajas descritas, las pilas de ion sodio tienen un rango de temperatura más amplio que las de litio, no son inflamables y no hay fugas térmicas.

Con base en la información disponible actualmente, se proyecta que el costo de las baterías de iones de sodio será aproximadamente un 10-20 % menor que el de iones de litio.

La única desventaja importante de las baterías de ion sodio con respecto a las de ion litio es su menor densidad energética. Sin embargo, se ha abierto un extenso campo de investigación para aumentar su densidad energética mediante el desarrollo de mejores materiales para el ánodo y cátodo que resulten en densidades cercanas a las de las baterías de ion litio. En este sentido se ha propuesto el uso de materiales derivados de carbono obtenidos a partir de biomasa, los cuales se consideran altamente disponibles, con una huella ecológica reducida y que pueden usarse directamente en el ánodo y en el cátodo. Debido a ello, se consideran materiales altamente flexibles, con un impacto significativo en el marco de la química verde y la sustentabilidad (He et al., 2021). En conjunto, todas estas características permiten considerar a las baterías de ion sodio como productos más sustentables y muy efectivos para la demanda de energía.

Conclusiones

La demanda de equipos electrónicos aumenta anualmente y, por lo tanto, el desecho

de pilas, por eso es importante disponerlas correctamente, evitando que lleguen a los rellenos sanitarios donde sus componentes pueden ser liberados, contaminando el aire, el suelo y el agua.

Los datos sobre el consumo y disposición de pilas y baterías en México no son actuales, remontando en algunos casos a casi 20 años de antigüedad. Por ello, es de suma importancia que nuestro país cuente con información actualizada y veraz que ayude a diseñar e implementar políticas ambientales para su manejo, además de crear instrumentos, movimientos, industrias y programas que funcionen para gestionar de forma responsable los procesos de fabricación y disposición final de las pilas y otros desechos tecnológicos.

Es importante que los programas de recolección de pilas se extiendan a nivel nacional para recuperar la mayor cantidad posible de materiales y así reducir su impacto ambiental. Además, hace falta una mayor difusión para que tú, tus vecinos y cualquier ciudadano, se sumen a estas acciones.

Actualmente, se están desarrollando nuevas variantes de pilas, basadas en elementos con una mayor disponibilidad y empleando materiales sustentables, aunque su disposición inadecuada puede causar incendios, suponiendo un riesgo para las personas y el medio material y/o ambiente. Esperemos que estas nuevas tecnologías lleguen pronto a nuestras manos.

Finalmente, proponemos una serie de recomendaciones que te pueden ayudar a mejorar el manejo y reciclaje de las pilas y baterías que usas:

- No comprar pilas en el mercado informal, pues estas causan más daños al ambiente debido a que su fabricación y comercialización no están reguladas.
- Tomar conciencia e informarse sobre los daños a la salud y al ambiente de estos dispositivos para que seas capaz de conocer qué tipo de residuo se está generando.
- Separarlas de los residuos sólidos comunes y disponerlas adecuadamente, participando en los programas de acopio de pilas para disminuir su impacto ambiental.
- Comprar pilas recargables.

Bibliografía

Di Maria, F., Micale, C., Sordi, A., Cirulli, G., Marionni, M., Urban Mining: Quality and quantity of recyclable and recoverable material mechanically and physically extractable from residual waste, *Waste Manag*, 33 [12], pp. 2594-2599, 2013.

DW. The batteries of the future: Sodium instead of lithium. <https://www.dw.com/en/the-batteries-of-the-future-sodium-instead-of-lithium/a-54707542> (Recuperado el 15 de agosto de 2021)

El Financiero. Pilas piratas, con 40% del mercado en México. 2013. <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/pilas-pirata-con-40-del-mercado-en-mexico/> (Recuperado el 26 de agosto de 2021)

Grover, S., y Sibi, G., Metal Leachate from Alkaline Battery Litters: A threat to Aquatic Organisms. *Int J Microbiol Curr*

Res, 1, [1] pp. 26-28, 2019.

He, X.-X., Liu, X.-H., Yang, Z., Zhang, H., Li, L., Xu, G., Qiao, Y., Chou, S.-L., Wu, M., Research progress of flexible sodium-ion batteries derived from renewable polymer materials. *Electrochemistry Communications*, 128, pp. 107067, 2021.

Liu, L. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Pack for Energy Storage Systems. The environmental impact of a grid-connected battery energy storage system. *UPPSALA UNIVERSITET*. ISSN: 1650-8300, 2020.

NOM-052-SEMARNAT-2005,
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm> (Recuperado el 3 de septiembre de 2021)

NOM-212-SCFI-2017,
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5539835&fecha=03%2F10%2F2018 (Recuperado el 3 de septiembre de 2021)

Olivetti, E., Gregory, J., y Kirchain, R., Life cycle impacts of alkaline batteries with a focus on end-of-life. *Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA.*, pp. 2-5, 2011. Patel, B., Sodium-Ion Batteries Poised to Pick Off Large-Scale Lithium-Ion Applications. <https://spectrum.ieee.org/sodium-ion-battery> (Recuperado el 15 de Agosto de 2021)

SEDEMA. Ponte Pilas con tu Ciudad. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/ponte-pilas-con-tu-ciudad> (Recuperado el 3 de septiembre de 2021)

SEMARNAT,2020. Diagnostico básico

para la gestión integral de los residuos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo2020.pdf> (Recuperado el 1 de septiembre de 2021)

Wang, Q., Liu, W., Yuan, X., Tang, H., Tang, Y., Wang, M., Zuo, J., Song, Z., Sun, J., Environmental impact analysis and process optimization of batteries based on life cycle assessment. *Journal of cleaner production*. 174, 1262-1273, 2018.

Yang, Z., Uhrynowski, W., Jakusz, G., Retka, J., Karczewska-Golec, J., Debiec-Andrzejewska, K., ... y Drewniak, L., Biochemical treatment of leachates from hydrometallurgical recycling of spent alkaline batteries. *Hydrometallurgy*, 191, pp. 105223, 2020.